



UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
PARROQUIA MARCOS ESPINEL, CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE
TUNGURAHUA”**

AUTOR: Walter Omar Sánchez López

TUTOR: Ing. Bolívar Eduardo Paredes Beltrán, PhD.

AMBATO - ECUADOR

Julio – 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARROQUIA MARCOS ESPINEL, CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, elaborado por el **Sr. Walter Omar Sánchez López**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804675740, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, julio 2023



Ing. Bolívar Eduardo Paredes Beltrán, PhD.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Walter Omar Sánchez López**, con C.I. 1804675740 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARROQUIA MARCOS ESPINEL, CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, así como también los análisis, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, julio 2023



Walter Omar Sánchez López

C.I: 1804675740

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, julio 2023



Walter Omar Sánchez López

C.I: 1804675740

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

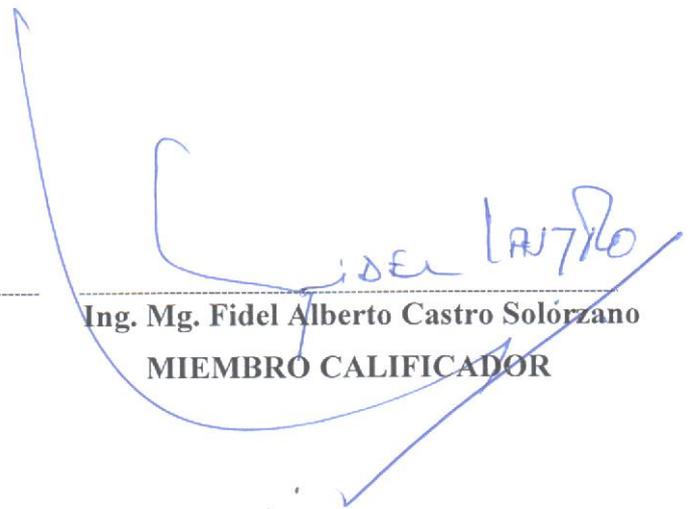
Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Walter Omar Sánchez López de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARROQUIA MARCOS ESPINEL, CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**.

Ambato, julio 2023

Para constancia firman:



Ing. Mg. Alex Xavier Frías Torres
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mg. Fidel Alberto Castro Solórzano
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a mis padres, quienes han sido mi mayor inspiración y motor de éxito en la vida. Su amor, paciencia y sacrificio han sido fundamentales en mi desarrollo académico y personal. Este logro es el resultado directo de su dedicación y constante apoyo. Gracias por creer en mí y por alentarme a alcanzar mis metas.

A mis hermanos, su apoyo, palabras de aliento y confianza en mis habilidades me han dado fuerzas para superar los desafíos y seguir adelante.

A mi pareja. Tu amor, comprensión y apoyo incondicional han sido la base de mi éxito. Agradezco tus palabras de aliento en los momentos de duda y tu constante presencia a lo largo de esta travesía. Este logro es también tuyo, y te dedico este trabajo como muestra de mi gratitud y amor.

Omar Sánchez

AGRADECIMIENTO

A mis padres y familiares por su constante apoyo durante todo mi recorrido académico. Su amor incondicional y confianza en mí fueron una fuente inagotable de motivación.

A mi pareja. Quien ha sido un pilar fundamental a lo largo de este difícil camino; misma que me alentó siempre a seguir adelante y no rendirme jamás.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería Civil, quienes me han brindado los conocimientos y de manera especial al Ing. Eduardo Paredes, quien me ha guiado como tutor en este trabajo.

A mi alma mater, la Universidad Técnica de Ambato y la Carrera de Ingeniería Civil por permitirme tener el honor de formarme como profesional en la institución y carrera.

Al GAD Municipal del cantón Píllaro, por la predisposición de su personal ante las dudas y preguntas mientras se realizaba la investigación de este proyecto.

A mi familia y amigos, que han sido parte de este logro.

Omar Sánchez

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Justificación.....	3
1.1.3. Fundamentación teórica	4
1.1.4. Hipótesis.....	31
1.1.5. Hipótesis nula.....	31
1.2. Objetivos.....	31
1.2.1. Objetivo General	31
1.2.2. Objetivos Específicos.....	31
CAPÍTULO II	32
2.1. MATERIALES Y EQUIPOS	32
2.2. METODOLOGÍA.....	33
2.2.1. FASE 1: Levantamiento de información	33
2.2.2. FASE 2: Investigación de campo.....	46
2.2.2.1. Medición de caudales de entrada y salida de la PTAP.....	46
2.2.2.2. Mediciones de los caudales de ingreso y salida de la semana del 28 de noviembre al 4 de diciembre de 2022	47
2.2.2.3. Mediciones de los caudales de ingreso y salida de la semana del 5 al 11 de diciembre de 2022	48
2.2.3. FASE 3: Investigación de laboratorio.....	49

2.2.3.1.	Toma de muestras de agua cruda y tratada	49
2.2.3.2.	Resultados del análisis de calidad de agua.....	50
2.2.4.	FASE 4: Análisis y verificación de funcionamiento	52
2.2.4.1.	Comparación de resultados de análisis de calidad de agua con los criterios establecidos por el TULSMA 2015 y la NTE INEN 1108	52
2.2.4.2.	Descripción de la infraestructura existente.	54
2.2.4.3.	Dimensiones actuales de la PTAP.....	55
2.2.4.3.1.	Desarenador	55
2.2.4.3.2.	Tanque contactor	56
2.2.4.3.3.	Electrocoagulador - Flocladores.....	57
2.2.4.3.4.	Sedimentador	57
2.2.4.3.5.	Tanque de almacenamiento	58
2.2.4.4.	Normas empleadas en el diagnóstico teórico de la PTAP.....	59
2.2.4.5.	Diagnóstico teórico de funcionamiento de la PTAP	60
2.2.4.5.1.	Cálculos para el diseño	60
2.2.4.5.2.	Diagnóstico teórico del desarenador actual	63
2.2.4.5.3.	Rediseño de desarenador	68
2.2.4.5.4.	Diagnóstico del funcionamiento del electrocoagulador – floclador	73
2.2.4.5.5.	Diagnóstico del funcionamiento del sedimentador	75
2.2.4.5.6.	Diagnóstico del funcionamiento de los filtros a presión	79
2.2.4.5.7.	Diagnóstico del proceso de desinfección	82
2.2.4.5.8.	Diagnóstico del tanque de almacenamiento	82
2.2.5.	FASE 5: Propuesta de mejora.....	85
2.2.5.1.	Propuesta de desarenadores.....	86
2.2.5.2.	Desinfección.....	86
CAPÍTULO III		88
3.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	88
CAPÍTULO IV		92
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
4.1.	Conclusiones.....	92
4.2.	Recomendaciones	93
BIBLIOGRAFÍA.....		95
ANEXOS.....		98
ANEXO 1.- FOTOGRAFÍAS		99
ANEXO 2.- DOCUMENTOS.....		101

ANEXO 3.- PLANOS.....	105
-----------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cantidad de agua existente en el planeta tierra.....	4
Figura 2. Fuentes de aguas superficiales.....	11
Figura 3. Fuentes de agua subterránea	11
Figura 4. Obra de captación de agua.....	12
Figura 5. Líneas de aducción	12
Figura 6. Planta de tratamiento de agua potable	13
Figura 7. Tanque de almacenamiento de agua potable	13
Figura 8. Línea de conducción de agua potable.....	14
Figura 9. Tubería de distribución de agua potable.....	14
Figura 10. Planta de tratamiento de agua potable convencional	27
Figura 11. Planta de tratamiento de agua potable compacta	28
Figura 12. Planta de tratamiento de agua potable con sistema de microfiltración.....	29
Figura 13. Planta de tratamiento de agua con sistema de ultrafiltración	31
Figura 14. Ubicación Geográfica de la parroquia Marcos Espinel	34
Figura 15. Microcuencas de Santiago de Píllaro.....	37
Figura 16. Mapa de Déficit Hídrico Cantón Santiago de Píllaro	39
Figura 17. Tren de tratamiento de la PTAP de la parroquia Marcos Espinel	41
Figura 18. Estado actual del desarenador.....	41
Figura 19. Estado actual de los vertederos.....	42
Figura 20. Tanques químicos con sus bombas disipadoras.....	42
Figura 21. Estado actual del tanque contactor	43
Figura 22. Estado actual del sedimentador	44
Figura 23. Estado actual del tanque de equilibrio/ sedimentador	44
Figura 24. Estado actual de los floculadores.....	45
Figura 25. Estado actual de los tanques de cloro (gas)	45
Figura 26. Estado actual del tanque de almacenamiento	46
Figura 27. Medición del caudal de ingreso de la PTAP.....	47
Figura 28. Botellas de vidrio ámbar.....	50
Figura 29. Cooler/ hielera de espuma flex	50
Figura 30. Esquema del tren de tratamiento.....	55
Figura 31. Desarenador vista superior	56
Figura 32. Desarenador vista lateral.....	56

Figura 33. Tanque contactor	57
Figura 34. Flocladores.....	57
Figura 35. Sedimentador	58
Figura 36. Tanque de almacenamiento vista superior.....	58
Figura 37. Tanque de almacenamiento vista lateral.....	59
Figura 38. Crecimiento poblacional de la parroquia Marcos Espinel.....	62
Figura 39. Tren de tratamiento propuesto	85
Figura 40. Cantidad de cloro necesaria	87
Figura 41. Ubicación de los procesos de la PTAP	99
Figura 42. Levantamiento fotogramétrico de la PTAP	99
Figura 43. Medición del caudal de ingreso	100
Figura 44. Deterioro de los componentes del sedimentador	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Limite permisible para el consumo de agua potable.....	16
Tabla 2. Métodos de ensayo para determinar características bacteriológicas en el agua	17
Tabla 3. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional	20
Tabla 4. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren desinfección.....	23
Tabla 5. Límites máximos permisibles del agua potable	25
Tabla 6. Materiales utilizados en la investigación	32
Tabla 7. Equipos utilizados en la investigación.....	32
Tabla 8. Equipos de protección utilizados en la investigación	32
Tabla 9. Densidad Poblacional Urbana Cabeceras Parroquiales	34
Tabla 10. Densidad Poblacional Rural Parroquial	35
Tabla 11. Principales Actividades Económicas 2020	35
Tabla 12. Contaminación del Recurso Hídrico del Cantón Santiago de Píllaro	38
Tabla 13. Mediciones de los caudales de ingreso de la semana del 28 de noviembre - 4 de diciembre de 2022	47
Tabla 14. Mediciones de los caudales de salida de la semana del 28 de noviembre - 4 de diciembre de 2022	48
Tabla 15. Mediciones de los caudales de ingreso de la semana del 5 - 11 de diciembre de 2022.....	48
Tabla 16. Mediciones de los caudales de salida de la semana del 5 - 11 de diciembre de 2022.....	49
Tabla 17. Resultados del análisis de laboratorio de la muestra de agua de ingreso a la PTAP.....	50
Tabla 18. Resultados del análisis de laboratorio de la muestra de agua de salida a la PTAP.....	51
Tabla 19. Comparación de los resultados obtenidos de la muestra de ingreso y los límites máximos permisibles según el TULSMA 2015 y la NTE INEN 1108.....	53
Tabla 20. Comparación de los resultados obtenidos de la muestra de salida y los límites máximos permisibles según el TULSMA 2015 y la NTE INEN 1108.....	54
Tabla 21. Método estadístico	60
Tabla 22. Datos censales de la parroquia Marcos Espinel	62
Tabla 23. Número de Hazen.....	64
Tabla 23. Número de Hazen.....	69

Tabla 24. Comparación de medidas actuales con las calculadas teóricamente.....	73
Tabla 25. Velocidades terminales a caudal medio	76
Tabla 26. Velocidades terminales a caudal máximo.....	76
Tabla 27. Valores de las constantes empíricas, a y b.....	78
Tabla 28. Comparación de las dimensiones actuales y de las calculadas teóricamente	79
Tabla 29. Características de la arena.....	79
Tabla 30. Características de la grava.....	80
Tabla 31. Comparación de medidas del filtro actuales y teóricas.....	81
Tabla 32. Dotación media futura.....	84
Tabla 33. Comparación de volumen del tanque de almacenamiento actual y teórico	84
Tabla 34. Estado actual de las unidades de tratamiento.....	85
Tabla 35. Comparación del grado de remoción del tren de tratamiento actual.....	89
Tabla 36. Resultados esperados con el grado de remoción teóricos	90

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo experimental, se enfoca en la evaluación de la planta de tratamiento de agua potable de la parroquia Marcos Espinel, misma que presenta falencias al momento de su funcionamiento, así como al procesar el agua que ingresa a la PTAP que provee a la población; cuando existen condiciones climáticas lluviosas, el afluente llega saturado de material que la planta potabilizadora no tiene la capacidad de procesar, es por ello que se genera un cierre de válvulas, condición que genera un desabastecimiento de agua para la población.

Como primer paso, se realizó el levantamiento de toda la información: la ubicación, hidrografía, actividades socio-económicas, se recabó información de informes generados en el GAD de Píllaro, además de un diagnóstico de las unidades de tratamiento; se llevó a cabo la medición de los caudales del afluente y efluente; se realizaron análisis de las propiedades físico, químicas y biológicas del agua de ingreso y salida, para estos análisis todas las muestras recolectadas de agua se las realizaron siguiendo la normativa NTE INEN 2 176:1998, y para el traslado hacía los laboratorios se utilizó la normativa NTE INEN 2 169:1998.

Con los resultados arrojados por el análisis de aguas, se procede a comparar con los lineamientos establecidos en las normativas TULSMA 2015 y en la normativa INEN 1108, y para ello en base a la evaluación realizada a la planta potabilizadora se plantean alternativas viables, que generen una solución al sistema potabilizador, como lo son un tanque de cloración y un nuevo desarenador.

Palabras clave: Agua potable, Planta de tratamiento, Consumo humano, Píllaro, Evaluación.

ABSTRACT

The present experimental work focuses on the evaluation of the drinking water treatment plant in the Marcos Espinel parish, which has deficiencies in its operation and processing of the water that enters the WTP and supplies the population. During rainy weather conditions, the influent arrives saturated with material that the water treatment plant cannot process due to its limited capacity. As a result, valve closures occur, leading to a water shortage for the population.

As a first step, a comprehensive information gathering was conducted, including the location, hydrography, and socio-economic activities. Information from reports generated by the Píllaro Municipal Government was collected, along with a diagnosis of the treatment units. Measurements of the influent and effluent flow rates were taken, and analyses of the physical, chemical, and biological properties of the incoming and outgoing water were performed. All water samples collected for these analyses were conducted following the NTE INEN 2 176:1998 standard, and transportation to the laboratories adhered to the NTE INEN 2 169:1998 standard.

Based on the results obtained from the water analysis, a comparison is made with the guidelines established in the TULSMA 2015 regulations and the INEN 1108 standard. In light of the evaluation conducted on the water treatment plant, viable alternatives are proposed to provide a solution to the water treatment system, such as the implementation of a chlorination tank and a new sand remover.

Keywords: Drinking water, Treatment plant, Human consumption, Píllaro, Evaluation.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.1.1. Antecedentes

La problemática principal a la que se enfrenta la humanidad es el agua contaminada y el saneamiento deficiente; mismos que están estrechamente relacionados con la transmisión de enfermedades como lo son: el cólera, la disentería, la hepatitis A, la poliomiélitis, entre otras. Cuando existe carencia de agua, o está gestionada de forma inadecuada o esta es ineficiente para la población; las personas estarán expuestas a que el riesgo de sufrir estas enfermedades incremente; según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en todo el mundo existe un 15% de pacientes que contraen infecciones durante su hospitalización, esto debido a la inexistencia de servicios de suministros de agua, mismo porcentaje que es mucho mayor en los países de bajos ingresos. [1]

Existe un aproximado de 829 000 muertes humanas cada año por diarrea debido a la insalubridad del agua, de un deficiente saneamiento o mala higiene, además de ello cabe recalcar que se podría prevenir la muerte de alrededor de 297 000 menores de cinco años por años, si tan solo se abordaran estos factores de riesgo. [1]

Cuando el agua proviene de fuentes mejoradas y más accesibles, las personas dedican menos tiempo y energía a recolectarla, lo que significa que pueden ser útiles en otras áreas. Esto también puede mejorar la seguridad personal y reducir el número de trastornos musculoesqueléticos, ya que reduce la necesidad de ir a buscar agua en viajes largos o peligrosos. Los suministros de agua mejorados también reducen el gasto en atención médica, porque es menos probable que las personas se enfermen y paguen las facturas médicas, y están en mejores condiciones para mantener la economía productiva. [1]

Además, el cambio climático tendrá un impacto negativo en la cantidad y calidad del agua disponible en todo el mundo para satisfacer una serie de necesidades humanas básicas, poniendo en peligro los derechos fundamentales de miles de millones de

personas al agua potable y al saneamiento. Esa es la advertencia de los autores del último informe de la ONU sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, que pide a todos los países que se comprometan a abordar el problema más a fondo. [2]

El deterioro de los recursos hídricos del mundo pone en peligro el logro del Objetivo de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de la ONU, que apunta a proporcionar agua limpia y saneamiento para todos en la próxima década; este es un desafío muy grande porque actualmente 2.200 millones de personas en el mundo carecen de acceso a agua potable y otros 4.200 millones carecen de sistemas de saneamiento seguros. [2]

Si el mundo quiere lograr la cobertura universal de los servicios básicos de agua potable para 2030, la tasa de progreso realizada hasta ahora tendrá que duplicarse. Para lograr el mismo objetivo de administrar de manera segura los servicios de agua potable, las tasas deberían cuadruplicarse. La respuesta al cambio climático, la creciente escasez de agua, el crecimiento de la población, el cambio demográfico y la urbanización ya son un desafío para los sistemas de suministro de agua. Más de 2300 millones de personas viven en países con escasez de agua, y es probable que la situación empeore en algunas áreas debido al cambio climático y al crecimiento de la población. La reutilización de aguas residuales para recuperar agua, nutrientes o energía se está convirtiendo en una estrategia importante. [1]

El acceso a agua limpia y servicios de saneamiento debidamente regulados se considera un derecho fundamental. Los formuladores de políticas y los académicos están de acuerdo en que “el agua potable segura y la gestión adecuada de los residuos sanitarios han sido la política de salud pública más relevante” desde el siglo XIX, incluso más que el desarrollo de antibióticos, anestésicos, vacunas o la teoría de los gérmenes. Es decir, a nivel mundial existe una conciencia generalizada acerca de la necesidad de prevención en salud pública. Según la Organización Mundial de la Salud, las enfermedades diarreicas matan a 1,5 millones de personas cada año en los países en desarrollo. [3]

Estimaciones del INEC indican que las zonas rurales son las más afectadas en cuanto a los servicios de agua potable, saneamiento e higiene, ya que solo el 36,4% de la población cumple con los tres componentes anteriores. Por esta razón, la mayoría de las zonas rurales no cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales que ayuden

a reducir la contaminación en las diferentes cuencas hidrográficas del país, o, por el contrario, si sus plantas de tratamiento de aguas residuales se encuentran en mal estado por falta de mantenimiento y su falta de control. Por lo tanto, para garantizar estos servicios es necesario invertir en infraestructura adecuada, saneamiento de calidad y, lo más importante, promover buenas prácticas de higiene, garantizando así el bienestar de las personas. [3]

1.1.2. Justificación

El agua es de gran importancia para la vida, gracias a la misma es que los ecosistemas funcionan y prosperan, constituye un servicio básico e indispensable en el desarrollo de una población. En la actualidad el uso del agua para beneficio humano ha crecido exponencialmente durante los últimos años, esto quiere decir que a medida que avanza el tiempo hay más personas que alimentar y mayor demanda en el consumo del agua para el desarrollo económico de cada persona. [4]

Una de las practicas que más se han asociado al desarrollo humano es el consumo de aguas tratadas o potables, con el fin de garantizar una buena salud en la población; ya que existen agentes contaminantes presentes en el agua, mismos que pueden ser físicos, químicos o biológicos; para evitar consecuencias en la salud humana se determina la relación de nitritos y nitratos presentes en el agua, estos compuestos son responsables de muchas afectaciones en la salud humana, causando varios tipos de enfermedades mismas que pueden ser irreversibles; como es el caso del cáncer provocado por nitrosaminas. Es por ello por lo que se ha optado por la adopción de normas para el control de los parámetros contenidos en el agua que se encuentra apta para la ingesta de los seres humanos. [5]

Según la Constitución de la Republica del Ecuador de 2008, en su artículo 318 determina que se prohíbe cualquier forma de privatización del agua, además de garantizar el derecho humano al agua de manera fundamental e irrenunciable; se estipula al agua como dominio público, inalienable e imprescindible del estado. [6]

Con los antecedentes presentados con anterioridad el objetivo principal del presente trabajo es evaluar la planta de tratamiento de agua potable de la parroquia Marcos Espinel, cantón Píllaro, provincia de Tungurahua, para así garantizar el derecho a la

calidad del agua que tienen los habitantes de dicho cantón, todo esto mediante análisis y pruebas en las muestras de agua adquirida de la planta de tratamiento.

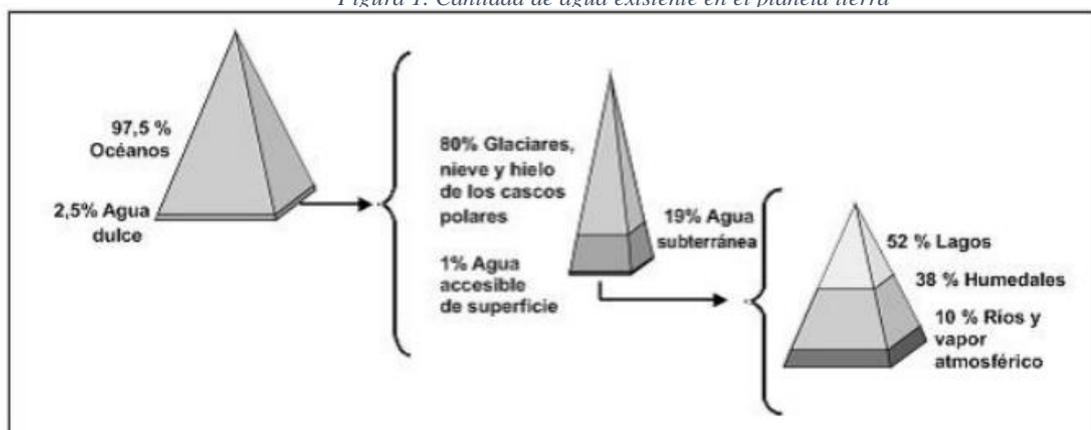
1.1.3. Fundamentación teórica

1.1.3.1. El Agua

El líquido vital más importante del planeta tierra es el agua, con una cobertura global del 70% de la superficie, clasificada o encontrada en océanos, lagos, ríos, aire, entre otros. Es el sustento de la vida, ya que entre muchos otros aspectos ayuda a controlar el clima mundial y con su fuerza formidable modela la tierra, conocido como el solvente universal; es un reactivo presente en muchos procesos metabólicos. [7]

Del 100% de agua presente en el planeta tierra tan solo el 2.5% es agua dulce y el otro 97.5% lo conforman los océanos; de este porcentaje de agua dulce el 80% está en estado sólido, esto quiere decir que se encuentran en los glaciares, nieve y hielo de los cascos polares; el 19% se puede localizar en aguas subterráneas, es decir, acuíferos, acuitardos, entre otros. Tan solo el 1% restante se encuentra en la superficie, es decir de fácil acceso para los seres humanos, este porcentaje se divide 52% en lagos, 38% en humedales y 10% entre ríos y vapor atmosférico. [7]

Figura 1. Cantidad de agua existente en el planeta tierra



Fuente: <https://es.scribd.com/document/214331198/2-Fracciones-El-Agua-de-La-Tierra>

El agua posee propiedades que son esenciales para la vida, mismas que son únicas en la naturaleza.

- Alta tensión superficial

- Alto calor de vaporización
- Alto calor latente de fusión.
- Alta constante dieléctrica.
- Gran capacidad calórica
- Se la puede encontrar en la naturaleza en sus 3 diferentes fases como son sólido, líquido y gas. [7]

Calidad del agua para distintos usos

La disponibilidad del agua para una población es primordial para su preservación y crecimiento económico, durante muchos años y hasta la actualidad la distribución de este recurso, ha sido en su mayoría para el sector de la agricultura, destinando dos terceras partes para este trabajo, sin embargo, también se ha visto un crecimiento en demanda para otros sectores como lo son el turismo, sector urbano e industrial, mismos que compiten por un acceso mayoritario a un recurso que poco a poco se va agotando. [7]

Deterioro de la calidad del agua

El deterioro del agua es una problemática que ha estado incrementándose en estos años, considerado como uno de los principales problemas ambientales; afectando a toda la población a nivel mundial sin diferencia que se encuentren en un país industrializado o no. [8]

Se define como contaminación del agua a todo cambio físico, químico o biológico, producido en la calidad del agua que conlleve a un efecto dañino en cualquier ser vivo que la consuma; entre los principales contaminantes del agua tenemos:

- Agentes patógenos como virus bacterias y parásitos, mismos que están presentes en residuos orgánicos.
- Desechos que requieren oxígeno, que, al ser descompuestos por bacterias, agotan el oxígeno presente en el agua.
- Sustancias químicas como plásticos, plaguicidas, detergentes, entre otros; mismos que son mortales para la vida presente en el agua.
- El aumento de temperatura genera reducción de oxígeno en el agua

- Sedimentos o materia suspendida.
- La mayor fuente de contaminación del agua son las industrias con sus desechos. [8]

Otros compuestos presentes en el agua y de gran peligrosidad son:

Amianto: es un contaminante cancerígeno, ya que puede provocar asbestosis al ser ingeridas o inhaladas sus fibras.

Plomo: es un metal nocivo para la salud de los seres vivos, ya que puede inhibir la acción de las enzimas corporales.

Mercurio: es un metal que puede producir un envenenamiento a cualquier ser vivo que se encuentre expuesto al mismo.

Nitratos y Fosfatos: presentes en los fertilizantes vegetales, conllevan un gran problema consigo, ya que a menudo llegan a parar a las masas de agua, causando graves problemas para la vida. [8]

Efectos causados por los contaminantes en el agua

Existe una variedad de contaminantes que pueden entrar en contacto con el agua y por consiguiente al ser esta ingerida por los seres humanos se puede desarrollar varios tipos de enfermedades, esto en función del contaminante y del organismo en cuestión.

- Genotoxicidad:** estos compuestos causan daños en el ADN de los organismos en los que se encuentran; por lo general las células pueden volver a su estado natural después del daño, pero en ciertas ocasiones estas células no regresan a su estado natural y se reproducen con el error genético con el que quedaron afectadas, causando mutaciones y defectos que pueden extenderse a la descendencia del organismo en cuestión.
- Carcinogenicidad:** varios contaminantes tienden a ser cancerígenos; es decir que desarrollan la formación de cáncer en un organismo.
- Neurotoxicidad:** el sistema nervioso de los seres vivos es muy sensible a los efectos de la toxicidad producida por los compuestos químicos, mismos que pueden ser de origen natural como sintético; a estos compuestos se los denomina neurotoxinas.

- d) Las neurotoxinas afectan la transmisión de los impulsos a través de todo el sistema nervioso y las sinapsis que realizan las neuronas entre sí; algunas de las consecuencias de la neurotoxicidad son las convulsiones, la inadecuada coordinación muscular, temblores, mal funcionamiento de los nervios; la neurotoxicidad puede presentar problemas más graves que los antes expuestos, ya que al inhibir la sinapsis neuronal se puede llegar a casos graves de parálisis pulmonar y la insuficiencia respiratoria.
- e) **Descenso de fertilidad:** esto se produce debido al daño en los órganos reproductivos provocados por la ingesta de agua contaminada; a este tipo de contaminantes se les denomina descriptores endocrinos. [8]

Indicadores de Calidad

Se define como indicador a la manifestación de la cualidad o propiedad de un objeto evaluado; dentro de los parámetros a evaluar en la calidad del agua tenemos:

- **Turbidez:** es un parámetro que indica la presencia de sólidos, en especial coloidales, generalmente utilizados para aguas naturales. Se mide la extensión con la que un rayo de luz es reflejado en su paso por el agua en un ángulo de 90 grados; este tipo de reflexión se debe al efecto Tyndall mismo que caracteriza a los sistemas coloidales.
- **Color:** la presencia de color puede deberse a sustancias extrañas como puede ser partículas en suspensión o a sustancias disueltas. Se determina por medio de espectrofotometría, analizando el color de la luz que atraviesa una muestra de agua filtrada, con el fin de determinar el color verdadero.
- **Temperatura:** afecta la solubilidad de los gases que se encuentran disueltos en el agua; la temperatura del agua está directamente afectada por la variación de la temperatura del medio ambiente.
- **Conductividad:** es la capacidad que tiene el agua para poder conducir la electricidad, esto debido a las sales que se encuentran presentes en la misma. La conductividad es afectada por los tipos de terrenos que atraviesa el agua en su paso y por la presencia o no de vertidos de aguas residuales; ya que los iones presentes en el agua no son eliminados por los procesos de depuración.

- **Concentración de iones de hidrógeno (pH):** es el equilibrio de sustancias químicas que pueden encontrarse en diferentes formas de acuerdo con la acidez. El pH de las aguas naturales según estudios realizados debe encontrarse entre 6 y 9.
- **Dureza:** es la suma de todos los cationes multivalentes presentes en el agua, entre ellos encontramos al calcio y magnesio, este valor puede calcularse como la suma de los elementos antes mencionados.
- **Oxígeno disuelto:** este es el indicador más utilizado para el medio fluvial, ya que participa en la mayoría de los procesos presentes en el medio acuático, además de encontrarse presente en la oxidación y respiración de organismos presentes en este hábitat. Se determina por el método de Winkler, mismo que en su proceso involucra la precipitación del oxígeno como óxido de manganeso. [9]

1.1.3.2. Sistemas de abastecimiento de agua potable

Se define como un conjunto de obras necesarias para captar, conducir, almacenar, tratar y distribuir el agua desde fuentes de agua naturales, mismas que pueden ser superficiales o subterráneas. El diseño de una planta de tratamiento de agua potable debe ser técnicamente correcto, ya que con este proyecto civil se busca mejorar la calidad de vida, salud y desarrollo de los habitantes que serán beneficiados con el mismo; es por ello por lo que este proyecto debe cumplir con ciertas normas que garanticen su correcto funcionamiento.

Para que un sistema de abastecimiento sea sostenible, se deben considerar: calidad, cantidad, continuidad, cobertura y costo. [10]

Calidad: Asegurar que la calidad del agua de captación varíe dentro de los 16 límites máximos requeridos por la concentración de contaminantes (principalmente turbiedad) en la captación para cumplir con el objetivo de la planta de proporcionar un producto que cumpla con los estándares adecuados.

Para dar cumplimiento a la propuesta, es necesario definir un área de captación dentro de una microcuenca cuyo ámbito territorial no se verá afectado por una progresión significativa de la erosión que generaría un aporte excesivo de sedimentos a la planta

de tratamiento; para tal efecto, es necesario preparar e implementar un plan para proteger las cuencas hidrográficas seleccionadas. [11]

Cantidad: Requiere volúmenes de agua suficientes para abastecer a la población futura durante el período de diseño; los volúmenes requeridos deben cumplir con los requisitos mínimos para satisfacer las necesidades básicas de consumo humano, mejorar el confort de las comunidades beneficiarias y utilizar el elemento líquido como herramienta para promover componentes de desarrollo, incluido el turismo.

Continuidad: Esta es una condición relacionada con la cantidad, es decir, que, si el abastecimiento es continuo, no se debe racionar el agua.

Cobertura: Se debe asegurar que el sistema propuesto brinde acceso al agua para toda la población existente, ayudando en nuevas áreas de expansión humana.

Al final, los nuevos sistemas de suministro deben entregar fluidos a las poblaciones dentro de los niveles de conducción.

Costo: El costo del tratamiento del agua depende de muchos factores, incluida la estructura física del sistema; es más barato operar un sistema integrado que dos subsistemas, como es el caso actualmente, insumos químicos, energía utilizada, salarios, entre otros. Los costos de operación deben ser pagados por los usuarios para que el sistema sea sostenible. Para lograr los objetivos anteriores, además de definir la estructura física más adecuada de los componentes del sistema de abastecimiento de agua potable, es necesario: mejorar la eficiencia administrativa y operativa del sistema, reformar las normas del servicio de abastecimiento de agua, promover el empoderamiento social de los servicios, etc. [11]

Los sistemas de abastecimiento de agua potable son de 2 tipos:

Sistemas Convencionales:

Estos sistemas son aquellos en los que el agua cruda se extrae de ríos y/o pozos subterráneos, se trata el agua mediante un proceso, se almacena y se distribuye agua potable a los hogares individuales a través de una red de tuberías. [12]

Estos sistemas se pueden encontrar por gravedad o por bombeo. En el caso de las de gravedad, son aquellas en las que el agua tratada o no tratada llega directamente a la vivienda. Estos sistemas requieren una inversión y un mantenimiento mínimo, con bajos costos de energía debido al uso de la caída por gravedad. Por lo general, funciona para poblaciones bajas. El sistema de bombeo se refiere a un sistema que extrae agua cruda de un río, tiene un tanque de suministro de agua, una etapa de floculación, una etapa de sedimentación, filtración, un tanque de almacenamiento de agua y distribuye agua potable a los residentes. Estos sistemas suelen servir a grandes poblaciones. El costo de inversión es alto, el costo de mantenimiento es alto y el consumo de energía es grande. Además, estos sistemas pueden tratar el agua con o sin químicos. [12]

Sistemas No Convencionales

Son sistemas individuales; no están conformados por una red de distribución, los habitantes obtienen agua de manera no convencional; ya sea por medio de tanqueros, barriles arreados por mular u otras técnicas. Este tipo de sistemas por lo general se lo encuentra en pueblos pequeños y alejados de la urbanidad. [12]

1.1.3.3. Componentes de un sistema de abastecimiento de agua potable

Los componentes principales de un sistema de abastecimiento de agua potable se pueden enumerar como los siguientes:

- **Fuentes de abastecimiento:** es la parte con mayor relevancia en un proyecto de un sistema de agua potable, ya que sin una fuente con un caudal que garantice el abastecimiento ininterrumpido a poblaciones actuales y futuras, no se podrá ejecutar ningún proyecto de esta índole. Se debe tomar en cuenta que para elegir una fuente de abastecimiento hay que conocer su caudal, características, calidad del líquido, tipos de tratamientos que se le va a dar y su ubicación geográfica. [13]

Dentro de las fuentes de abastecimiento encontramos dos tipos

- a) **Fuentes de aguas superficiales:** este tipo fuentes están constituidas por toda el agua que se puede encontrar en la parte superficial y prácticamente en

muchas ocasiones de fácil acceso o explotación, como lo son los ríos, lagos, lagunas, entre muchas otras más. [13]

Figura 2. Fuentes de aguas superficiales

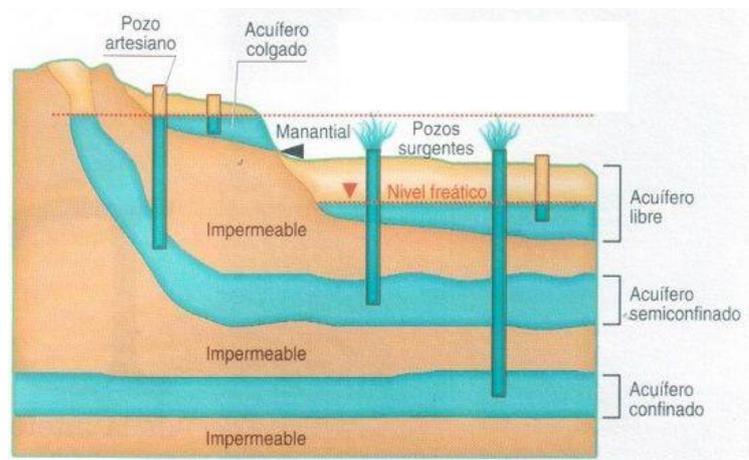


Fuente:

http://www.cienciasfera.com/materiales/biologiageologia/cienciatierra/tema03/11_aguas_superficiales.html

- b) **Fuentes de aguas subterráneas:** este tipo de fuentes son las que forman parte del ciclo hídrico, mismas que por percolación se mueven entre las capas de la geología terrestre; mismas que son capaces de retenerlas o permitir su libre circulación. Dentro de este tipo de fuentes podemos encontrar acuíferos, acuitardos, pozos, galerías filtrantes, entre otras. [13]

Figura 3. Fuentes de agua subterránea



Fuente: <https://www.areaciencias.com/ecologia/aguas-subterranas/>

- **Obras de Captación:** con el fin de captar el caudal de diseño, esta obra se la construye en la fuente de abastecimiento seleccionada y conducirlo hacia la

línea de aducción. Cabe recalcar que la captación también va en función de la fuente; es decir que si la fuente es subterránea la captación se la realizará de manera subterránea y así en cada caso. [14]

Figura 4. Obra de captación de agua



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Presa_derivadora

- **Líneas de aducción:** es el proceso por el cual mediante tuberías se conduce el agua cruda hacia la planta de tratamiento de agua potable o directamente al tanque reservorio. Tomando en cuenta la topografía del terreno se analizará si la conducción se la realiza por medio de gravedad o por medio de bombeo, mismas que deben satisfacer la demanda del servicio para el día y hora de máximo consumo. [14]

Figura 5. Líneas de aducción



Fuente: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua>

- **Planta de tratamiento de agua:** se define como una estructura de concreto, en la cual se receipta el agua cruda proveniente de la captación y conducción, para que por medio de procesos físicos y/o químicos potabilizarla y adecuarla para el consumo humano siguiendo las diferentes normativas establecidas en los países. Para realizar una planta de tratamiento eficiente y eficaz, se debe tomar en cuenta las características del agua a tratar para el diseño de esta. [14]

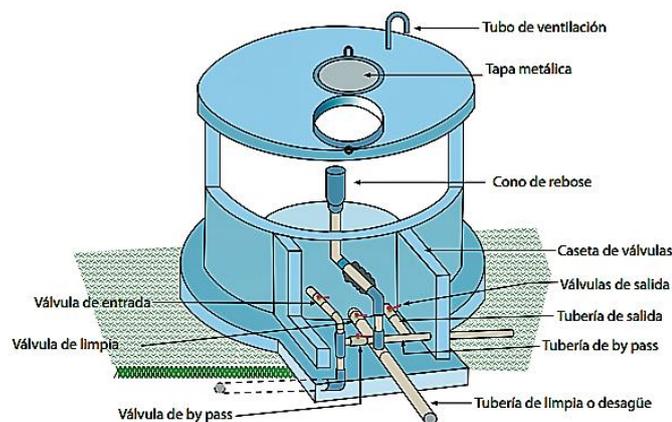
Figura 6. Planta de tratamiento de agua potable



Fuente: <https://isa.ec/plantas-de-tratamiento-de-agua-potable/>

- **Tanque de almacenamiento:** son estructuras diseñadas con materiales como hormigón armado o estructura metálica, aquí se almacena el agua que previamente ha sido tratada en una planta de tratamiento, para el diseño del tanque de almacenamiento se debe tomar en cuenta consideraciones como el caudal máximo diario de la población a abastecer del líquido vital. [15]

Figura 7. Tanque de almacenamiento de agua potable



Fuente: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua>

- **Línea de conducción:** se la define como la tubería que conduce el agua potable proveniente del tanque de reserva hasta la zona de distribución, misma que dependiendo de la geografía del terreno por donde transite, se la puede realizar a gravedad o por bombeo. [15]

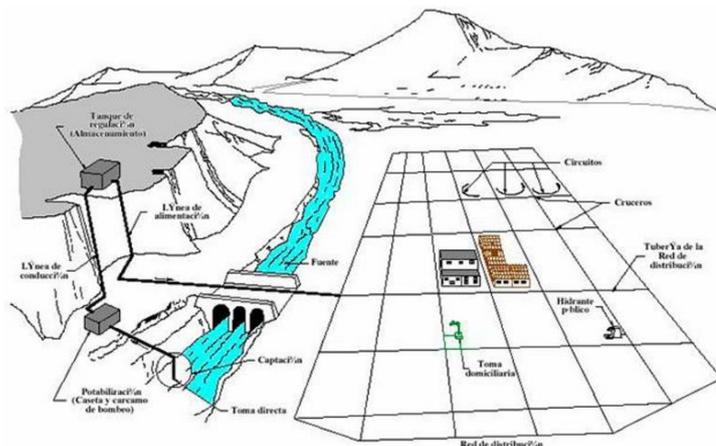
Figura 8. Línea de conducción de agua potable



Fuente: <https://www.ididactia.com/2017/01/18/epanet-un-potente-software-gratuito-para-el-analisis-de-redes-de-distribucion-de-agua/>

- **Redes de distribución:** se define como las tuberías que abastecen directamente las viviendas de los habitantes de una población, y su diseño debe estar efectuado en base a las condiciones más desfavorables que se presenten en la red, es decir el consumo máximo horario. [15]

Figura 9. Tubería de distribución de agua potable



Fuente: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-de-los-andes/abastecimiento-de-agua-y-alcantarillado/>

1.1.3.4. Tratamiento de agua potable

El agua potable es un bien escaso y vital, alrededor de tan solo el 0,4% del agua existente en el planeta es apta para el consumo. Por esta razón, la inversión en la purificación del agua es imprescindible para garantizar que todos tengan acceso a este líquido vital. [16]

La purificación del agua es el proceso de tratar el agua para que los humanos puedan beberla sin representar una amenaza para su salud. La potabilización del agua consiste principalmente en eliminar sustancias tóxicas para el ser humano, como cromo, plomo o zinc, así como algas, arena o bacterias y virus que puedan estar presentes en la misma. [16]

El proceso de purificación es variable en dependencia de las condiciones naturales de la región, entre los factores a tomar en cuenta tenemos:

- Cuando se toma una fuente de agua superficial, la potabilización por lo general consiste en separar varios componentes que se encuentran presentes en el agua cruda, precipitación de impurezas, filtración y por último paso desinfección, misma que puede ser con ozono o cloro.
- En caso de que la fuente tenga presencia de metales pesados, minerales o sales, la potabilización se vuelve más compleja y costosa; por lo general esto se da en zonas con escasez de recursos hídricos o costeras, en las cuales para dar solución a esta problemática optan por aplicar un método llamado osmosis inversa para extraer la sal del agua y así purificarla. [16]

1.1.3.5. Normativas legales

El artículo 264 de la Constitución ecuatoriana enfatiza que todos los niveles de gobierno deben cumplir con las normas relativas a la prestación de los servicios de alcantarillado y agua potable, recolección de aguas residuales, acciones de saneamiento y manejo de residuos sólidos. Esto debe seguirse en todo momento, y el gobierno autónomo descentralizado de cada cantón es responsable de hacer cumplir esta normativa. [17]

El artículo 314 de la Constitución ecuatoriana se refiere a la provisión de agua potable y servicios públicos como riego, saneamiento y electricidad. El Estado debe prestar estos servicios de manera abierta y atendiendo a los principios de universalidad, obligatoriedad, responsabilidad, eficiencia, accesibilidad, regularidad, uniformidad, continuidad y calidad. El Estado prestará estos servicios a un precio accesible para todos los usuarios y establecerá su control y regulación. [17]

El artículo 318 de la Constitución ecuatoriana estipula que el agua como líquido vital es patrimonio nacional de uso público, mismo que es de dominio indiscutible del estado, además que cualquier forma de privatización es prohibida. [17]

La Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua, en su artículo 37 estipula que el agua potable y saneamiento son recursos básicos que se debe tener si ningún tipo de restricción. [18]

El agua para consumo humano siempre debe estar en óptimas condiciones, mismas que se estipulan en la normativa NTE INEN 1108, la cual propone rangos permitidos en la presencia de minerales, características físicas y químicas; estas características se presentan en la siguiente tabla. [19]

Tabla 1. Limite permisible para el consumo de agua potable

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN ⁻	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 ¹⁾
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO ₃	mg/l	50
Nitritos, NO ₂	mg/l	0,2
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total [□] *	Bq/l	0,1
Radiación total [□] **	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,01

¹⁾ Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos
* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²²⁴Ra, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁹Pu
** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹²⁹I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs,

Fuente: NTE INEN 1108

Además de indicarnos los ensayos para determinar microbiológicos presentes en este líquido.

Tabla 2. Métodos de ensayo para determinar características bacteriológicas en el agua

Parámetro	Unidad	Límite permitido	Método de ensayo ^a
Coliformes fecales	Número/100 mL	Ausencia	Standard Methods 9221 ^b Standard Methods 9222 ^c
<i>Cryptosporidium</i>	Número de ooquistes/ L	Ausencia	EPA 1623
<i>Giardia</i>	Número de quistes/ L	Ausencia	EPA 1623
^a En el caso de que sean usados métodos de ensayo alternativos a los señalados, estos deben ser normalizados. En el caso de no ser un método normalizado, este debe ser validado. ^b La ausencia corresponde a "< 1,1 NMP/100 mL". ^c La ausencia corresponde a "< 1 UFC/100 mL".			

Fuente: NTE INEN 1108

1.1.3.6. Tipos de tratamiento para potabilizar el agua

Tratamiento Físico

Este tipo de tratamiento contiene los siguientes procesos:

- **Eliminación de la turbiedad y el color:** Consiste en la eliminación de todo el material existente en suspensión, o de menor tamaño por estar dividido y que no se pueda sedimentar con facilidad. Si hay material disuelto o coloidal en el fluido, será necesario tratarlo con un coagulante químico, después de ello clarificarlo, filtrarlo y finalmente desinfectarlo. [20]
- **Eliminación o reducción de gustos u olores:** Este proceso se realiza siempre que el agua continúe contaminada de alguna forma después de pasar por la primera eliminación. De ser afirmativo este caso, se recomiendan diferentes procedimientos dependiendo de la naturaleza del problema, tales como: aireación, carbón activado, uso de cloro u otros agentes oxidantes como el ozono, entre otros. [20]

Tratamiento Químico

Este tratamiento elimina los elementos nocivos o químicos que puedan existir en el fluido, con el principal fin de mejorar la calidad del agua, además, mediante la adición de sustancias químicas, se corrige el valor del pH y reduce la dureza del agua. El pH

se puede estabilizar agregando cal o carbonato de sodio antes o después de la filtración. La reducción de la dureza se realiza por métodos sencillos (cal, soda, zeolitas o resinas). Reducir o eliminar elementos nocivos significa reducir el contenido de hierro, manganeso, fluoruro, arsénico o vanadio. [20]

Tratamiento Bacteriológico

El tratamiento bacteriológico, completa el proceso de purificación del agua en las plantas de tratamiento de agua potable tradicionales. Este tratamiento es la tercera etapa de la depuración del agua, durante la cual se eliminan las sustancias no corregidas en los procesos previos, eliminando especialmente la presencia de cualquier tipo de microorganismos (bacterias coliformes); utilizando cloro como principal fuente de desinfección, las dosis desinfectantes dependerán del cloro residual, mismo que debe tener valores de entre 0.1 mg/l y 0.2 mg/l al final de toda la red de distribución. [20]

1.1.3.7. Principales procesos empleados en el tratamiento de agua para consumo humano

En el tratamiento del agua apta para el consumo humano, se emplean una serie de procesos, mismos que se encuentran condicionados por las características del agua cruda que se tratará, haciendo los mismo más complejos y costosos o de lo contrario si el agua no contiene muchos contaminantes baratos y rápidos; entre los principales procesos que se ejecutan en una planta de tratamiento tenemos los siguientes: [21]

- ❖ **Cribado:** Es el proceso por el cual se eliminan sólidos de gran tamaño como los son hojas, ramas, piedras, entre otras más; mismas que el agua ha acarreado en su proceso natural, la eliminación de este material se da por medio de rejas con una separación determinada. [22]
- ❖ **Coagulación – Floculación:** La floculación es un proceso en el que las partículas inestables se aglomeran para formar flóculos. La coagulación implica la adición de coagulantes para desestabilizar las partículas coloidales para que puedan eliminarse. Se lo lleva a cabo en fracciones de segundo y depende de la cantidad de coagulante y del pH final de la mezcla. En estos procesos, también se eliminan bacterias, virus, organismos patógenos fácilmente separables por coagulación, algas y, en algunos casos, sustancias

que provocan el sabor y el olor. El proceso de coagulación-floculación necesita ser controlado con mucho cuidado, ya que es una de las etapas más importantes, debido a que de ello dependerá la eficiencia de los sedimentadores y filtros. En las plantas de tratamiento, la coagulación se realiza en un tanque conocido como mezcla rápida y la floculación se realiza en floculadores; cabe recalcar que los coagulantes necesitan tiempo para disolverse.

Los coagulantes más comúnmente usados son los siguientes: sulfato férrico, sulfato de aluminio y cloruro férrico; además de ello se emplean polímeros catiónicos o aniónicos como una ayuda a la coagulación. El método más usado para determinar la dosis correcta de coagulantes es el ensayo de prueba de jarras, mismo que simula las condiciones que tiene la planta cuando se realiza la floculación-coagulación, cuyo objetivo es obtener un floculo pesado, compacto y de difícil desfragmentación, para que así pueda pasar por los filtros sin romperse y quedar estancado en los sedimentadores. [23]

En esta prueba, el tamaño del flóculo producido está determinado por el índice de Willcomb, el tiempo inicial de formación del flóculo y la turbidez residual después de un período de sedimentación no menor a 10 minutos; de esta prueba se escoge la jarra que genere un floculo más pesado con mayor velocidad de asentamiento y de menor turbiedad. [23]

- ❖ **Sedimentación:** Proceso por el cual las partículas en suspensión presentes en el agua son removidas gracias a la acción de la fuerza de la gravedad. Estas partículas deben ser más densas que el agua y el resultado será un líquido claro. Las partículas se pueden eliminar dejando que el agua se asiente, filtrando o ejecutando ambos procesos continuamente, por lo que los dos procesos se consideran complementarios. [24]

Entre los factores que inciden en el asentamiento podemos mencionar los siguientes:

- La calidad del agua.
- Condiciones hidráulicas.
- Procesos previos a la sedimentación. [24]

- ❖ **Filtración:** El agua vertida se envía a un filtro donde pasa a través de varias capas de arena de espesor variable. En este punto del procesamiento, el recurso es casi potable. [24]

- ❖ **Desinfección:** Para garantizar la calidad y la potabilidad del agua, agregamos cloro al agua, lo que elimina las bacterias no deseadas y protege el agua en su viaje desde la planta de tratamiento hasta el consumo doméstico. [24]

1.1.3.8. Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico

Como indica el Anexo 1 del TULSMA [25], el agua apta para consumo humano es aquella que se obtiene de cuerpos de agua ya sea superficial o subterránea que una vez tratada, se la pueda emplear por la población para sus actividades diarias como: bebida, comida, necesidades domésticas, higiene personal y limpieza de materiales o utensilios.

Como indican las Tablas 3 y 4, extraídas del TULSMA [25], el agua para consumo humano debe cumplir con estos parámetros:

Tabla 3. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
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	Cd	mg/l	0,01
Cianuro (total)	CN ₋	mg/l	0,1
Cloruro	Cl	mg/l	250
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Coliformes Totales	nmp/100 ml		3 000
Coliformos 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
Bifenilo policlorados/PCBs	Concentración de PCBs totales	µg/l	0,0005

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Fluoruro (total)	F	mg/l	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	1
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		mg/l	1 000
Sulfatos	SO ₄ -	mg/l	400
Temperatura		°C	Condición Natural + o – 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	100
Zinc	Zn	mg/l	5,0
*Productos para la desinfección		mg/l	0,1
Hidrocarburos Aromáticos			
Benceno	C ₆ H ₆	µg/l	10,0
Benzo(a) pireno		µg/l	0,01
Etilbenceno		µg/l	700
Estireno		µg/l	100
Tolueno		µg/l	1 000
Xilenos (totales)		µg/l	10 000

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Pesticidas y herbicidas			
Carbamatos totales	Concentración de carbamatos totales	mg/l	0,1
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,01
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Dibromocloropropano (DBCP)	Concentración total de DBCP	µg/l	0,2
Dibromoetileno (DBE)	Concentración total de DBE	µg/l	0,05
Dicloropropano (1,2)	Concentración total de dicloropropano	µg/l	5
Diquat		µg/l	70
Glifosato		µg/l	200
Toxafeno		µg/l	5
Compuestos Halogenados			
Tetracloruro de carbono		µg/l	3
Dicloroetano (1,2-)		µg/l	10
Dicloroetileno (1,1-)		µg/l	0,3
Dicloroetileno (1,2-cis)		µg/l	70
Dicloroetileno (1,2- trans)		µg/l	100
Diclorometano		µg/l	50
Tetracloroetileno		µg/l	10
Tricloroetano (1,1,1-)		µg/l	200
Tricloroetileno		µg/l	30
Clorobenceno		µg/l	100
Diclorobenceno (1,2-)		µg/l	200
Diclorobenceno (1,4-)		µg/l	5
Hexaclorobenceno		µg/l	0,01
Bromoximil		µg/l	5
Diclorometano		µg/l	50
Tribrometano		µg/l	2

Fuente: TULSMA 2015 [25]

Tabla 4. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren desinfección

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio	Al	mg/l	0,1
Amoniaco	N-Amoniacal	mg/l	1,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,001
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,01
Cobalto	Co	mg/l	0,2
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Color	color real	unidades de color	20
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		50
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	250
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
Estaño	Sn	mg/l	2
Fluoruros	F	mg/l	menor 1,4
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,3
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,025
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
Olor y sabor			Ausencia
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

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Selenio (total)	Se	mg/l	0,01
Sodio	Na	mg/l	200
Sólidos disueltos totales		mg/l	500
Temperatura		°C	Condición Natural + o - 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	10
Zinc	Zn	mg/l	5,0
Hidrocarburos Aromáticos			
Benceno	C ₆ H ₆	mg/l	0,01
Benzo(a) pireno		mg/l	0,00001
Pesticidas y herbicidas			
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,01
Organofosforados y carbonatos	Concentración de organofosforados y carbonatos totales	mg/l	0,1
Toxafeno		µg/l	0,01
Compuestos Halogenados			
Tetracloruro de carbono		mg/l	0,003
Dicloroetano (1,2-)		mg/l	0,01
Tricloroetano (1,1,1-)		mg/l	0,3

Fuente: TULSMA 2015 [25]

Tabla 5. Límites máximos permisibles del agua potable

PARAMETRO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicos		
Sólidos totales	mg/l	1500
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	2,4
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN ⁻	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO ₃ ⁻	mg/l	50
Nitritos, NO ₂ ⁻	mg/l	3,0
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total α *	Bq/l	0,5
Radiación total β **	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,04
Sustancias orgánicas		
Hidrocarburos policíclicos aromáticos HAP Benzo [a] pireno	mg/l	0,0007
Hidrocarburos: Benceno	mg/l	0,01
Tolueno	mg/l	0,7
Xileno	mg/l	0,5
Estireno	mg/l	0,02
1,2dicloroetano	mg/l	0,03
Cloruro de vinilo	mg/l	0,0003
Tricloroetano	mg/l	0,02
Tetracloroetano	mg/l	0,04
Di(2-etilhexil) ftalato	mg/l	0,008
Acrylamida	mg/l	0,0005

PARAMETRO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO
Epiclorohidrina	mg/l	0,0004
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,0006
1,2Dibromoetano	mg/l	0,0004
1,4- Dioxano	mg/l	0,05
Ácido Nitrilotriacético	mg/l	0,2
Plaguicidas		
Atrazina y sus metabolitos cloro-s-triazína	mg/l	0,1
Isoproturón	mg/l	0,009
Lindano	mg/l	0,002
Pendimetalina	mg/l	0,02
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Dicloroprop	mg/l	0,1
Alacloro	mg/l	0,02
Aldicarb	mg/l	0,01
Aldrín y Diendrín	mg/l	0,00003
Carbofuran	mg/l	0,007
Clorpirifós	mg/l	0,03
DDT y metabolitos	mg/l	0,001
1,2-Dibromo-3-cloropropano	mg/l	0,001
1,3-Dicloropropeno	mg/l	0,02
Dimetoato	mg/l	0,006
Endrín	mg/l	0,0006
Terbutilazina	mg/l	0,007
Clordano	mg/l	0,0002
Hidroxiatrazina	mg/l	0,2

Fuente: NTE INEN 1108 [26]

1.1.3.9. Tipos de plantas de tratamiento de agua potable

Se define las plantas de tratamiento de agua potable o PTAP por sus siglas, como una estructura con un objetivo principal, el cual es dar un óptimo tratamiento del agua para que esta sea apta para el consumo humano; el diseño de las PTAP se las realiza en función de las características químicas, biológicas y físicas de este líquido; cabe recalcar que toda planta de tratamiento de agua potable debe cumplir con los siguientes principios básicos:

- ✓ Tratamiento integrado del recurso.

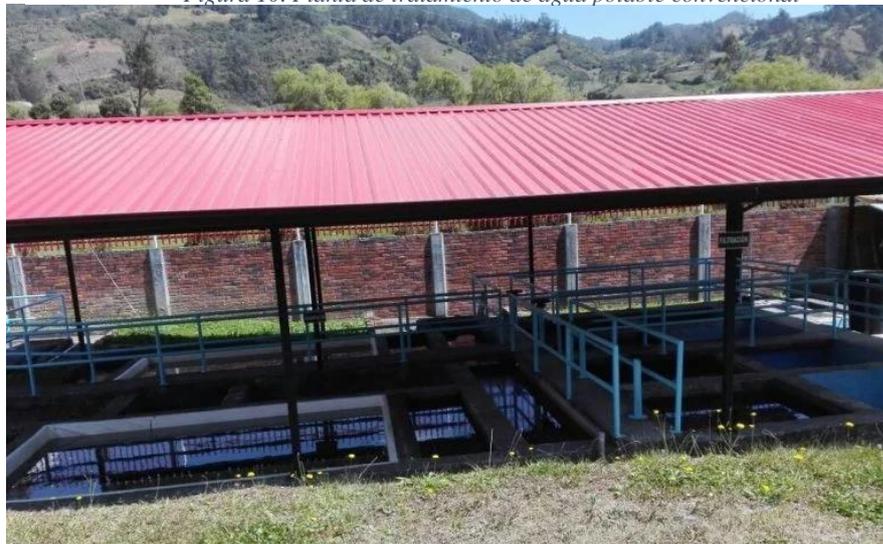
- ✓ Tratamiento en diferentes etapas, mismas que garanticen que el líquido resultante produzca bajas o nulas afectaciones a la salud humana.
- ✓ Cada etapa del tratamiento contiene un objetivo específico mismo que debe ser cumplido a cabalidad para así eliminar cualquier tipo de contaminante.

Las plantas de tratamiento de agua potable más utilizadas en la actualidad, tanto en la zona urbana como en la zona rural son las siguientes: [26]

Plantas de Tratamiento de Agua Potable Convencionales

Se destacan debido a que en cada proceso presente la depuración se produce en una estructura diferente, consta de canales, floculadores, decantadores y filtros, el tiempo de estadía del líquido es muy largo, por lo general este tipo de plantas se utilizan para abastecer grandes ciudades y municipios. [28]

Figura 10. Planta de tratamiento de agua potable convencional



Fuente: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/plantas-de-tratamiento-de-agua-potable-ptap-funcionamiento-y-tipos/>

Plantas de Tratamiento Compactas

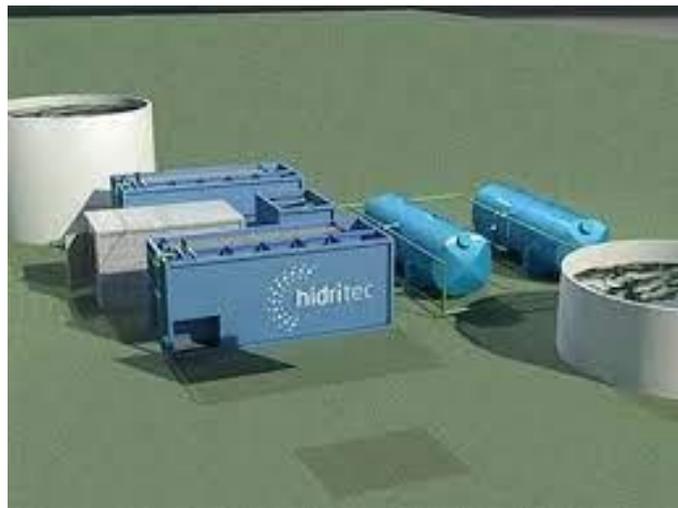
Se distinguen de las plantas de tratamiento de agua potable convencionales debido a que los procesos de coagulación, floculación y sedimentación se realizan en la misma unidad, y luego el agua ya tratada se envía al filtro, donde los recursos tienen un tiempo de residencia corto. Las plantas compactas de tratamiento de agua potable (PTAP) se

pueden clasificar en varios tipos, en función de las necesidades cubiertas y del tipo de tratamiento que requiere el recurso.

A diferencia de las PTAP tradicionales, este tipo de presenta las siguientes ventajas:

- Garantice el suministro de recursos a largo plazo sin procesamiento adicional
- El funcionamiento de estas unidades compactas es automático y no presenta riesgo operativo ya que no requiere la adición posterior de productos de cloro, dióxido de cloro u ozono.
- Recursos hídricos de alta calidad para consumo humano, libres de bacterias y con alto contenido de oxígeno
- Son menos susceptibles a las variaciones en la calidad del agua afluyente.
- La desinfección durante el procesamiento del agua se realiza mediante radiación ultravioleta, lo que garantiza eliminar hasta el 99,9% de virus y bacterias. [28]

Figura 11. Planta de tratamiento de agua potable compacta



Fuente: <http://www.hidritec.com/hidritec/plantas-compactas-de-tratamiento-de-agua-potable>

Plantas de Tratamiento de Agua con Sistema de Microfiltración

Esta PTAP es ideal para purificar agua con partículas mayores a 5 micras, son livianas hechas de fibra de vidrio y producen muy poco consumo de electricidad y químicos, son sencillas de instalar haciendo que este tipo de planta sea ideal para zonas en donde

la población llega como máximo a 4000 habitantes; purificando de 250 a 30,000 litros de agua por hora. [28]

Las ventajas asociadas al uso de membranas de microfiltración en el tratamiento de agua son:

- Uso de poca energía para el tratamiento.
- Crean una barrera absoluta para eliminar microorganismos, minimizando así los agentes contaminantes de tipo biológico.
- Requieren menos concentración de cloro para la desinfección del agua.
- Reduce el uso de productos químicos para el tratamiento.
- Reduce el espacio utilizado para instalar la planta de tratamiento. [28]

El método filtrante en este tipo de PTAP está basado en el principio de separación de partículas considerando el tamaño y distribución de estas; la separación dependerá de la membrana utilizada, misma que podrá retirar sólidos suspendidos de más de 0.45, como lo son los micrones, quistes, bacterias, parásitos y otros, presentes en el agua cruda. [28]

Figura 12. Planta de tratamiento de agua potable con sistema de microfiltración



Fuente: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/plantas-de-tratamiento-de-agua-potable-ptap-funcionamiento-y-tipos/>

Plantas de Tratamiento de Agua con Sistemas de Ultrafiltración

Estas plantas emplean sistemas de depuración basados en procesos de ultrafiltración y microfiltración. Este tipo de PTAP puede recibir varias fuentes de agua como ríos,

arroyos, lagunas, agua proveniente de la lluvia, pozos de agua subterránea, entre otros. [29]

La tecnología de ultrafiltración (UF) que utiliza se basa en el uso de membranas, mismas que tienen por objetivo la detención de partículas de hasta 0,01 micras, reduciendo así los agentes biológicos microscópicos como bacterias, virus y coloides, estas PTAP son más completas que las de microfiltración porque brindan mayor calidad de agua y están especializados para tratar líquidos con características más complejas, haciéndolos ideales para su instalación en industrias que requieran agua de alta pureza como plantas embotelladoras y embotelladoras de agua, clínicas y restaurantes, estas plantas de tratamiento pueden purificar desde 800 hasta 20.000 litros de agua por hora. [29]

El principio detrás de la gestión del tratamiento del agua por ultrafiltración es la separación física, y el tamaño de la membrana del filtro condiciona la reducción de sólidos disueltos, turbidez y microbios en el líquido. [29]

Las sustancias más grandes que el diámetro del poro de la membrana se retienen todas en la misma, mientras que las sustancias más pequeñas que el diámetro del poro de la membrana se interceptan parcialmente. Es necesario construir una capa de intercepción en la membrana para excluir las sustancias residuales en el recurso. [29]

Las ventajas de estas PTAP son:

- Producen grandes cantidades de agua potable cada hora.
- No requiere la adición de químicos al para su purificación.
- Livianas hechas de fibra de vidrio, fáciles de almacenar y transportar, con un mantenimiento relativamente sencillo
- Sistema de larga duración totalmente sostenible
- Son neutrales o tienen carga negativa para evitar que los microorganismos presentes en el recurso sean absorbidos.
- De fácil instalación.
- Con una gran resistencia a químicos. [29]

Figura 13. Planta de tratamiento de agua con sistema de ultrafiltración



Fuente: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/plantas-de-tratamiento-de-agua-potable-ptap-funcionamiento-y-tipos/>

1.1.4. Hipótesis

La planta de tratamiento de agua potable, perteneciente a la comunidad de Marcos Espinel, cantón Píllaro, provincia de Tungurahua, no se encuentra funcionando correctamente en el estado actual

1.1.5. Hipótesis nula

La planta de tratamiento de agua potable, perteneciente a la comunidad de Marcos Espinel, cantón Píllaro, provincia de Tungurahua, se encuentra funcionando correctamente en el estado actual

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar la planta de tratamiento de agua potable de la parroquia Marcos Espinel, cantón Píllaro, provincia de Tungurahua.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento de información de la planta de tratamiento.
- Analizar el agua del influente y efluente de la planta de tratamiento.
- Evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento según la normativa vigente INEN 1108 (2014).
- Realizar una propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento en caso de ser necesario.

CAPÍTULO II

2.1. MATERIALES Y EQUIPOS

Los equipos y materiales utilizados para realizar la presente investigación se detallan a continuación.

Tabla 6. Materiales utilizados en la investigación

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
Galón Transparente	5	Unidad
Balanza Digital	1	Unidad
Ph metro	1	Unidad
Botellas de vidrio ámbar 1 litro	3	Unidad
Hielera cooler	1	Unidad
Colorímetro	1	Unidad
Pipeta	1	Unidad
Probeta	1	Unidad
Batrax	1	Unidad
Envases para test de las jarras	5	Unidad
Cuaderno	1	Unidad

Fuente: El Autor

Tabla 7. Equipos utilizados en la investigación

EQUIPO	CANTIDAD	UNIDAD
Computadora	1	Unidad
Cámara	1	Unidad
Cronómetro	1	Unidad
Cinta Métrica	1	Unidad
Flexómetro	1	Unidad
Impresora	1	Unidad
GPS	1	Unidad
Estación Total	1	Unidad

Fuente: El Autor

Tabla 8. Equipos de protección utilizados en la investigación

EQUIPO	CANTIDAD	UNIDAD
Mandil	1	Unidad
Botas de Caucho	1	Par
Mascarillas	1	Caja
Poncho impermeable	1	Unidad

Fuente: El Autor

2.2. METODOLOGÍA

El presente trabajo experimental tiene por objetivo, evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento perteneciente a la parroquia Marcos Espinel del cantón Píllaro de la provincia de Tungurahua, mismo que se llevará a cabo respetando las siguientes fases o procesos:

2.2.1. FASE 1: Levantamiento de información

Esta fase consta de aspectos como: una breve revisión bibliográfica del cantón Píllaro, ubicación, límites, actividad socioeconómica y demás información que pueda ayudar a entender las condiciones en las que la población usa el recurso hídrico. También se realiza una recopilación de información general de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, datos técnicos como el caudal de diseño con el que fue construida, vida útil, mantenimiento realizado, propiedades del agua que ingresa a la planta y las unidades de tratamiento. Es importante realizar una visita técnica a la PTAP ya que aquí recolectaremos información acerca del estado en el que se encuentra la planta de potabilización.

2.2.1.1. Ubicación

Píllaro se encuentra ubicado al norte de la provincia de Tungurahua, a 14 kilómetros de la principal ciudad de la provincia que es Ambato, y su cabecera cantonal se localiza a 2800 metros sobre el nivel del mar. [30]

En cuanto a la parroquia Marcos Espinel, es una de las 9 que conforman el cantón Píllaro, limitada al norte por San José de Polaló y cantón Píllaro, al Sur por San Miguelito y Baquerizo Moreno; al Este por provincia de Napo; y al Oeste por Cantón Píllaro. [31]

Figura 14. Ubicación Geográfica de la parroquia Marcos Espinel



Fuente: PDOT Santiago de Píllaro

2.2.1.2. Extensión y Población

La parroquia Marcos Espinel está comprendida por una extensión de 126.34 km²; la cabecera parroquial cuenta con la mayor densidad urbana demográfica, a pesar de ocupar el puesto número 4 con respecto a extensión, ya que cuenta con 0.0587 km², con un total de 214 pobladores; mientras que en cuanto a densidad poblacional rural hablamos, tiene una extensión de 126.23 km² y cuenta con 2376 habitantes. [32]

Tabla 9. Densidad Poblacional Urbana Cabeceras Parroquiales

Parroquias	Área urbana (km ²)	Población (Hab)	Densidad (Hab/ km ²)
Píllaro	4,6048	11.069	2404
Baquerizo Moreno	0,1859	119	640
Emilio María Terán	0,1152	134	1.163
Marcos Espinel	0,0587	214	3.646
Presidente Urbina	0,0325	35	1.077
San Andrés	0,0901	179	1.987
San José de Poaló	0,0458	88	1.921
San Miguelito	0,1153	343	2.975

Fuente: PDOT Santiago de Píllaro

2.2.1.3. Actividad Socioeconómica de la Población

Las actividades principales para el desarrollo socioeconómico de Píllaro son: la agricultura, pesca, silvicultura y ganadería, con un 46.2%, en segundo lugar, se encuentra el sector de la construcción con un 10.4%, y el comercio con un 9.1% mismo que es al por mayor y menor. [32]

Tabla 10. Densidad Poblacional Rural Parroquial

Parroquias	Área rural (Km ²)	Población (Hab)	Densidad (Hab/ km ²)
Píllaro	43,19	2812	65,11
Baquerizo Moreno	26,34	189	7,18
Emilio María Terán	16,59	1535	92,53
Marcos Espinel	126,23	2376	18,82
Presidente Urbina	12,54	3072	244,98
San Andrés	53,04	12251	230,98
San José de Poaló	163,22	1998	12,24
San Miguelito	21,90	5183	236,67

Fuente: PDOT Santiago de Píllaro

Tabla 11. Principales Actividades Económicas 2020



Fuente: INEC

2.2.1.4.Hidrografía

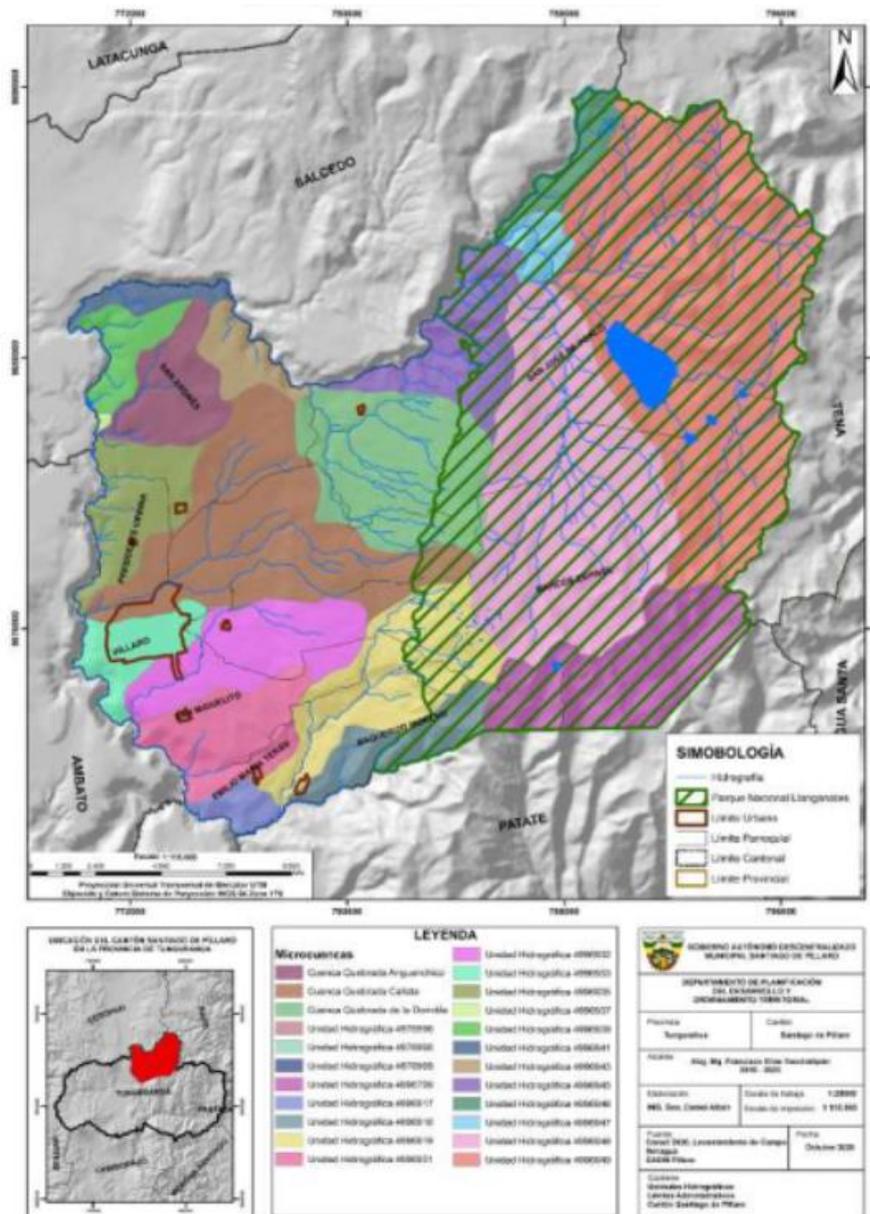
2.2.1.5. Subcuencas

La parroquia Marcos Espinel cuenta con un sistema de drenaje natural equivalente a un área de 12634.09 hectáreas provenientes de cuatro microcuencas, mismas que son: unidad hidrográfica 499693, unidad hidrográfica 497899, unidad hidrográfica 499691 y la cuenca del Río Yanayacu. [33]

2.2.1.6. Microcuencas

La microcuenca que atraviesa la parroquia de Marcos Espinel de la Quebrada Callate, tiene una dimensión igual a 5124.29 hectáreas, además de esta, tenemos otra cuenca igual de importante que mencionar como lo es la Quebrada de la Domilita, con una superficie de 3555.96 hectáreas. [33]

Figura 15. Microcuencas de Santiago de Pillaro



Fuente: SENAGUA

2.2.1.7. Contaminación del Recurso Hídrico

Al momento del avance y crecimiento poblacional, se tiende a generar un cambio en las prácticas agrícolas y ganaderas y no solo un cambio, sino un incremento significativo en las mismas, las cuales llegan a afectar el agua circundante y la calidad de vida de los seres que habitan en dichas aguas o beben de las mismas. [33]

En la siguiente tabla se muestra la contaminación del recurso hídrico en las parroquias del cantón Píllaro y en especial del cantón Marcos Espinel, del cual estamos hablando en este proyecto. [33]

Tabla 12. Contaminación del Recurso Hídrico del Cantón Santiago de Píllaro

Unidad Hidrográfica	Cuerpo hídrico	Parroquia(s)	Cantidad de industrias	Tipo
4996944	Quebrada Censo Poaló	San José de Poaló	1	Balanceaos
4996934	Quebrada Andahualo	Píllaro- San Andrés	3	Avícola
4996939	Quebrada Chorrera	San Andrés	1	Avícola
4996936	Quebrada Cashapugro	San Andrés	3	Avícola
4996934	Quebrada Chaupi	Píllaro	1	-
4996934	Quebrada Pucahuaycu	Píllaro-Marcos Espinel	1	Láctea
4996934	Quebrada Callate	Presidente Urbina	4	Avícola
4996932	Quebrada Quilimbulo	Marcos Espinel	9	Láctea
Total			23	

Fuente: PDOT Santiago de Píllaro

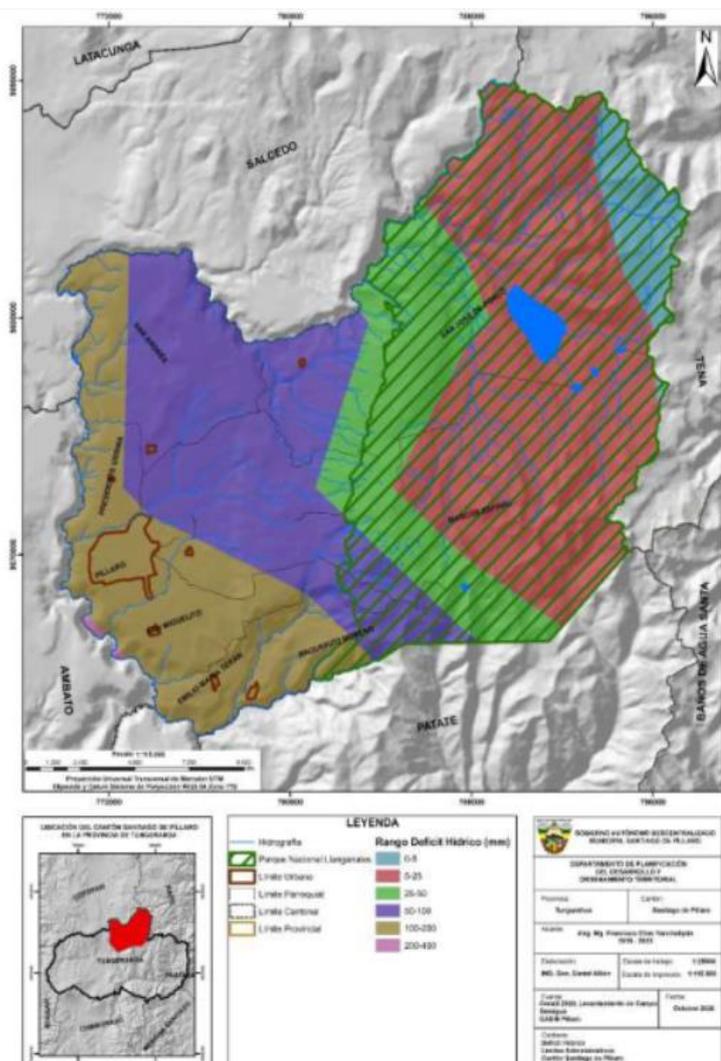
2.2.1.8. Déficit Hídrico

Existe un déficit hídrico a lo largo de todo el cantón, mismo que va en aumento desde el nororiente hasta el suroccidente de todo el territorio, el 2.8% que se encuentra fuera del Parque Nacional Llanganates tiene un déficit hídrico de entre 25 a 50 mm en las parroquias Píllaro, Marcos Espinel y San José de Polaló.

El 22.2% que se encuentra fuera de la zona del Parque nacional Llanganates, está con un déficit hídrico del 50 a 100 mm, mismo que afecta a las parroquias tales como Emilio María Terán, Baquerizo Moreno, Marcos Espinel, Píllaro, San Andrés, Presidente Urbina, San José de Polaló y San Miguelito.

Además de lo expuesto en los párrafos anteriores, las parroquias de San Miguelito y Píllaro suman el 0.1% del área cantonal excluida del Parque Nacional Llanganates que tiene un déficit de 200 a 400 mm. [33]

Figura 16. Mapa de Déficit Hídrico Cantón Santiago de Píllaro



Fuente: SENAGUA

2.2.1.9. Gestión del Recurso Hídrico

La cobertura del líquido vital para consumo humano en el área urbana es un estimado del 87.69%, misma que se encuentra controlada por el GADM Santiago de Píllaro, misma institución que provee de agua a las parroquias de Marcos Espinel y Presidente Urbina; en cuanto a la zona rural se calcula que el 86.10% de los habitantes, son provistos de agua a través de la regulación de las Juntas Administradoras de Agua Potable; en cualquiera de estos dos casos, sea urbana o rural, se supera la media establecida por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo 2017, la cual plantea que es del 40.01%. [33]

2.2.1.10. Acceso al Agua Potable

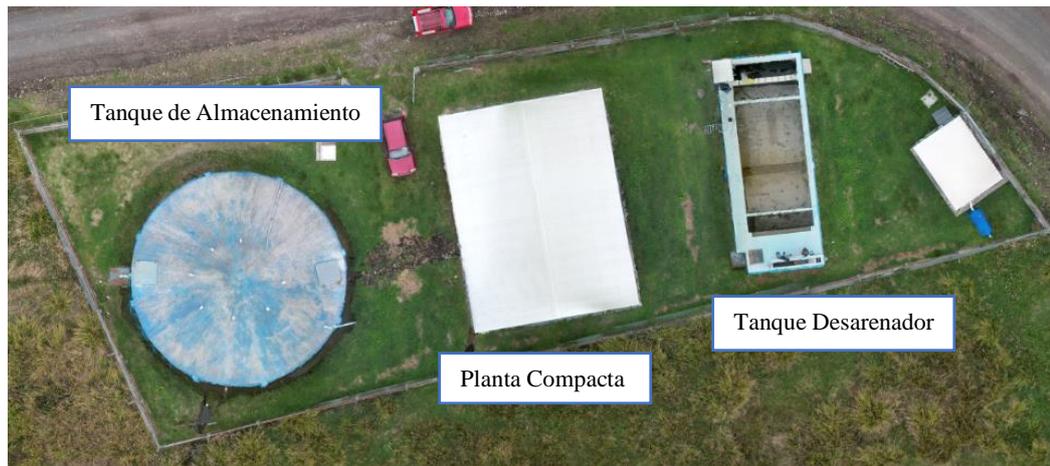
El cantón Píllaro cuenta con 3 fuentes de captación de agua, además de 2 plantas de tratamiento de agua potable; misma que es dividida en el 61% a Santa Rita, el 18% para Marcos Espinel y el 21% para Huaira Pata, las cuales dan una suma total de 140 lt/seg por día.

- La planta de tratamiento de agua potable de Santa Rita capta agua del río Yanayacu, con una capacidad de procesar 150 lt/seg por día, y provee de agua a las parroquias de San Andrés (casco urbano), Píllaro (casco urbano) y Presidente Urbina, pero cabe recalcar que esta planta potabilizadora no funciona a su máxima capacidad ya que solo procesa y provee de 85 lt/seg por día.
- La planta de tratamiento de agua potable de Marcos Espinel, ubicada en el sector de Quimbana, tiene por fuentes de captación 5 vertientes (Latitud: 1°10'7.85"S; Longitud: 78°26'54.37"O), mismas que se encuentran localizadas en la hacienda del mismo nombre, además de la Laguna Aluleo; esta planta por problemas debido a su diseño, no se encuentra en funcionamiento, hasta el año 2020, mismo año en el que por ese sector pasaba el agua por medio de un baipás sin tratamiento previo. [33]

2.2.1.11. Diagnóstico de las unidades de tratamiento

La PTAP de la parroquia Marcos Espinel consta de un tren de tratamiento conformado por: un desarenador, planta compacta que a su vez se compone de: bombas dosificadoras, tanque contactor, tanque de equilibrio, floculador hidráulico, sedimentador, filtros, finalmente el tanque de almacenamiento.

Figura 17. Tren de tratamiento de la PTAP de la parroquia Marcos Espinel



Fuente: El Autor

- Desarenador

En la inspección técnica se evidenció que, debido al mantenimiento de la PTAP, tanto el desarenador como el cáncamo rompe presión se encuentran en buenas condiciones. La figura 18 muestra que no existe arena lo que demuestra el mantenimiento constante del operador garantizando así el buen funcionamiento de las demás etapas de la PTAP.

Figura 18. Estado actual del desarenador



Fuente: El Autor

- Vertederos

La figura 19 indica el estado actual de los vertederos.

Figura 19. Estado actual de los vertederos



Fuente: El Autor

- Tanques químicos

La figura 20 indica el estado actual de los tanques químicos de sulfato de aluminio, junto con sus dosificadores.

Figura 20. Tanques químicos con sus bombas dosificadoras



Fuente: El Autor

- Tanque contactor

Como indican la figura 21, el agua procedente del desarenador se dirige al tanque contactor mediante bombeo y pasa por un filtro de 4 etapas compuesto de material de diferente granulometría.

Figura 21. Estado actual del tanque contactor



Fuente: El Autor

- **Tanque de equilibrio y sedimentador**

Como indica la figura 22, los componentes del sedimentador muestran señales de corrosión y despostillamiento, lo que puede generar la contaminación del agua y alteración de su composición. Por otra parte, como indica la figura 23, las paredes externas del tanque de equilibrio se encuentran en perfecto estado, lo que se puede justificar por la cubierta que protege a la planta compacta de las condiciones climáticas.

Figura 22. Estado actual del sedimentador



Fuente: El Autor

Figura 23. Estado actual del tanque de equilibrio/ sedimentador



Fuente: El Autor

- **Floculadores hidráulicos**

Como indica la figura 24, los floculadores hidráulicos se encuentran con flocks, es decir, la aglutinación de los coloides; por lo tanto, se puede evidenciar que el mantenimiento a los floculadores no es constante.

Figura 24. Estado actual de los floculadores



Fuente: El Autor

- **Filtros**

La figura 25 indica el estado actual de los filtros. El agua proveniente del sedimentador ingresa a los filtros por presión de las bombas, estos filtros están conformados por arena, grava y carbón activado.

Figura 25. Estado actual de los tanques de cloro (gas)



Fuente: El Autor

- **Tanque de almacenamiento**

La figura 26 muestra el estado actual del tanque de almacenamiento, al costado izquierdo se puede observar la salida de agua de purgas.

Figura 26. Estado actual del tanque de almacenamiento



Fuente: El Autor

2.2.2. FASE 2: Investigación de campo

En esta fase es necesaria visitar la PTAP por al menos dos semanas para realizar mediciones de los caudales de ingreso y de salida para calcular el caudal promedio que nos servirá para evaluar cada unidad de tratamiento. Finalmente se lleva a cabo la toma de muestras del agua de ingreso y de salida para comprobar la planta está funcionando correctamente y si es apta para el consumo de la población sin ningún riesgo para la salud.

2.2.2.1. Medición de caudales de entrada y salida de la PTAP

La medición de los caudales de entrada y de salida se realizó con el método volumétrico donde fue necesario imponerse un volumen en este caso 9 litros y medir el tiempo en el que se alcanza dicho volumen con un cronómetro. Esta práctica se la realizó por 14 días que fueron desde el 28 de noviembre hasta el 11 de diciembre del 2022 desde las 8:00 am hasta las 15:00 pm, con intervalo de 1 hora. Esta medición nos

dará una idea del caudal que entra a la PTAP y con ello poder asumir un caudal máximo horario que se empleará para la evaluación.

Figura 27. Medición del caudal de ingreso de la PTAP



Fuente: El Autor

2.2.2.2. Mediciones de los caudales de ingreso y salida de la semana del 28 de noviembre al 4 de diciembre de 2022

Tabla 13. Mediciones de los caudales de ingreso de la semana del 28 de noviembre - 4 de diciembre de 2022

CAUDALES INGRESO								
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	PROMEDIO
8:00 a 9:00	3,04	3,93	3,75	3,53	3,24	5,36	4,59	3,79
9:00 a 10:00	3,90	3,44	3,02	3,41	3,52	5,77	4,81	3,81
10:00 a 11:00	3,96	3,75	2,86	3,21	3,69	6,08	5,36	3,88
11:00 a 12:00	3,72	3,36	2,54	3,73	3,88	5,14	4,76	3,70
12:00 a 13:00	3,36	3,50	2,49	3,59	4,07	5,59	5,36	3,73
13:00 a 14:00	3,11	3,21	2,88	3,38	3,26	7,26	4,52	3,61
14:00 a 15:00	3,44	4,37	3,14	3,02	4,48	4,79	4,86	3,87

Fuente: El Autor

Tabla 14. Mediciones de los caudales de salida de la semana del 28 de noviembre - 4 de diciembre de 2022

CAUDALES SALIDA								
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	PROMEDIO
8:00 a 9:00	2,98	3,50	3,53	3,24	2,99	4,48	5,14	3,56
9:00 a 10:00	2,87	3,28	2,87	3,13	2,81	5,49	5,49	3,43
10:00 a 11:00	3,38	3,38	2,53	3,11	3,52	4,81	5,70	3,54
11:00 a 12:00	3,17	3,11	2,37	3,40	3,70	4,86	4,76	3,44
12:00 a 13:00	3,16	3,37	2,36	3,28	3,73	6,21	5,49	3,59
13:00 a 14:00	2,86	2,88	2,61	3,17	3,45	6,67	5,84	3,49
14:00 a 15:00	2,89	4,05	2,88	2,78	3,88	5,73	7,32	3,75

Fuente: El Autor

Como indican las Tablas 12 y 13, la variación de caudales tanto de ingreso como de salida se dan en los días sábado y domingo debido a las precipitaciones, por ende, la subida del caudal.

2.2.2.3. Mediciones de los caudales de ingreso y salida de la semana del 5 al 11 de diciembre de 2022

Tabla 15. Mediciones de los caudales de ingreso de la semana del 5 - 11 de diciembre de 2022

CAUDALES INGRESO								
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	PROMEDIO
8:00 a 9:00	4,27	3,54	3,54	5,11	4,81	6,12	4,41	4,40
9:00 a 10:00	3,54	3,66	4,19	4,76	5,70	5,45	3,83	4,31
10:00 a 11:00	3,90	3,59	3,36	4,89	5,49	5,70	3,40	4,14
11:00 a 12:00	3,52	3,81	3,67	5,45	5,81	6,12	3,67	4,35
12:00 a 13:00	3,17	3,64	3,14	6,21	5,70	4,79	3,53	4,03
13:00 a 14:00	3,03	3,11	2,99	6,16	4,55	4,55	3,14	3,67
14:00 a 15:00	2,87	3,17	3,17	6,52	4,41	4,81	3,61	3,80

Fuente: El Autor

Tabla 16. Mediciones de los caudales de salida de la semana del 5 - 11 de diciembre de 2022

CAUDALES SALIDA								
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	PROMEDIO
8:00 a 9:00	3,85	3,40	3,14	3,73	4,21	5,14	3,73	3,80
9:00 a 10:00	3,16	3,50	4,00	3,88	4,89	4,81	3,54	3,88
10:00 a 11:00	3,53	3,02	3,02	4,21	4,81	5,70	3,24	3,73
11:00 a 12:00	3,41	3,24	3,41	4,81	5,73	5,49	3,40	3,99
12:00 a 13:00	3,67	2,99	2,96	5,39	5,45	5,66	3,24	3,89
13:00 a 14:00	2,89	2,78	2,79	5,73	4,43	4,21	3,35	3,50
14:00 a 15:00	2,59	2,56	2,64	4,84	3,88	3,85	2,96	3,16

Fuente: El Autor

Como indican las Tablas 14 y 15, la variación de caudales tanto de ingreso como de salida se dan en los días: jueves, viernes y sábado debido a las precipitaciones, por ende, la subida del caudal.

2.2.3. FASE 3: Investigación de laboratorio

En esta fase se envían las muestras tomadas a un laboratorio especializado para analizar la calidad del agua, evaluando varios parámetros como: aceites, grasas, cobre, DBO5, DBO, sulfatos, nitratos, pH, entre otros. Se realizará una comparación de los valores obtenidos con los límites máximos que se establecen en el Anexo 1 del TULSMA, Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.

2.2.3.1. Toma de muestras de agua cruda y tratada

Una vez medidos los caudales de ingreso y salida, se procedió con la toma de muestras, que se realizó el lunes 12 de diciembre de 2022 a las 13:00pm. Para la toma de muestras se basó en la norma NTE INEN 2 176:1998 (Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo) donde aclara que son necesarias dos muestras de agua, una tomada al ingreso de la PTAP y la otra a la salida de esta. Para el manejo y traslado de las muestras al laboratorio se basó en la norma NTE INEN 2 169:1998

(Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras), donde especifica el uso de botellas de vidrio ámbar, con la finalidad de evitar alteraciones de descomposición en las partículas fotosensibles. Se empleó una hielera/cooler para su conservación y traslado al Laboratorio AnavanLab. Los resultados se encuentran en el Anexo 2.

Figura 28. Botellas de vidrio ámbar



Fuente: El Autor

Figura 29. Cooler/hielera de espuma flex



Fuente: El Autor

2.2.3.2. Resultados del análisis de calidad de agua

Tabla 17. Resultados del análisis de laboratorio de la muestra de agua de ingreso a la PTAP

PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO
Aceites y Grasas	AAA-PE-A001/ SM 5520 C	mg/L	< 0,1
Arsénico	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	< 0,0005
Bario	AAA-PE-A022/ SM 3111 D. EPA 3015	mg/L	< 1,0
Cianuros	AAA-PE-A004/ SM 4500 – CN E.	mg/L	< 0,010
Cobre	AAA-PE-A022/ SM 3111 B. EPA 3015	mg/L	< 0,050

Coliformes Fecales NMP	AAA-PE-A101/ SM 9223 B	NMP/100mL	1,5
Color	AAA-PE-A007/ SM 2120 C	U. Pt-Co	2
Cromo Hexavalente	AAA-PE-A009/ SM3500 Cr B	mg/L	< 0,010
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	AAA-PE-A010/ SM 5210 D	mg/L	< 2
Demanda Química de Oxígeno	AAA-PE-A011/ SM 5220 C y D	mg/L	< 4
Fluoruros	AAA-PE-A017/ SM 4500-F D	mg/L	0,29
Hierro	AAA-PE-A022/ SM 3111 B. EPA 3015	mg/L	< 0,25
Mercurio	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	< 0,0010
Nitratos	AAA-PE-A024/ SM 4500-NO3 E.	mg/L	< 1,0
Nitritos	AAA-PE-A025/ SM 4500-NO2 E	mg/L	< 0,01
Selenio	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	< 0,005
Sulfatos	AAA-PE-A037/ SM 4500 SO42- E	mg/L	< 10,0
Turbidez	AAA-PE-A038/ SM 2130 B	NTU	3,470
pH in situ	AAA-PI-A002/ SM 4500-H+ B	unid pH	7,1
Cadmio	EPA 6010 B / SM 3120B	mg/L	< 0,001
Plomo	EPA 6010 B / SM 3120B	mg/L	< 0,001
Sólidos totales	AAA-PE-A101/ SM 9225 B	mg/L	875,55

Fuente: El Autor

Tabla 18. Resultados del análisis de laboratorio de la muestra de agua de salida a la PTAP

PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO
Aceites y Grasas	AAA-PE-A001/ SM 5520 C	mg/L	< 0,1
Arsénico	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	< 0,0005
Bario	AAA-PE-A022/ SM 3111 D. EPA 3015	mg/L	< 1,0
Cianuros	AAA-PE-A004/ SM 4500 – CN E.	mg/L	< 0,010
Cobre	AAA-PE-A022/ SM 3111 B. EPA 3015	mg/L	< 0,050
Coliformes Fecales NMP	AAA-PE-A101/ SM 9223 B	NMP/100mL	1,2
Color	AAA-PE-A007/ SM 2120 C	U. Pt-Co	2
Cromo Hexavalente	AAA-PE-A009/ SM3500 Cr B	mg/L	< 0,010
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	AAA-PE-A010/ SM 5210 D	mg/L	< 2
Demanda Química de Oxígeno	AAA-PE-A011/ SM 5220 C y D	mg/L	< 4
Fluoruros	AAA-PE-A017/ SM 4500-F D	mg/L	0,26
Hierro	AAA-PE-A022/ SM 3111 B. EPA 3015	mg/L	< 0,25
Mercurio	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	< 0,0010
Nitratos	AAA-PE-A024/ SM 4500-NO3 E.	mg/L	< 1,0
Nitritos	AAA-PE-A025/ SM 4500-NO2 E	mg/L	< 0,01

Selenio	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	< 0,005
Sulfatos	AAA-PE-A037/ SM 4500 SO42- E	mg/L	< 10,0
Turbidez	AAA-PE-A038/ SM 2130 B	NTU	0,630
pH in situ	AAA-PI-A002/ SM 4500-H+ B	unid pH	7,0
Cadmio	EPA 6010 B / SM 3120B	mg/L	< 0,001
Plomo	EPA 6010 B / SM 3120B	mg/L	< 0,001
Sólidos totales	AAA-PE-A101/ SM 9225 B	mg/L	260,76

Fuente: El Autor

2.2.4. FASE 4: Análisis y verificación de funcionamiento

Los resultados de los análisis nos permitirán evaluar el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) por lo que en esta fase se realiza un diagnóstico detallado de cada uno de los procesos unitarios de la PTAP. También se realiza evidencia mediante fotografías el estado físico de cada componente.

2.2.4.1. Comparación de resultados de análisis de calidad de agua con los criterios establecidos por el TULSMA 2015 y la NTE INEN 1108

Las tablas 19 y 20 muestran una comparación de parámetros físico - químicos entre los resultados obtenidos del análisis de las muestras de agua cruda y tratada y los límites máximos permisibles que se establecen en el TULSMA 2015 (Tabla 3) y en la NTE INEN 1108 (Tabla 5) y con esto determinar si la PTAP está funcionando correctamente.

Tabla 19. Comparación de los resultados obtenidos de la muestra de ingreso y los límites máximos permisibles según el TULSMA 2015 y la NTE INEN 1108

PARÁMETRO	U	INGRESO	LÍMITE MÁX. TULSMA 2015	LÍMITE MÁX. INEN 1108	CUMPLIMIENTO
Aceites y Grasas	mg/L	< 0,1	0,3	-	CUMPLE
Arsénico	mg/L	< 0,0005	0,05	0,01	CUMPLE
Bario	mg/L	< 1,0	1	0,7	CUMPLE
Cianuros	mg/L	< 0,010	0,1	0,07	CUMPLE
Cobre	mg/L	< 0,050	1	2	CUMPLE
Coliformes Fecales NMP	NMP/100mL	1,5	600	<1,1	NO CUMPLE
Color	U. Pt-Co	2	100	15	CUMPLE
Cromo Hexavalente	mg/L	< 0,010	0,05	0,05	CUMPLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	mg/L	< 2	2	-	CUMPLE
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	< 4	<4	-	CUMPLE
Fluoruros	mg/L	0,29	1,5	1,5	CUMPLE
Hierro	mg/L	< 0,25	1,0	-	CUMPLE
Mercurio	mg/L	< 0,0010	0,001	0,006	CUMPLE
Nitratos	mg/L	< 1,0	10	50	CUMPLE
Nitritos	mg/L	< 0,01	1	3,0	CUMPLE
Selenio	mg/L	< 0,005	0,01	0,04	CUMPLE
Sulfatos	mg/L	< 10,0	400	-	CUMPLE
Turbidez	NTU	3,470	100	5	CUMPLE
pH in situ	unid pH	7,1	6 - 9	-	CUMPLE
Cadmio	mg/L	< 0,001	0,01	0,003	CUMPLE
Plomo	mg/L	< 0,001	0,05	0,01	CUMPLE
Sólidos totales	mg/L	875.55	130	250	NO CUMPLE

Fuente: El Autor

Tabla 20. Comparación de los resultados obtenidos de la muestra de salida y los límites máximos permisibles según el TULSMA 2015 y la NTE INEN 1108

PARÁMETRO	U	SALIDA	LÍMITE MÁX. TULSMA 2015	LÍMITE MÁX. INEN 1108	CUMPLIMIENTO
Aceites y Grasas	mg/L	< 0,1	0,3	-	CUMPLE
Arsénico	mg/L	< 0,0005	0,05	0,01	CUMPLE
Bario	mg/L	< 1,0	1	0,7	CUMPLE
Cianuros	mg/L	< 0,010	0,1	0,07	CUMPLE
Cobre	mg/L	< 0,050	1	2	CUMPLE
Coliformes Fecales NMP	NMP/100mL	1,2	600	<1,1	NO CUMPLE
Color	U. Pt-Co	2	100	15	CUMPLE
Cromo Hexavalente	mg/L	< 0,010	0,05	0,05	CUMPLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	mg/L	< 2	2	-	CUMPLE
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	< 4	<4	-	CUMPLE
Fluoruros	mg/L	0,26	1,5	1,5	CUMPLE
Hierro	mg/L	< 0,25	1,0	-	CUMPLE
Mercurio	mg/L	< 0,0010	0,001	0,006	CUMPLE
Nitratos	mg/L	< 1,0	10	50	CUMPLE
Nitritos	mg/L	< 0,01	1	3,0	CUMPLE
Selenio	mg/L	< 0,005	0,01	0,04	CUMPLE
Sulfatos	mg/L	< 10,0	400	-	CUMPLE
Turbidez	NTU	0,630	100	5	CUMPLE
pH in situ	unid pH	7,0	6 - 9	-	CUMPLE
Cadmio	mg/L	< 0,001	0,01	0,003	CUMPLE
Plomo	mg/L	< 0,001	0,05	0,01	CUMPLE
Sólidos totales	mg/L	260.76	130	250	NO CUMPLE

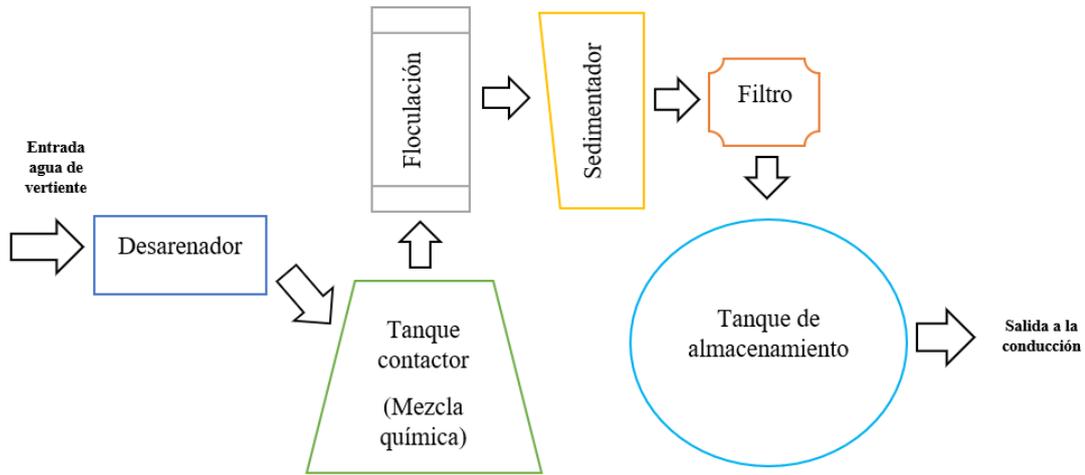
Fuente: El Autor

Como indican las tablas 19 y 20, tanto el agua de ingreso como de salida de la PTAP, no cumplen con todos los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA y en la INEN 1108.

2.2.4.2. Descripción de la infraestructura existente.

La figura 30 muestra el esquema actual del tren de tratamiento, que a pesar de que se obtuvieron buenos resultados en los análisis, se evaluará cada componente de la PTAP, especialmente los procesos en los cuales no se obtuvieron el cumplimiento de los rangos establecidos para la calidad del agua y así establecer una propuesta de mejora.

Figura 30. Esquema del tren de tratamiento



Fuente: El Autor

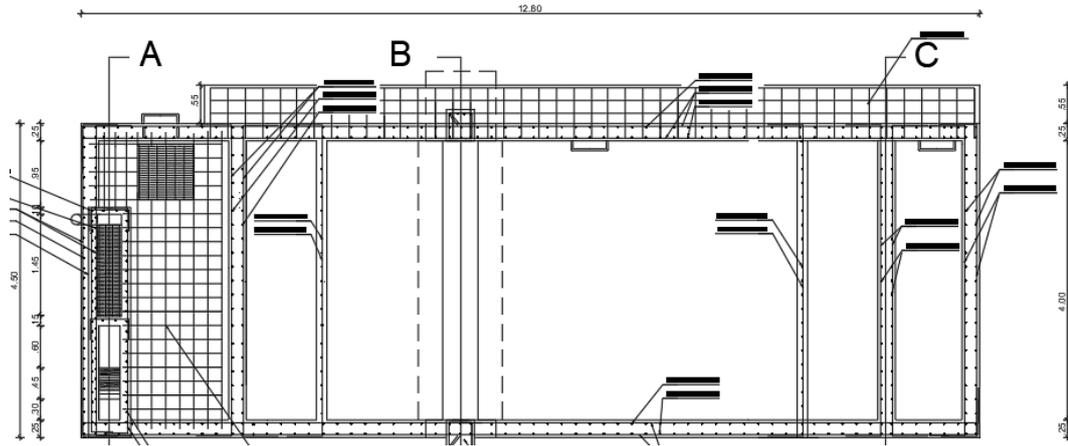
2.2.4.3. Dimensiones actuales de la PTAP

La información necesaria para ejecutar el diagnóstico de funcionamiento, se la obtuvo mediante el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santiago de Píllaro, además del levantamiento planimétrico y fotogramétrico que se realizó por parte del autor en dicha planta.

2.2.4.3.1. Desarenador

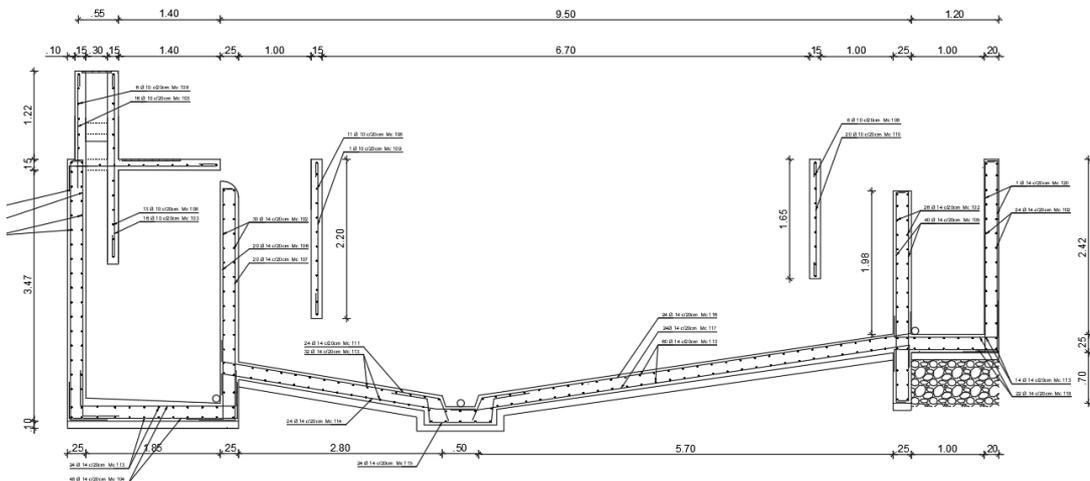
Como indican las imágenes 31 y 32, el desarenador tiene 12.80 metros de largo y 5.05 metros de ancho, con paredes de 0.25m de espesor, lo que significa que existe un área de 64.64m² divididas en 3 cámaras. El agua proveniente de las vertientes ingresa al desarenador por medio de una tubería de PVC de 4", luego es dirigida por vertederos a la primera cámara rompe presiones. El agua se dirige por gravedad al canal de purga con una inclinación de 5% hasta llegar a la siguiente cámara rompe presiones con una inclinación de 18%, para llegar a la última cámara el agua pasa por vertederos triangulares ubicados a 2.00 m de altura. Finalmente es llevada a la cámara compacta mediante dos bombas sumergidas de 3hp de potencia.

Figura 31. Desarenador vista superior



Fuente: El Autor

Figura 32. Desarenador vista lateral

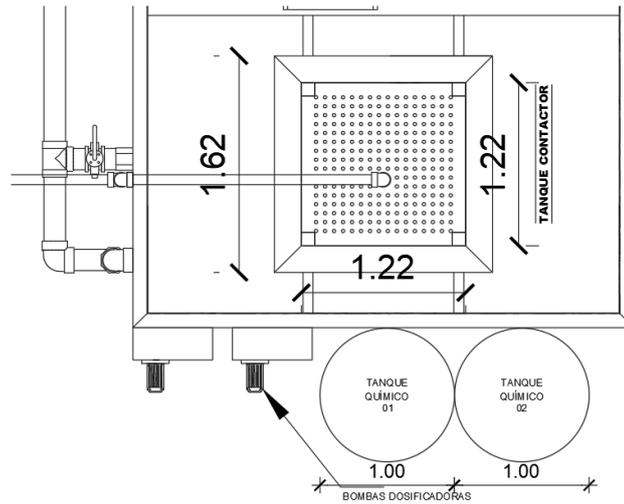


Fuente: El Autor

2.2.4.3.2. Tanque contactor

El agua que proviene del desarenador llega a una torre de aireación de 5 etapas con material filtrante de diferente granulometría, las dimensiones de la torre son: 1.22m por lado, es decir un área útil de 1.49m², como se muestra en la figura 33. El agua filtrada llega al tanque contactor donde se mezcla con sulfato de aluminio que es dosificado mediante bombas.

Figura 33. Tanque contactor

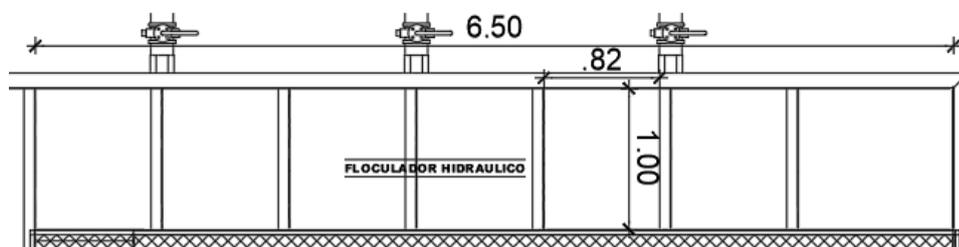


Fuente: El Autor

2.2.4.3.3. Electrocoagulador - Floculadores

El agua mezclada con los químicos para clarificarla se dirige al proceso de floculación compuesta de 7 cámaras de 1.00m x 0.82m. Es decir, un área útil de floculación de 6.50m². Como indica la figura 34:

Figura 34. Floculadores

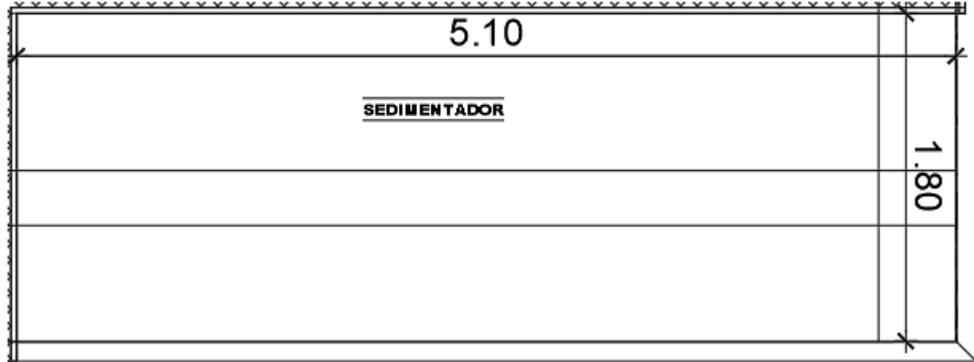


Fuente: El Autor

2.2.4.3.4. Sedimentador

El agua proveniente de los floculadores llega al sedimentador que será el último control respecto a los sólidos suspendidos y así evitar posibles fallos en las fases siguientes del tren de tratamiento. Las dimensiones del sedimentador con: 5.10m de largo y 1.80m de ancho, siendo así 9.18m² de área útil; como indica la figura 35:

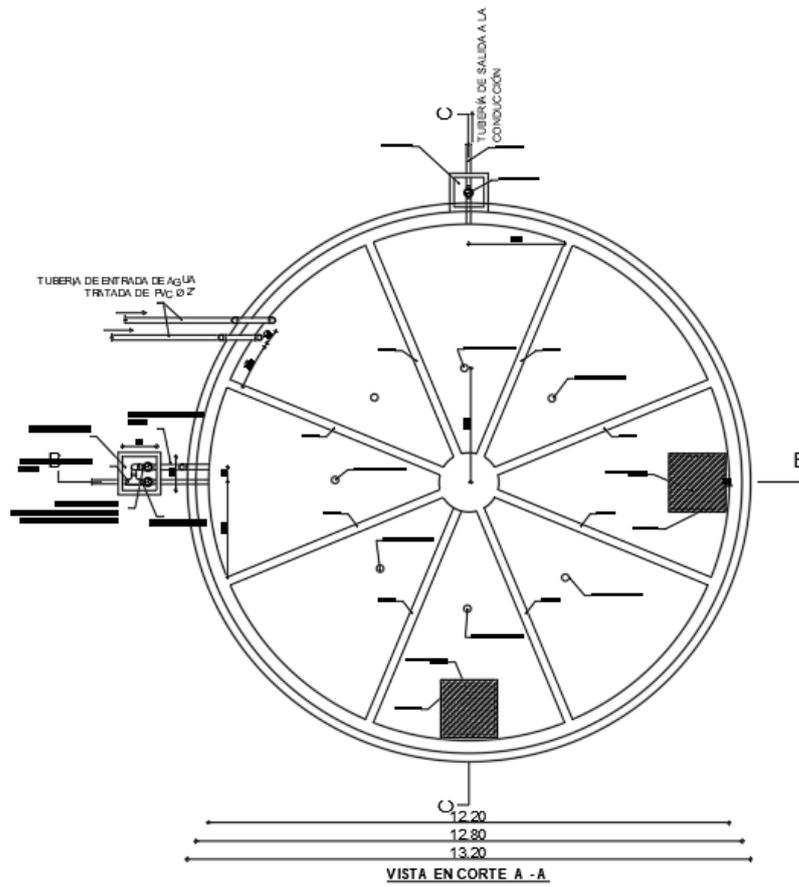
Figura 35. Sedimentador



Fuente: El Autor

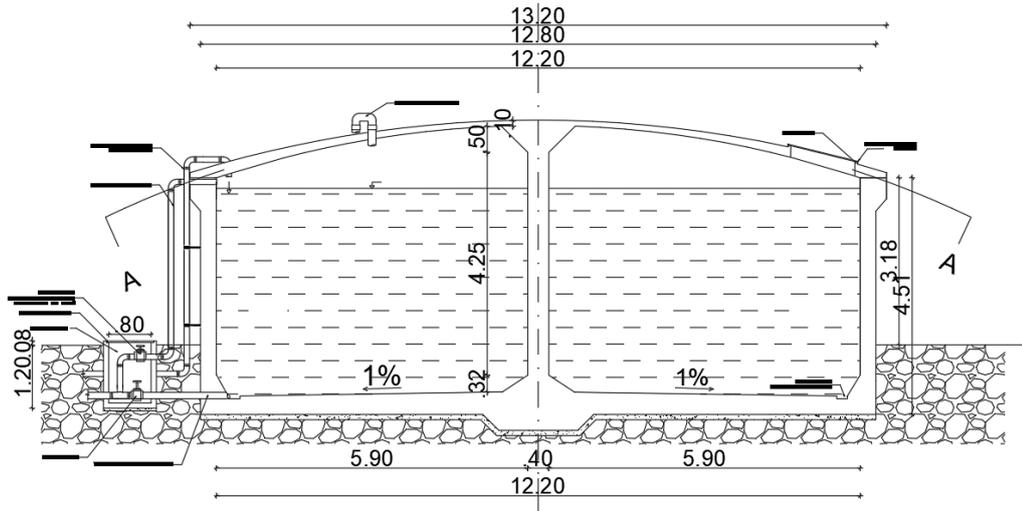
2.2.4.3.5. Tanque de almacenamiento

Figura 36. Tanque de almacenamiento vista superior



Fuente: El Autor

Figura 37. Tanque de almacenamiento vista lateral



Fuente: El Autor

2.2.4.4. Normas empleadas en el diagnóstico teórico de la PTAP

Para el diagnóstico teórico del funcionamiento de los componentes de la actual PTAP se emplearon los criterios de diseño de normas nacionales e internacionales entre ellas:

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2655:2012. – de esta norma se emplearon los criterios principales para la formación de una PTAP prefabricada en lugares públicos dentro del territorio ecuatoriano, también presenta los requisitos de diseño y construcción que las empresas deben cumplir para la fabricación de los procesos de tratamiento dentro de la planta. La norma ecuatoriana toma en cuenta la realidad del país para el marco técnico, económico y ambiental, enfatizando la sostenibilidad y enfoque futurista.

NORMA CO 10.7 – 602.- Esta norma define qué etapas se deben cumplir en un sistema de agua potable dentro de la zona rural, además de los parámetros de diseño, la operación, administración y mantenimiento de los sistemas potabilizadores, y las tecnologías adecuadas para su correcto funcionamiento.

Norma CPE INEN 5. – La siguiente norma muestra previos estudios de diseño, construcción y mantenimiento de los sistemas de agua potable, además incluye

especificaciones con respecto a las dimensiones de cada unidad de tratamiento de potabilización y sus respectivas consideraciones.

Norma RAS 2000. – La siguiente norma colombiana se basa en recolección y evaluación de aguas de uso doméstico y sanitario, mediante recomendaciones mínimas para diseñar y construir PTAP, además indica la cantidad adecuada de químicos en el agua.

2.2.4.5. Diagnóstico teórico de funcionamiento de la PTAP

2.2.4.5.1. Cálculos para el diseño

Caudal de diseño

Debido a que no existe un cálculo previo del caudal máximo, se optó determinarlo mediante la estadística, como indica Metcalf & Eddy, que consiste en calcular un caudal promedio de todos los caudales medidos, la desviación típica y con ello el caudal máximo.

Tabla 21. Método estadístico

Símbolo	Significado	Ecuación	Resultado
N	Número de muestra	$N = \Sigma \text{caudales}$	98
\bar{x}	Valor promedio de todos los caudales tomados	$\bar{x} = \frac{\Sigma_{i=1}^N x_i}{N}$	3.94
σ	Desviación típica o estándar	$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma_i (x_i - \bar{x})^2}{N}}$	0,06

Fuente: El Autor

– Caudal máximo horario

$$QMH = \bar{x} + 2 * \sigma$$

$$QMH = \frac{3.94lt}{seg} + 2 * 0.06l/s$$

$$Q_{MH} = 4.06 \text{ l/s}$$

– **Caudal de diseño**

- $Q_a = \text{Caudal máximo horario asumido (l/s)}$: 4.06
- $f_s = \text{Factor de seguridad (\%)}$: 10

$$Q_d = Q_a * f_s$$

$$Q_d = \frac{4.06 \text{ l}}{\text{s}} * 1.1$$

$$Q_d = 4.47 \text{ l/s}$$

Población

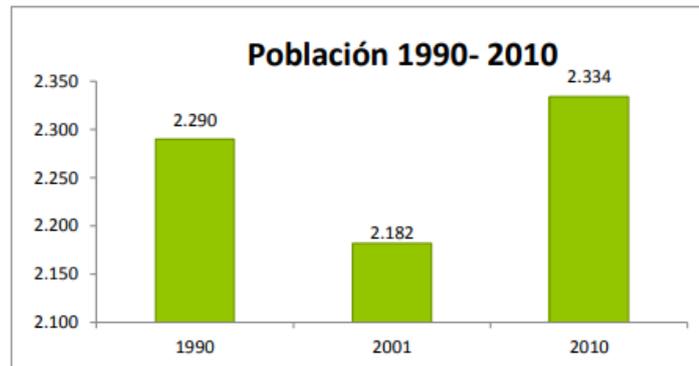
Datos:

- Densidad poblacional: Según el INEC, la densidad poblacional de la parroquia Marcos Espinel es 21.87 hab/km²
- Extensión: 106.71 Km²
- Promedio de personas por familia: Según el INEC, el promedio de personas por familia en la parroquia Marcos Espinel es 3.28 personas \cong 4 personas
- Período de diseño: Según la *NORMA DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL*, el período de diseño para obras civiles de disposición de residuos líquidos es 20 años

Población actual

La *NORMA CO 10.7 – 602* [34], indica que, para calcular la población de diseño en un área rural, se debe utilizar el método geométrico.

Figura 38. Crecimiento poblacional de la parroquia Marcos Espinel



Fuente: Equipo PDOT 2015 [34]

Tabla 22. Datos censales de la parroquia Marcos Espinel

AÑO CENSAL	POBLACIÓN	T años
1990	2290	11
2001	2182	9
2010	2334	0

Fuente: INEC

La *NORMA CO 10.7 – 602* [34], indica que, al no existir suficientes datos censales, se puede tomar las siguientes razones ($r\%$):

$$r\% = 1.0 \text{ Sierra}$$

$$r\% = 1.5 \text{ Costa, oriente y Galápagos}$$

Donde:

$$r\% = \text{tasa de crecimiento poblacional}$$

$$n = 12 \text{ años}$$

Población actual (P_a)

$$P_a = P_u * (1 + r)^n$$

$$P_a = 2334hab * (1 + 0.01)^{12}$$

$$Pa = 2630.01 \cong 2631 \text{ habitantes}$$

Donde:

$Pa =$ Población actual

$Pu =$ Población última

$r =$ Tasa de crecimiento geométrica de la población expresada como fracción decimal

$n =$ Período de diseño (años)

2.2.4.5.2. Diagnóstico teórico del desarenador actual

Datos:

- Caudal $Qd = 0.00447 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diámetro partícula de diseño $d_p = 0.1 \text{ mm}$
- Peso específico de la arena $p_s = 2.65 \text{ g/cm}^3$
- Peso específico del agua $p = 1 \text{ g/cm}^3$
- Profundidad útil desarenador $h = 2.5 \text{ m}$
- Relación ancho : $B = 4, L = 6.85$
- Borde libre del tanque $bl = 0.3 \text{ m}$
- Porcentaje de remoción $\% = 75$
- Grado del desarenador $n = 1$
- Temperatura del agua $T = 15^\circ\text{C}$
- Viscosidad dinámica a 15°C $\mu = 0.01059 \text{ cm}^2/\text{s}$
- Gravedad $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

- **Velocidad de sedimentación de la partícula:**

$$V_s = \frac{g(p_s - p)}{18\mu} d^2$$

$$V_s = \frac{9.81m/s^2(2.65gr/cm^3 - 1gr/cm^3)}{18(0.01059 cm^2/s)} (0.1mm)^2$$

$$V_s = 0.849cm/s$$

- **Obtener de la siguiente tabla, número de Hazen (Θ/t), con % de remoción y grado del sedimentador (n)**

Tabla 23. Número de Hazen

Condiciones deflectores (Rendimiento)	Remoción %							
	87.5	80	75	70	65	60	55	50
n=1	7.00	4.00	3.00	2.30	1.80	1.50	1.30	1.00
n=3	2.75							0.76
n=4	2.37							0.73
Máximo teórico	0.88			0				0.50

Fuente: El Autor

- **Tiempo de sedimentación de la partícula de diseño:**

$$H = 250cm$$

$$V_s = 0.849cm/s$$

$$t = \frac{H}{V_s}$$

$$t = \frac{250cm}{0.849cm/s}$$

$$t = 294.46s = 4.91min$$

- **Período de retención hidráulica:**

$$\theta = t * \# \text{ de Hazen}$$

$$\theta = 294.46s * 3$$

$$\theta = 889.38s = 0.25 \text{ horas} = 14.82min$$

$$\theta < 20min$$

$$14.82min < 20min \quad OK$$

- **Volumen del tanque**

$$V = L * A * H$$

$$V = 6.85m * 4m * 2.5m$$

$$V = 68.5m^3$$

- **Cálculo del área superficial del tanque:**

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

$$A_s = \frac{68.50m^3}{2.50m}$$

$$A_s = 27.40m^2$$

- **Cálculo de carga hidráulica superficial del tanque:**

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

$$q = \frac{0.00447m^3/s}{27.40m^2}$$

$$q = 0.0000163m/s$$

$$q = 14.095m/d$$

- **Chequeo del diámetro de la partícula crítica, que debe ser menor a la partícula de diseño:**

$$q = V_0$$

$$V_0 = 0.000016m/s = 0.0016cm/s$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{V_0 * 18 * \mu}{g(p_s - p)}}$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{0.000016m/s * 18 * 0.01059 \text{ cm}^2/s}{9.81m/s^2(2.65gr/cm^3 - 1gr/cm^3)}}$$

$$d_0 = 0.00043cm = 0.0043mm$$

$$\text{partícula de diseño} = 0.1mm$$

$$0.0043mm < 0.1mm \text{ OK}$$

- **Chequeo velocidad horizontal respecto a la máxima recomendada:**

$$V_h = \frac{Q}{W} = \frac{V_0 * L}{H} < V_{max}$$

$$V_{max} = 20 * V_s$$

$$V_h < 0.17m/s$$

$$V_h = \frac{0.0016cm/s * 685cm}{250cm}$$

$$V_h = 0.0043cm/s = 0.000043m/s$$

$$0.000043m/s < 0.17m/s \text{ OK}$$

$$V_{max} = 20 * 0.849cm/s$$

$$V_{max} = 16.98cm/s = 0.17m/s$$

$$0.005m/s < 0.17m/s \text{ OK}$$

- **Tiempo de retención**

$$t_{retención} = \frac{Vt}{Qt}$$

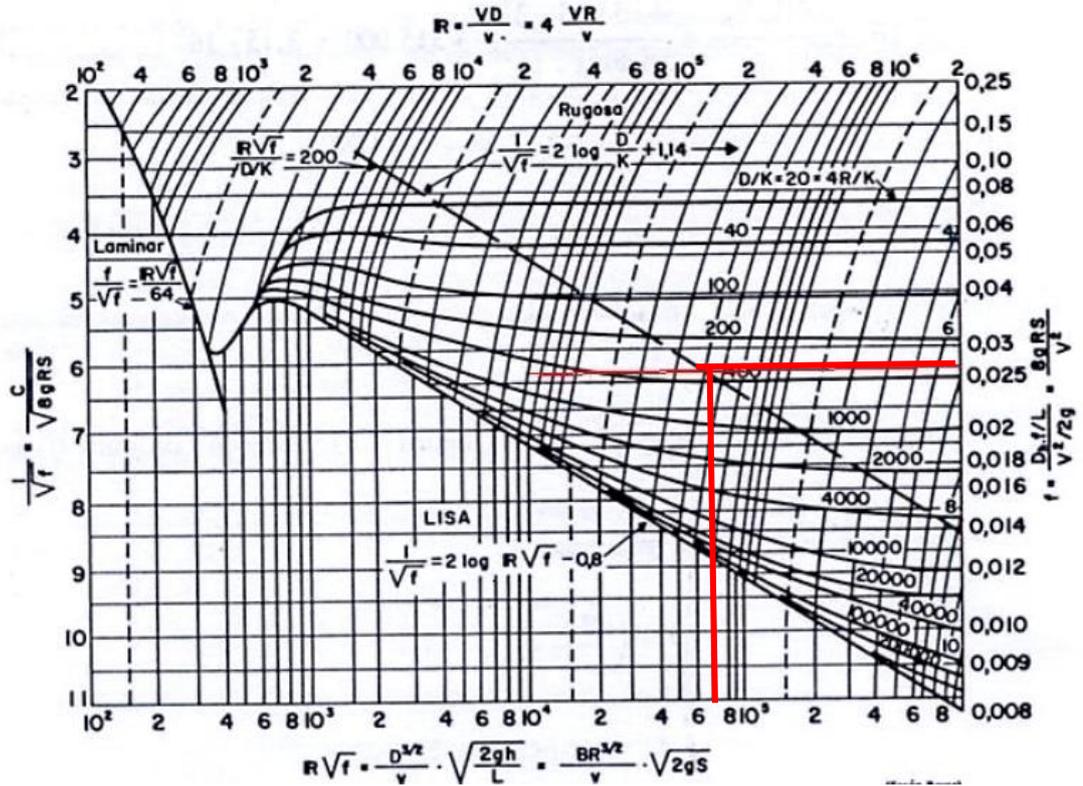
$$t_{retención} = \frac{68500lt}{4lt/s}$$

$$t_{retención} = 17125s = 285.42min = 4.76hrs$$

- **Chequeo velocidad de resuspensión máxima:**

Factor de forma (k)= 0.04 para arenas unigranulares no adheribles

Factor de rugosidad de la cámara (f) se obtiene en el siguiente gráfico:



$$f = 0.027$$

$$V_h < V_r = \sqrt{\frac{8 * k}{f} * g * (p_s - p) * d}$$

$$V_r = \sqrt{\frac{8 * 0.04}{0.027} * \frac{9.81m}{s^2} * \left(\frac{2.65gr}{cm^3} - \frac{1.00gr}{cm^3}\right) * 0.1mm}$$

$$V_r = 4.38cm/s$$

$$0.0043cm/s < 4.38cm/s \quad OK$$

2.2.4.5.3. Rediseño de desarenador

Datos:

- Caudal $Qd = 0.00447m^3/s$
- Diámetro partícula de diseño $dp = 0.1mm$
- Peso específico de la arena $ps = 2.65 g/cm^3$
- Peso específico del agua $p = 1 g/cm^3$
- Profundidad útil desarenador $hu = 2.5m$
- Relación ancho : largo del desarenador $B:L = 1:3$
- Borde libre del tanque $bl = 0.3m$
- Porcentaje de remoción $\% = 75$
- Grado del desarenador $n = 1$
- Temperatura del agua $T = 15^\circ C$
- Viscosidad dinámica a $15^\circ C$ $\mu = 0.01059 cm^2/s$
- Gravedad $g = 9.81 m/s^2$

- **Velocidad de sedimentación de la partícula:**

$$V_s = \frac{g(p_s - p)}{18\mu} d^2$$
$$V_s = \frac{9.81m/s^2(2.65gr/cm^3 - 1gr/cm^3)}{18(0.01059 cm^2/s)} (0.1mm)^2$$
$$V_s = 0.849cm/s$$

- **Obtener de la siguiente tabla, número de Hazen (Θ/t), con % de remoción y grado del sedimentador (n)**

Tabla 24. Número de Hazen

Condiciones deflectores (Rendimiento)	Remoción %							
	87.5	80	75	70	65	60	55	50
n=1	7.00	4.00	3.00	2.30	1.80	1.50	1.30	1.00
n=3	2.75							0.76
n=4	2.37							0.73
Máximo teórico	0.88			0				0.50

Fuente: El Autor

- **Tiempo de sedimentación de la partícula de diseño:**

$$H = 250\text{cm}$$

$$V_s = 0.849\text{cm/s}$$

$$t = \frac{H}{V_s}$$

$$t = \frac{250\text{cm}}{0.849\text{cm/s}}$$

$$t = 294.46\text{s} = 4.91\text{min}$$

- **Período de retención hidráulica:**

$$\theta = t * \# \text{ de Hazen}$$

$$\theta = 294.46\text{s} * 3$$

$$\theta = 889.38\text{s} = 0.25 \text{ horas} = 14.82\text{min}$$

$$\theta < 20\text{min}$$

$$14.82\text{min} < 20\text{min} \quad \text{OK}$$

- **Cálculo del volumen del tanque**

$$V = \theta * Q$$

$$V = 889.38\text{s} * 0.00447\text{m}^3/\text{s}$$

$$V = 3.98\text{m}^3$$

- **Cálculo del área superficial del tanque:**

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

$$A_s = \frac{3.98m^3}{2.50m}$$

$$A_s = 1.59m^2$$

- **Cálculo de las dimensiones del tanque:**

$$B:L = 1:3, Z=3$$

$$B = \sqrt{\frac{A_s}{Z}}$$

$$B = \sqrt{\frac{1.59m^2}{3}}$$

$$B = 0.73m$$

$$B = 1.5m$$

$$L = 4.5m$$

Por facilidad del mantenimiento, se decide ampliar a un B de 1.5m

- **Cálculo de carga hidráulica superficial del tanque:**

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

$$q = \frac{0.00447m^3/s}{1.59m^2}$$

$$q = 0.0028m/s$$

$$q = 244.512m/d$$

- **Chequeo del diámetro de la partícula crítica, que debe ser menor a la partícula de diseño:**

$$q = V_0$$

$$V_0 = 0.00283m/s = 0.283cm/s$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{V_0 * 18 * \mu}{g(p_s - p)}}$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{0.00283m/s * 18 * 0.01059 cm^2/s}{9.81m/s^2(2.65gr/cm^3 - 1gr/cm^3)}}$$

$$d_0 = 0.00578cm = 0.058mm$$

$$part\acute{u}cula\ de\ dise\~{n}o = 0.1mm$$

$$0.058mm < 0.1mm\ OK$$

- **Chequeo:**

$$\frac{\theta}{t} = \frac{V_s}{V_0}$$

$$3 = \frac{0.849cm/s}{0.283cm/s}$$

$$3 = 3\ OK$$

- **Chequeo velocidad horizontal respecto a la maxima recomendada:**

$$V_h = \frac{Q}{W} = \frac{V_0 * L}{H} < V_{max}$$

$$V_{max} = 20 * V_s$$

$$V_h < 0.17m/s$$

$$V_h = \frac{0.283cm/s * 450cm}{250cm}$$

$$V_h = 0.5094cm/s = 0.005m/s$$

$$0.005m/s < 0.17m/s\ OK$$

$$V_{max} = 20 * 0.849cm/s$$

$$V_{max} = 16.98 \text{ cm/s} = 0.17 \text{ m/s}$$

$$0.005 \text{ m/s} < 0.17 \text{ m/s} \quad OK$$

- **Tiempo de retención**

$$t_{retención} = \frac{Vt}{Qt}$$

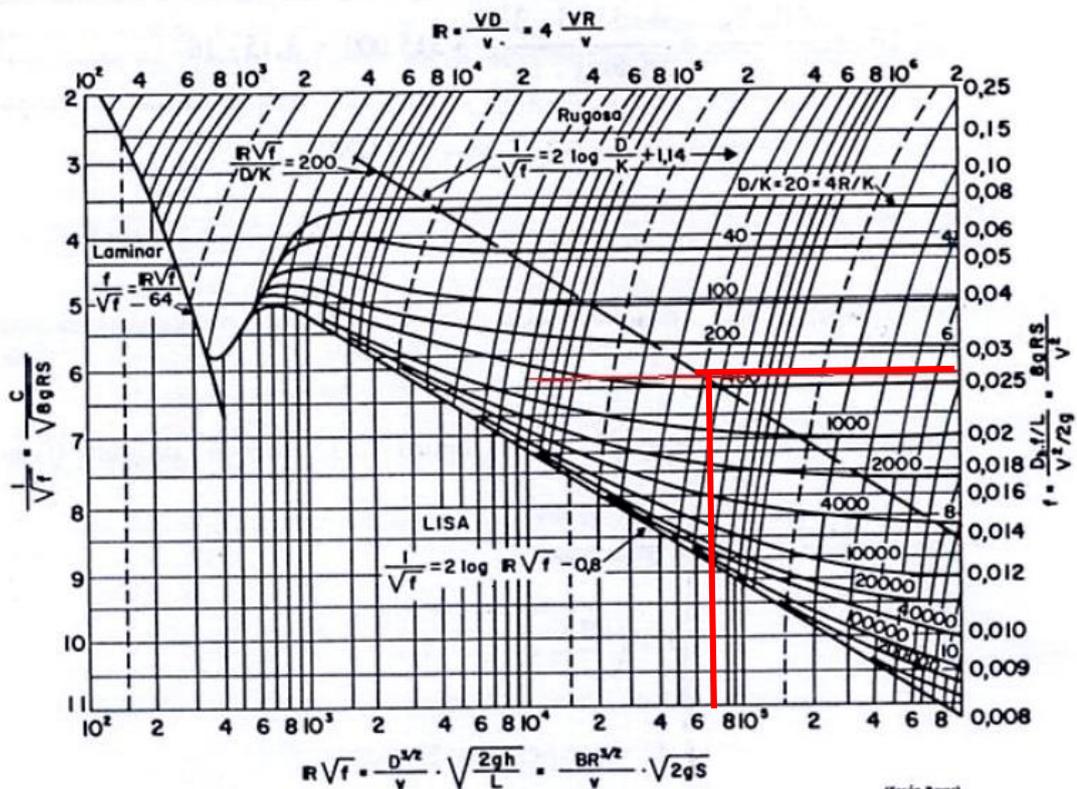
$$t_{retención} = \frac{16875lt}{4lt/s}$$

$$t_{retención} = 4218.75 \text{ s} = 70.31 \text{ min} = 1.17 \text{ hrs}$$

- **Chequeo velocidad de resuspensión máxima:**

Factor de forma (k) = 0.04 para arenas unigranulares no adheribles

Factor de rugosidad de la cámara (f) se obtiene en el siguiente gráfico:



$$f = 0.027$$

$$V_h < V_r = \sqrt{\frac{8 * k}{f} g * (p_s - p) * d}$$

$$V_r = \sqrt{\frac{8 * 0.04}{0.027} * \frac{9.81m}{s^2} * \left(\frac{2.65gr}{cm^3} - \frac{1.00gr}{cm^3} \right) * 0.1mm}$$

$$V_h = 0.5094cm/s$$

$$V_r = 4.38cm/s$$

$$0.5094cm/s < 4.38cm/s \quad OK$$

Tabla 25. Comparación de medidas actuales con las calculadas teóricamente

MAGNITUD	ACTUAL	TEÓRICO	UNIDAD
Largo útil	6.85	4.50	m
Ancho útil	4.00	1.50	m
Altura útil	2.50	2.50	m
Espesor de paredes y contrapiso	0.30	0.30	m

Fuente: El Autor

La tabla 24 pone en evidencia que, considerando las medidas del desarenador actual, este se encuentra sobredimensionado,; sin embargo, no existe resuspensión de las partículas, y cumple con el objetivo para el que fue diseñado, aunque tiene un tiempo de retención hidráulica excesiva de 4.76hrs, esto provoca que el proceso no sea eficiente, debido al largo tiempo que le toma al líquido vital finalizar el proceso en esta etapa de tratamiento; por ende, se propone la adición de otro desarenador de manera que se pueda alternar durante el mantenimiento y limpieza, como recomienda la Norma RAS 2000.

2.2.4.5.4. Diagnóstico del funcionamiento del electrocoagulador – floculador

Existen 3 tuberías que conectan al electrocoagulador – floculador están reguladas para 5lt/s. El volumen de agua que no entra a la planta compacta se evacúa a la quebrada por la salida de agua de purga.

Para evaluar técnicamente el tanque electrocoagulador necesitamos el tiempo de retención, para lo cual necesitamos los siguientes datos:

Medidas del tanque = 1,00m x 6,50m x 2,80m

Volumen del tanque (Vt)= 18.2 m³ = 18200 lt

Caudal para el que fue diseñado el tanque (Qt)= 4 lt/seg

- **Tiempo de retención**

$$t_{retención} = \frac{Vt}{Qt}$$

$$t_{retención} = \frac{18200lt}{4lt/s}$$

$$t_{retención} = 4550s = 75.83min$$

- **Volumen de agua a tratar**

Se calcula el volumen del agua que debería ser tratada por el tanque electro coagulador – floculador. Según [36], el cálculo del volumen de agua a ser tratada se determina con la siguiente ecuación:

$$V_{wr} = t_r * Qd * f$$

Donde:

Qd= Caudal de diseño

t_r = tiempo de retención

f = factor de seguridad 30%

$$V_{wr} = 4550s * 4.47lt/s * 1.3$$

$$V_{wr} = 26440.05lt$$

- **Volumen de agua que trata la planta potabilizadora**

Se calcula el volumen de agua que actualmente trataría el tanque electrocoagulador – floculador con la siguiente fórmula:

$$V_{wp} = 4550s * 4lt/s * 1.3$$

$$V_{wp} = 23660lt$$

- **Desperdicio de agua**

$$V_d = 26440.05lt - 23660lt$$

$$V_d = 2780.05lt$$

$$2780.05lt * \frac{100\%}{26440.05lt} = 10.51\%$$

Como se evidencia, existe un desperdicio de 10.51% en un escenario crítico, por otra parte, trabajando con un caudal más apegado a la realidad, no representa una problemática. Por esta razón se optó por mantener las dimensiones actuales del electrocoagulador-floculador.

2.2.4.5.5. Diagnóstico del funcionamiento del sedimentador

Para evaluar el sedimentador, se basó en los criterios de diseño de Metcalf & Eddy, donde nos recomienda medidas para el tanque y demás consideraciones.

Datos:

Diámetro de partículas a remover= 0.005cm=0.05mm

Viscosidad cinemática (10°)= 0.013036cm²/s

Peso específico de la partícula= 2.65gr/cm³

Largo= 5.10m

Ancho= 1.80m

Altura= 2.80m

Perímetro del tanque= 13.80m

Volumen del tanque= 25.70m³=25704lt

El área superficial del sedimentador se obtiene de:

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

A= Área superficial del sedimentador (m²)

Q= Caudal a tratar el sedimentador primario (m³/h)

Vc= Velocidad terminal (m/h)

Q= 4lt/s= 14.4m³/h

$$A = \frac{14.4m^3/h}{1.8 m/h}$$

$$A = 8m^2$$

Tabla 26. Velocidades terminales a caudal medio

Decantación primaria	Velocidad a caudal medio		
	Mínimo(m/h)	Típico (m/h)	Máximo (m/h)
Decantadores circulares	1	1,5	2
Decantadores rectangulares	0,8	1,3	1,8

Fuente: Manual de depuración Uralita., Pp. 96

Tabla 27. Velocidades terminales a caudal máximo

Decantación primaria	Velocidad a caudal máximo		
	Mínimo (m/h)	Típico (m/h)	Máximo (m/h)
Decantadores circulares	2	2,5	3
Decantadores rectangulares	1,8	2,2	2,6

Se emplea la relación largo:ancho de 3:1

$$L = 3A_n$$

$$A = 3A_n * A_n$$

$$A = 3A_n^2$$

$$A_n = \sqrt{\frac{A}{3}}$$

$$A_n = \sqrt{\frac{8m^2}{3}}$$

$$A_n = 1.63m \approx 1.65m$$

$$L = 3 * 1.65m$$

$$L = 4.95m = 5.00m$$

- **Volumen del tanque**

$$V = A_n * L * h$$

$$V = 1.65m * 5.00m * 2.80m$$

$$V = 23.10m^3$$

- **Tiempo de retención hidráulico**

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

Trh= Tiempo de retención hidráulico (h)

Q= Caudal a tratar (m³/h)

V= Volumen del sedimentador (m³)

$$Trh = \frac{14.4m^3/h}{23.10m^3}$$

$$Trh = 0.62h$$

- **Área de la sección transversal**

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

$$At = \frac{23.10m^3}{5m}$$

$$At = 4.62m^2$$

- **Remoción de DBO5 y sólidos suspendidos**

La eficiencia de remoción de DBO5 y sólidos suspendidos está en función de la concentración del afluente y del tiempo de retención

$$R = \frac{Trh}{a + bTrh}$$

Donde:

R= Porcentaje de remoción esperado (%)

Trh= Tiempo nominal de retención (h)

a, b = Constantes empíricas

Tabla 28. Valores de las constantes empíricas, a y b

Variable	a, h	b
DBO	0,018	0,02
SST	0,0075	0,014

Fuente: CRITES, R., Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones., Pp. 304

$$R = \frac{0.62h}{0.0075 + 0.014 * 0.62h}$$

$$R = 38.32\%$$

Tabla 29. Comparación de las dimensiones actuales y de las calculadas teóricamente

MAGNITUD	ACTUAL	TEÓRICO	UNIDAD
Largo útil	5.10	5.00	m
Ancho útil	1.80	1.65	m
Altura útil	2.80	2.80	m
Volumen del tanque	25.70	23.10	m ³

Fuente: El Autor

Como demuestra la tabla 28, las dimensiones actuales si cumplen con las que se calcularon en base a los criterios de diseño, por ende, se decide mantener el sedimentador actual.

2.2.4.5.6. Diagnóstico del funcionamiento de los filtros a presión

La Norma CPE INEN 5 [37] indica que los filtros a presión solo difieren de los filtros convencionales en la forma de generar la carga hidráulica de filtración. Lo que respecta al medio filtrante, grava, sistema de drenaje, etc., requiere de los mismos criterios de diseño que los filtros a gravedad. La norma recomienda que el lecho filtrante tenga una capa de 1m a 1.4m de arena, sobre una capa de grava de las siguientes características.

Tabla 30. Características de la arena

Tamaño efectivo Coeficiente de uniformidad Dureza Solubilidad al HCl	0,15 a 0,35 mm 1,5 a 2, máximo 3 7 (escala de Mohr) < 5 %
---	--

Fuente: CPE INEN 5 [37]

Tabla 31. Características de la grava

CAPA #	DIÁMETRO, mm	ESPESOR, m
1	1 - 1,4	0,1
2	4 - 5,6	0,1
3	16 - 23	0,15

Fuente: CPE INEN 5 [37]

La Norma también recomienda usar al menos dos tanques de filtros lentos convencionales, y cada uno debe trabajar con el 65% del caudal total de diseño.

- **Datos:**

Diámetro del tanque= 1.00m

Altura del tanque Ht= 1.50m

Caudal de diseño= 0.004m³/s

Volumen del tanque= 1.18m³

Número de unidades= 2u

- **Área del filtro**

$$A_f = \pi * r^2$$

$$A_f = \pi * (0.50m)^2$$

$$A_f = 0.79m^2$$

- **Velocidad de filtración**

$$V_f = \frac{Qd}{Nf * Af}$$

$$V_f = \frac{0.004m^3/s}{2 * 0.79m^2}$$

$$V_f = 0.0019m/s$$

- **Tiempo de retención**

$$t_r = \frac{Vt}{Qd}$$

$$t_r = \frac{1.18m^3}{0.004m^3/s}$$

$$t_r = 295s = 4.92min = 0.082h$$

- **Área superficial**

$$As = \frac{Qd}{N * Vf}$$

$$As = \frac{0.004m^3/s}{2 * 0.0019m/s}$$

$$As = 1.05m^2 \text{ para los 2 filtros}$$

$$As = 0.53m^2 \text{ para un filtro}$$

Según la Norma CPE INEN 5, la superficie del lecho filtrante no debe superar los 200m², por tal razón, los filtros si cumplen con este parámetro.

Tabla 32. Comparación de medidas del filtro actuales y teóricas

MAGNITUD	ACTUAL	TEÓRICO	UNIDAD
Área de filtrado	0.79	0.53	m
Altura de medio filtrante (grava)	1.00	1.00 - 1.40	m
Altura de medio filtrante (arena)	0.50	0.45	m

Fuente: El Autor

Como indica la tabla 31, las medidas actuales cumplen con las establecidas teóricamente, por lo tanto, no se propone rediseñar los filtros a presión.

2.2.4.5.7. Diagnóstico del proceso de desinfección

Actualmente, la PTAP no contiene ningún proceso de desinfección, ya sea por cloración o luz UV, por lo tanto, se decide implementar como último proceso unitario de tratamiento.

2.2.4.5.8. Diagnóstico del tanque de almacenamiento

La Norma CPE INEN 5, indica ciertas recomendaciones en cuanto a los tanques superficiales, entre las cuales están:

- En caso de disponer un solo tanque, debe preverse un paso directo (bypass), que permita mantener el servicio mientras se efectúa el lavado o la reparación de este.
- Los tanques serán provistos de una boca de visita con su respectiva tapa con cerradura y llave (tapa sanitaria)
- Las tuberías de rebose descargarán libremente y tendrán un diámetro igual o mayor al de la tubería de entrada.
- El diámetro de la tubería de desagüe deberá ser suficiente como para vaciar el tanque en un tiempo no mayor a seis horas.
- La altura mínima del tanque será de 2.5m, hasta el nivel máximo de agua, más un borde libre de 0.3m

Volumen actual del tanque de almacenamiento (Va)

Datos:

- Diámetro $d= 12.20\text{m}$
- Altura $h= 4.00\text{m}$

$$Va = \frac{d^2 * \pi}{4} * h$$

$$Va = \frac{(12.20m)^2 * \pi}{4} * 3.80m$$

$$Va = 444.21m^3$$

Volumen teórico del tanque de almacenamiento

La norma indica que, para poblaciones menores a 5000 habitantes, el volumen de almacenamiento del tanque se lo calculará en base al 30% del volumen consumido en un día, considerando la demanda media diaria al final del período de diseño.

Para ello será necesario calcular la población con las que se diseñó el tanque y considerar la dotación media futura que sugiere la norma:

Población de diseño (Pd)

Datos:

- Población actual Pa (2022)= 2631 habitantes
- Año de diseño= 2035
- Años de vida útil (n)= 13 años

$$Pd = Pa * (1 + r)^n$$

$$Pa = 2631hab * (1 + 0.01)^{13}$$

$$Pa = 2994.32 \cong 3000 \text{ habitantes}$$

$$3000 \text{ habitantes} < 5000 \text{ habitantes}$$

Dotación

Tabla 33. Dotación media futura

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

Fuente: CPE INEN 5

Volumen del almacenamiento teórico (Vt)

$$Vt = 3000 \text{ habitantes} * 135l/\text{hab}/\text{día} * 30\%$$

$$Vt = 121500l$$

$$Vt = 121.5m^3$$

Tabla 34. Comparación de volumen del tanque de almacenamiento actual y teórico

MAGNITUD	ACTUAL	TEÓRICO	UNIDAD
Volumen del tanque	444.21	121.50	m ³

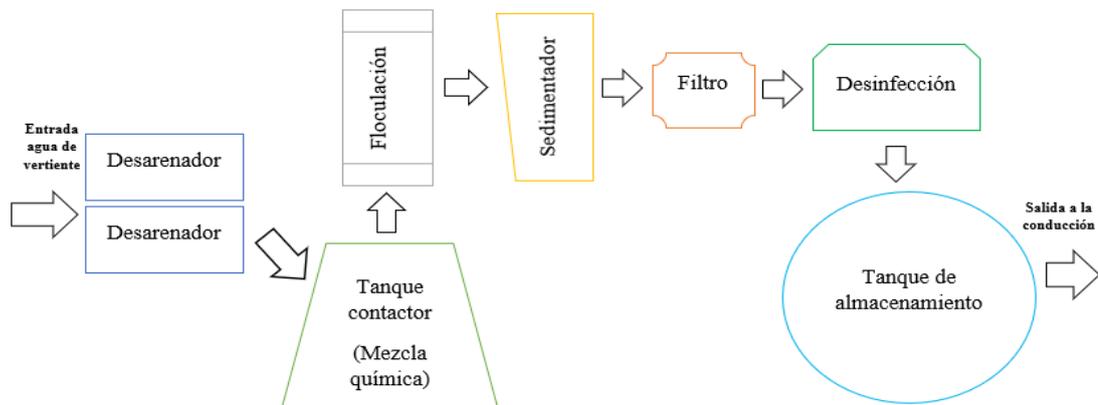
Fuente: El autor

Como indica la tabla 32, las dimensiones del tanque de almacenamiento cumplen con las calculadas en base a la Norma CPE INEN 5, por lo tanto, se decide mantener las dimensiones del tanque actual.

2.2.5. FASE 5: Propuesta de mejora

Una vez obtenidos los resultados del análisis de calidad del agua y se verifique el funcionamiento de los procesos unitarios, se tendría como una alternativa, implementar varios procesos unitarios de tratamiento al tren actual. Lo que respecta al desarenador, se añadiría otro como indica la norma, de modo que se alterne durante la limpieza y mantenimiento. Al no cumplir los límites máximos permisibles de coliformes fecales, la alternativa sería aumentar un último proceso unitario previo al almacenamiento, el cual consiste en desinfección por cloro en gas. La figura 40 indica el tren de tratamiento propuesto.

Figura 39. Tren de tratamiento propuesto



Fuente: El autor

Tabla 35. Estado actual de las unidades de tratamiento

UNIDAD DE TRATAMIENTO	EVALUACIÓN TÉCNICA	PROPUESTA
Desarenador	NO CUMPLE	AUMENTAR 1 TANQUE
Tanque contactor (mezcla química)	CUMPLE	MANTENER
Floculación	CUMPLE	MANTENER
Sedimentador	CUMPLE	MANTENER
Filtro	CUMPLE	MANTENER
Desinfección	NO EXISTE	AÑADIR PROCESO
Tanque de almacenamiento	CUMPLE	MANTENER

Fuente: El autor

2.2.5.1.Propuesta de desarenadores

Como se mostró en el 2.2.4.5.2, el actual desarenador estaría sobredimensionado, sin embargo, no es necesario un rediseño, ya que el existente cumple a cabalidad con los parámetros necesarios para realizar el trabajo para el que fue diseñado, además que al no existir un segundo desarenador el cual funcione mientras se efectúan los procesos de limpieza, el tratamiento de agua se vería paralizado. Por esta razón se plantea el aumento de un desarenador, de modo que funcionen alternadamente durante la limpieza, así como indica la norma. Como indica la tabla 23, la eficacia de remoción asumida para la evaluación del desarenador es 75%, por lo tanto, se realiza el cálculo del nuevo desarenador que funcionará en paralelo al existente.

2.2.5.2.Desinfección

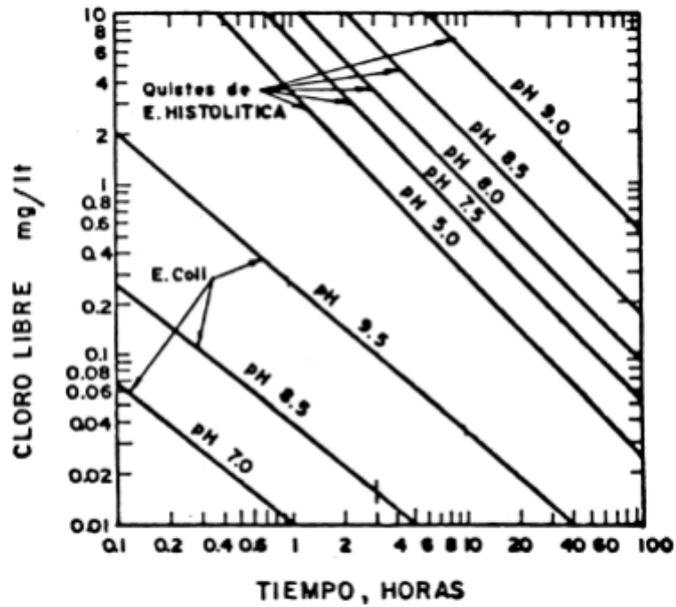
Debido a que actualmente no existe ningún proceso de desinfección, se plantea añadir este proceso como última unidad de tratamiento previo al almacenamiento. Considerando que los valores de coliformes fecales superan ligeramente los límites permisibles, se espera que con este tratamiento se alcance lo establecidos en la norma.

En el mercado se comercializan cilindros de cloro de 50kg, 75kg y 1ton. La norma indica que se deben colocar en posición vertical. Al ser una PTAP para una población menor a 5000 habitantes, se plantea utilizar cilindros de 50kg debido a su fácil manejo y que no representa un riesgo mayor, ya que es tóxico.

La Norma CPE INEN [37] indica que la dosis óptima de cloro a aplicar depende de la temperatura, pH, contenido de nitrógeno y materia orgánica existente en el agua. Se puede calcular la dosis aproximada de cloro libre requerido mediante el siguiente ábaco:

- **Eficacia**

Figura 40. Cantidad de cloro necesaria



Fuente: Arboleda, J 1992 [38]

Como indica la tabla 18, el pH de salida es 7.0, por lo tanto, siguiendo el ábaco mostrado en la figura 41, la cantidad necesaria para eliminar la E.Coli es 0.06mg/L en un tiempo de 1 hora.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para poder evaluar el desempeño esperado de la PTAP, es necesario indicar la eficacia de remoción de contaminantes de cada unidad de tratamiento que se plantea diseñar o aumentar, de manera que se reduzcan los contaminantes a los límites establecidos en las normativas.

En cuanto a la población se tuvo que realizar un cálculo en base a los archivos encontrados en la página web del INEC, mismos que solo tenían registro poblacional hasta el 2010, mas no de los años siguientes; es por ello que en base a una tasa de crecimiento poblacional geométrica se calculó una población estimada actual para el 2022 y una futura para el 2035, que sería el año en el cual la planta de tratamiento de agua potable de Marcos Espinel cumpliría su vida útil y su tiempo de funcionamiento diseñado.

Al analizar cada proceso del tren de tratamiento de manera técnica y priorizando la calidad del agua que debe resultar de la planta de tratamiento para que esta sea consumida por la población, se pudo observar que hay una falencia en cuanto al cumplimiento de las normativas que rigen en el Ecuador para el consumo de agua potable; es por ello que en base a cálculos y análisis se han planteado alternativas eficientes, que garanticen que el líquido vital que llegue a los hogares de los pobladores de la parroquia Marcos Espinel, sea apta para su consumo, y así poder evitar enfermedades a corto y largo plazo para los habitantes.

Como indica la tabla 34, la única unidad de tratamiento que no cumple con los criterios de diseño empleados en la evaluación es el desarenador, es por ello por lo que, a pesar de estar sobredimensionado se mantendrá el actual y se añadirá uno con las dimensiones calculadas. Debido a que los valores de salida de coliformes fecales excede ligeramente los límites establecidos en la norma INEN 1108, se plantea añadir un proceso unitario de desinfección a base de cloro en gas; además de todo esto se necesita un cambio urgente de las bandejas que forman parte del sedimentador, ya que debido al oxido y la corrosión que presentan, pueden llegar a contaminar el agua con

metales pesados, turbidez y alterar el PH del líquido vital que está consumiendo la población, adicional a esto se debe limpiar con más frecuencia los floculadores ya que debido al descuido por parte del operador de la planta de tratamiento algunos solidos no se sedimentan, por la saturación de los floculadores.

Tabla 36. Comparación del grado de remoción del tren de tratamiento actual

PARÁMETRO	U	INGRESO	REMO CIÓN ACTU AL	SALIDA	LÍMITE MÁX. TULSMA 2015/INE N	CUMPLIMIE NTO
Aceites y Grasas	mg/L	< 0,1	0	< 0,1	0,3	CUMPLE
Arsénico	mg/L	< 0,0005	0	< 0,0005	0,05	CUMPLE
Bario	mg/L	< 1,0	0	< 1,0	1	CUMPLE
Cianuros	mg/L	< 0,010	0	< 0,010	0,1	CUMPLE
Cobre	mg/L	< 0,050	0	< 0,050	1	CUMPLE
Coliformes Fecales NMP	NMP/100mL	1,5	20,00%	1,2	1,1	NO CUMPLE
Color	U. Pt-Co	2	0	2	100	CUMPLE
Cromo Hexavalente	mg/L	< 0,010	0	< 0,010	0,05	CUMPLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	mg/L	< 2	0	< 2	2	CUMPLE
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	< 4	0	< 4	<4	CUMPLE
Fluoruros	mg/L	0,29	10,34%	0,26	1,5	CUMPLE
Hierro	mg/L	< 0,25	0	< 0,25	1,0	CUMPLE
Mercurio	mg/L	< 0,0010	0	< 0,0010	0,001	CUMPLE
Nitratos	mg/L	< 1,0	0	< 1,0	10	CUMPLE
Nitritos	mg/L	< 0,01	0	< 0,01	1	CUMPLE
Selenio	mg/L	< 0,005	0	< 0,005	0,01	CUMPLE
Sulfatos	mg/L	< 10,0	0	< 10,0	400	CUMPLE
Turbidez	NTU	3,470	81,84%	0,630	100	CUMPLE
pH in situ	unid pH	7,1	-	7,0	6 - 9	CUMPLE
Cadmio	mg/L	< 0,001	0	< 0,001	0,01	CUMPLE
Plomo	mg/L	< 0,001	0	< 0,001	0,05	CUMPLE
Sólidos totales	mg/L	875,55	70,21%	260,76	250,00	NO CUMPLE

Fuente: El autor

Tabla 37. Resultados esperados con el grado de remoción teóricos

PARÁMETRO	U	INGRESO	REMOCIÓN ESPERADA	SALIDA	LÍMITE MÁX. TULSMA 2015/INEN 1108	CUMPLIMIENTO
Coliformes Fecales NMP	NMP/100mL	1,5	99%	0,015	1,1	CUMPLE
Sólidos totales	mg/L	875,55	75%	218,89	250,00	CUMPLE

Fuente: El autor

Como se puede observar en la tabla 35 casi todos los parámetros que se analizaron cumplieron a cabalidad con los rangos permisibles que estipulan las normativas NTE INEN 1108 y TULSMA 2015, a excepción de dos parámetros los cuales no están tan alejados del rango permisible, pero si los sobrepasan, es por ello por lo que hay que mejorar los procesos que se encargan de tratar los sólidos totales y los coliformes fecales, ya que no se puede permitir que la población consuma agua contaminada.

Se ha evidenciado que el desarenador actual cuenta con una capacidad mayor a la necesaria para llevar a cabo su función. A pesar de ello, no se considera pertinente llevar a cabo un rediseño del equipo ya que este cumple con los requerimientos necesarios para cumplir con su tarea asignada. Es importante mencionar que al no existir un segundo desarenador que opere durante el proceso de limpieza, el tratamiento de agua podría ser interrumpido y esto es algo que se debe evitar a toda costa.

Es por esto por lo que se propone aumentar la cantidad de desarenadores, de manera que puedan trabajar alternadamente durante la limpieza, de acuerdo con lo estipulado por la normativa vigente. Según se desprende de la tabla 23, la eficacia de remoción asumida para la evaluación del desarenador es del 75%. Con base en este dato, se ha realizado el cálculo correspondiente para determinar el tamaño óptimo del nuevo desarenador que se instalará y que trabajará de forma paralela al ya existente.

Se plantea la necesidad de aumentar el número de desarenadores en el sistema con el fin de mejorar la eficacia del proceso de limpieza y garantizar la continuidad en el tratamiento de agua.

Es importante tener en cuenta que se han seguido las normas y estándares establecidos para llevar a cabo esta propuesta, y que el cálculo del nuevo desarenador se ha realizado con base en la eficacia de remoción estipulada en la tabla 23. Este enfoque garantiza la eficiencia del sistema y su capacidad para cumplir con las necesidades del usuario.

Como se aprecia en la tabla 36, si se considerase el grado de remoción teórico de las unidades de tratamiento modificadas o añadidas, se cumple con los límites permisibles establecidos en el TULSMA y en la Norma INEN, de tal manera se plantea el diseño de un nuevo desarenador en paralelo y la implementación de un proceso desinfección como una alternativa viable para garantizar la calidad del agua para el consumo de la población.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se realizó la evaluación de la planta de tratamiento de la parroquia Marcos Espinel, perteneciente al cantón Píllaro, ubicada en las siguientes coordenadas, Latitud: 1°10'31.88"S, Longitud: 78°29'13.68"O; en la cual se pudo determinar que en su mayoría los procesos unitarios de tratamiento cumplen a cabalidad su objetivo, sin embargo, se determinó que al no existir presencia de tanque clorador, el agua tratada no cumple el proceso de desinfección adecuado; además de incluir un nuevo tanque desarenador, que funcione en paralelo cada vez que se proceda con el mantenimiento del único tanque existente en la planta de tratamiento de agua potable.
- Dentro del levantamiento de información, se recogió datos como el caudal de ingreso y de salida, debido a que no tenía esa información la entidad que controla y monitorea la planta de tratamiento evaluada, además de ello se realizó el levantamiento planimétrico y fotogramétrico con instrumentos de alta precisión, para así determinar las medidas de cada tren de tratamiento, esto con el fin de realizar los planos actuales y la propuesta en base a los resultados y cálculos efectuados en esta investigación.
- Se efectuó la comparación entre los datos recolectados de la planta de tratamiento de agua potable con la normativa vigente INEN 1108 (2014), dándonos como resultado el incumplimiento de algunos parámetros como coliformes los cuales superan el máximo indicado, encontrándonos con 1.2 NMP cuando lo recomendable es menor a 1.1 NMP, según la normativa INEN 1108.
- Por medio del análisis físico químico que se realizó tanto en el agua residual de ingreso como de salida se pudo evidenciar que en 18 de 22 parámetros analizados existe una remoción mínima, sin embargo, al tener valores de entrada debajo de

los límites permisibles, los valores de salida se mantendrían dentro del margen. A su vez existen 2 de 22 parámetros (sólidos totales y coliformes fecales) que no cumplirían los límites permisibles por el TULSMA e INEN. Concluyendo así que la PTAP a pesar de tener un desarenador sobredimensionado este cumple a cabalidad con su objetivo, cual es remover los sólidos presentes en el agua, sin embargo se requiere la adición de un desarenador que funcione en paralelo, para así evitar el desabastecimiento de agua potable a la población de Marcos Espinel; además de ello el incremento de un proceso de desinfección para el control de coliformes fecales, y por último un control más exhaustivo en cuanto a la limpieza de los floculadores, esto con el fin de evitar su saturación, misma que compromete su eficiencia en su función asignada.

- A pesar de tener despostillamiento, desgaste y oxido en las bandejas que forman parte del sedimentador, en los análisis de agua no se pudieron observar presencia de metales pesados como el hierro y plomo, ni tampoco turbidez o alteración del PH en el líquido vital, es por ello que se concluye que los procesos de filtración que se encuentran en la actual planta de tratamiento están funcionando de manera correcta, mismos que se encargan de retener o eliminar los parámetros anteriormente expresados.
- Gracias a la medición de los caudales llevada a cabo en 14 días por 7 horas diarias se pudo identificar que no existen caudales atípicos, por lo que fue factible calcular el caudal máximo horario por el método estadístico de Metcalf & Eddy, donde se obtuvo un caudal de 4.06 l/s y considerando un factor de seguridad de 10% dio como resultado un caudal de 4.47l/s, el mismo que se utilizó para realizar el diagnóstico de funcionamiento actual de cada componente de la PTAP.
- Se ha determinado la incorporación de un proceso de desinfección mediante cilindros de cloro en gas, debido a la fácil operación y a los buenos resultados que ofrece en la remoción de coliformes en un pH neutro.

4.2.Recomendaciones

- Se recomienda realizar el análisis físico químico del agua en un laboratorio calificado, mínimo una vez al año para verificar la eficiencia del tren de

tratamiento propuesto y si los parámetros se encuentran en los límites permisibles para consumo de la población.

- A fin de garantizar el funcionamiento óptimo de la PTAP, se recomienda capacitar al operador para que sea capaz de realizar el mantenimiento y limpieza de cada proceso unitario, así mismo que pueda llevar el control periódico de cada proceso unitario.
- Se recomienda manejar los cilindros de cloro de manera responsable y para ello, es necesario construir una bodega con ventilación, para almacenar los cilindros de cloro en gas debidamente sellados ya que, al ser un gas tóxico, existe el riesgo de que se disipe.
- Se recomienda reemplazar las bandejas que presentan oxido, mismas que forman parte del sedimentador, debido a que con el tiempo y mientras más desgaste se genere en dichas bandejas, el agua cada vez se saturará de contaminantes como metales pesados, además de sufrir alteraciones en su PH, llegando a afectar la salud de la población que la consume.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organización Mundial de la Salud, «Agua para consumo humano,» OMS, Belgica, 2022.
- [2] UNESCO, «Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático,» UNESCO, París, 2020.
- [3] INEC, «Indicadores ODS de Agua, Saneamiento e Higiene en el Ecuador,» INEC, Quito, 2016.
- [4] M. d. R. García Sánchez, «Derecho al agua y calidad de vida,» *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, vol. 6, nº 11, p. 16, 2015.
- [5] S. J. Gonzaga Añazco, «El abasto de agua potable y la salud comunitaria,» *Scielo*, vol. 9, nº 1, p. 6, 2017.
- [6] W. Núñez, «El derecho fundamental al agua dentro del marco del servicio público de agua potable en el Ecuador,» Universidad Andina Simón Bolívar, Quito, 2018.
- [7] A. Fernández Cirelli, «El agua: un recurso esencial,» *Química Viva*, vol. 11, nº 3, p. 25, 2012.
- [8] R. Guadarrama, «Contaminación del agua,» *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, vol. 2, nº 5, p. 10, 2016.
- [9] J. A. J. F. Mario Castro, «Indicadores de la Calidad del Agua: Evolución y Tendencias a Nivel Global,» Universidad Cooperativa de Colombia, Bogotá, 2014.
- [10] D. Cárdenas, «Estudios y diseños definitivos del sistema de agua, potable de la comunidad de Tutucán, canton Paute, Provincia del Azuay,» Universidad de Cuenca, Cuenca, 2010.
- [11] M. Camacho, «Control y evaluación de la planta de tratamiento de agua potable y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes de caluma nuevo del cantón caluma – provincia de bolívar,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2014.
- [12] J. Arizaga, «Evaluación de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Vinces,» Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2016.
- [13] S. Arocha, Abastecimientos de Agua, Manabí: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, 2020.

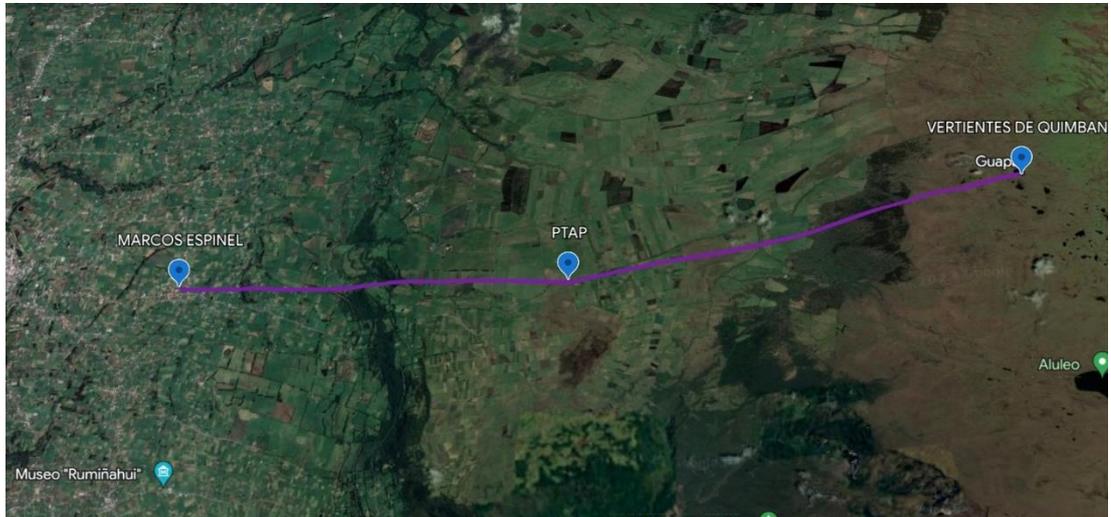
- [14] SIAPA, «Criterios y Lineamientos Técnicos Para Factibilidades,» SIAPA, Jalisco, 2014.
- [15] M. Ludwigson, «Tanques de Almacenamiento de Agua,» SunCam, Canadá, 2020.
- [16] ACCIONA, «Potabilización de Agua,» ACCIONA, Chile, 2020.
- [17] Asamblea Nacional del Ecuador, Constitución de la República del Ecuador, Quito: Republica del Ecuador, 2008.
- [18] Asamblea Nacional del Ecuador, «Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos Y Aprovechamiento del Agua,» República del Ecuador, Quito, 2014.
- [19] Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, «Agua Para Consumo Humano,» INEN, Quito, 2020.
- [20] T. P. Ángela Gonzalez, «Sistema de Tratamiento de Agua Para Consumo en Pequeñas Comunidades,» Universidad de Córdoba, Córdoba, 2021.
- [21] N. Chulluncuy, «Tratamiento de agua para consumo humano,» Universidad de Lima, Lima, 2011.
- [22] D. M. Sergio Castillo, «Diagnóstico y Optimización de Planta de Tratamiento de Agua Potable Municipio de Melgar,» Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., 2020.
- [23] Y. Portilla, «Diagnóstico Para el Diseño de Planta de Tratamiento de Agua Potable Para la Vereda Yunguilla-Municipio de la Florida,» Universidad Santo Tomas, Bogotá D.C., 2021.
- [24] Y. Torres, «Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable - PTAP del Municipio de Firavitoba, Boyacá,» Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, 2021.
- [25] TULSMA, «Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico,» de *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA*, Quito, 2015, p. 294.
- [26] INEN, «Requisitos,» de *AGUA POTABLE. REQUISITOS*, Quito, 2014, pp. 2-4.
- [27] F. y. N. d. C. S.A.S., «Plantas de Tratamiento de Agua Potable - PTAP: Funcionamiento y Tipos,» Fibras y Normas de Colombia S.A.S. , Colombia, 2019.
- [28] D. A. y. V. G. M. A. Garnica Domínguez, «Diseño de la planta de tratamiento de agua potable en el campus matriz de la ESPE considerando que los procesos sean visibles y analizables desde la perspectiva académica para estudiantes e investigadores,» Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, 2021.

- [29] D. Mourato, «Microfiltración y nanofiltración en el área de agua potable,» ZENON Environmental Inc, Ontario, 2018.
- [30] E. Jacobs, «Tratamiento de agua por proceso de membrana,» Universidad de Stellenbosch, Francia, 2019.
- [31] Centro de Fomento e Innovación Turística, «Píllaro Turismo,» Vive Tungurahua, Ambato, 2022.
- [32] Cactus.com, «GADM Santiago de Píllaro,» Cactus.com, 2018. [En línea]. Available:
https://www.pillaro.gob.ec/?page_id=171#:~:text=Este%20fascinante%20Cant%C3%B3n%20esta%20conformado,brindar%C3%A1%20una%20experiencia%20vivencial%20inolvidable.. [Último acceso: 12 2022].
- [33] GADM Santiago de Píllaro, «Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Santiago de Píllaro,» GADM Santiago de Píllaro, Píllaro, 2020.
- [34] Secretaría del Agua, «Bases de Diseño,» de *NORMA CO 10.7 - 602 NORMA DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL*, pp. 27-32.
- [35] PDOT, «Crecimiento poblacional,» de *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL MARCOS ESPINEL*, Píllaro, 2015, p. 52.
- [36] S. Tenelema Guamán, de *DISEÑO DE UN ELECTROCOAGULADOR PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA FAMILAC DEL CANTÓN CHAMBO*, Riobamba, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2019.
- [37] INEN, «Filtros,» de *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*, Quito, pp. 150-152.
- [38] Z. Pérez, «Diagnóstico y evaluación de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de guateque en el departamento de boyacá-colombia,» Universidad Católica de Colombia, Bogotá , 2016.
- [39] «Dimensiones sugeridas para decantador,» de *METCALF & EDDY, INC, INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES TRATAMIENTO, VERTIDO Y REUTILIZACION*, Madrid, McGRAW-HHX/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, 1995.

ANEXOS

ANEXO 1.- FOTOGRAFÍAS

Figura 41. Ubicación de los procesos de la PTAP



Fuente: El autor

Figura 42. Levantamiento fotogramétrico de la PTAP



Fuente: El autor

Figura 43. Medición del caudal de ingreso



Fuente: El autor

Figura 44. Deterioro de los componentes del sedimentador



Fuente: El autor

ANEXO 2.- DOCUMENTOS



ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS ANAVANLAB CIA. LTDA.

Matriz: La Primavera I, Leonardo da Vinci 56-236 y Alberto Durero, Cumbaya.
Contactos: 3550852 / 3143303 / servicioalcliente@aanalab.com.ec

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



INFORME DE RESULTADOS No. 40199

1.- DATOS GENERALES

CLIENTE:	WALTER OMAR SANCHEZ LOPEZ	TELEFONO:	03 2827268
DIRECCION:	AMBATO/HUACHI GRANDE/INDIANA Y ALASKA	ATENCION A:	OMAR SANCHEZ

2.-INFORMACION DE LA MUESTRA	INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	MARCOS ESPINEL
TIPO DE MUESTRA:	AGUA CONSUMO		FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	12/12/2022
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	RED DE DISTRIBUCION MARCOS ESPINEL-MEDIO WGS84 17M 0775489;9670105		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	OMAR SANCHEZ
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	12/12/2022		PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	13/12/2022 al 22/12/2022

NORMA: AM097A, ANEXO 1, TABLA 1. CRITERIOS CALIDAD FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO

3.-RESULTADOS

AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	VALORES NORMA	CUMPLIMIENTO*	+/- % U**
1	Aceites y Grasas	AAA-PE-A001/ SM 3520 C	mg/L	< 0,1	0,3	CUMPLE	32,2%
1	Arsénico	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	< 0,0005	0,1	CUMPLE	25,9%
1	Bario	AAA-PE-A022/ SM 3111 D. EPA 3015	mg/L	< 1,0	1	CUMPLE	20,0%
1	Cianuros	AAA-PE-A004/ SM 4500 - CN E.	mg/L	< 0,010	0,1	CUMPLE	16,6%
1	Cobre	AAA-PE-A022/ SM 3111 B. EPA 3015	mg/L	< 0,050	2	CUMPLE	20,0%
1	Coliformes Fecales NMP	AAA-PE-A101/ SM 9223 B	NMP/100mL	1,5	1000	CUMPLE	NA
1	Color	AAA-PE-A007/ SM 2120 C	U. Pt-Co	2	75	CUMPLE	18,3%
1	Cromo Hexavalente	AAA-PE-A009/ SM3500 Cr B	mg/L	< 0,010	0,05	CUMPLE	16,6%
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	AAA-PE-A010/ SM 5210 D	mg/L	< 2	<2	CUMPLE	23,1%
1	Demanda Química de Oxígeno	AAA-PE-A011/ SM 5220 C y D	mg/L	< 4	<4	CUMPLE	18,7%
1	Fluoruros	AAA-PE-A017/ SM 4500-F D	mg/L	0,29	1,5	CUMPLE	3,8%
1	Hierro	AAA-PE-A022/ SM 3111 B. EPA 3015	mg/L	< 0,25	1,0	CUMPLE	25,5%
1	Mercurio	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	< 0,0010	0,006	CUMPLE	17,7%
1	Nitritos	AAA-PE-A024/ SM 4500-NO3 E.	mg/L	< 1,0	50,0	CUMPLE	18,3%
1	Nitritos	AAA-PE-A025/ SM 4500-NO2 E	mg/L	< 0,01	0,2	CUMPLE	16,6%
1	Selenio	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	< 0,005	0,01	CUMPLE	20,0%
1	Sulfatos	AAA-PE-A037/ SM 4500 SO42- E	mg/L	< 10,0	500	CUMPLE	13,4%
1	Turbidez	AAA-PE-A030/ SM 2130 B	NTU	3,470	100	CUMPLE	1,0%
1	pH in situ	AAA-PI-A002/ SM 4500-H+ B	unidad pH	7,1	6 - 9	CUMPLE	1,0%
2	Cadmio	EPA 6010 B / SM 3120B	mg/L	< 0,001			NA
2	Plomo	EPA 6010 B / SM 3120B	mg/L	< 0,001	0,01	CUMPLE	NA
2	Sólidos Totales	AAA-PE-A007/ SM 2125 C	mg/L	875,55	250	NO CUMPLE	NA

AA (Acreditaciones):		NOTAS
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación del SAE realizados en Matriz Quito.	2: Ensayos subcontratados acreditados. Ver observaciones.	*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación del SAE realizados en Sucursal Coca.	4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.	**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.

(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.	ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.	Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-001
--	---	--

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

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

4-OBSERVACIONES Resultados de Cadmio y Plomo realizado en el Laboratorio ALS ECUADOR, Acreditado por el SAE LEN 05-005.	INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR: Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 15/11/2022	
---	--	---

INFORME DE RESULTADOS No. 40200

1.- DATOS GENERALES

CLIENTE:	WALTER OMAR SANCHEZ LOPEZ	TELEFONO:	03 2827268
DIRECCION:	AMBATO/HUACHI GRANDE/INDIANA Y ALASKA	ATENCION A:	OMAR SANCHEZ

2.-INFORMACION DE LA MUESTRA	INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	MARCOS ESPINEL
TIPO DE MUESTRA:	AGUA CONSUMO		FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	12/12/2022
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	RED DE DISTRIBUCION MARCOS ESPINEL-FINAL WGSB4 17M 0774070;9870378		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	OMAR SANCHEZ
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	12/12/2022		PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	13/12/2022 al 22/12/2022

NORMA: AM097A, ANEXO 1, TABLA 1. CRITERIOS CALIDAD FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO

AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	VALORES NORMA	CUMPLIMIENTO*	+/- % U**
1	Aceites y Grasas	AAA-PE-A001/ SM 3520 C	mg/L	< 0.1	0.3	CUMPLE	32.2%
1	Arsénico	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	< 0.0005	0.1	CUMPLE	25.9%
1	Bario	AAA-PE-A022/ SM 3111 D. EPA 3015	mg/L	< 1.0	1	CUMPLE	20.0%
1	Cianuros	AAA-PE-A004/ SM 4500 - CN E.	mg/L	< 0.010	0.1	CUMPLE	16.6%
1	Cobre	AAA-PE-A022/ SM 3111 B. EPA 3015	mg/L	< 0.050	2	CUMPLE	20.0%
1	Coliformes Fecales NMP	AAA-PE-A101/ SM 9223 B	NMP/100mL	1,2	1000	CUMPLE	NA
1	Color	AAA-PE-A007/ SM 2120 C	U. Pt-Co	2	75	CUMPLE	18.3%
1	Cromo Hexavalente	AAA-PE-A009/ SM3500 Cr B	mg/L	< 0.010	0.05	CUMPLE	16.6%
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	AAA-PE-A010/ SM 5210 D	mg/L	< 2	<2	CUMPLE	23.1%
1	Demanda Química de Oxígeno	AAA-PE-A011/ SM 5220 C y D	mg/L	< 4	<4	CUMPLE	18.7%
1	Fluoruros	AAA-PE-A017/ SM 4500-F D	mg/L	0.26	1.5	CUMPLE	3.8%
1	Hierro	AAA-PE-A022/ SM 3111 B. EPA 3015	mg/L	< 0.25	1.0	CUMPLE	25.5%
1	Mercurio	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	< 0.0010	0.006	CUMPLE	17.7%
1	Nitratos	AAA-PE-A024/ SM 4500-NO3 E.	mg/L	< 1.0	50.0	CUMPLE	18.3%
1	Nitritos	AAA-PE-A025/ SM 4500-NO2 E	mg/L	< 0.01	0.2	CUMPLE	16.6%
1	Selenio	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	< 0.005	0.01	CUMPLE	20.0%
1	Sulfatos	AAA-PE-A037/ SM 4500 SO42- E	mg/L	< 10.0	500	CUMPLE	13.4%
1	Turbidez	AAA-PE-A030/ SM 2130 B	NTU	0,630	100	CUMPLE	6.9%
1	pH in situ	AAA-PI-A002/ SM 4500-H+ B	unidad pH	7,0	6 - 9	CUMPLE	1.0%
2	Cadmio	EPA 6010 B / SM 3120B	mg/L	< 0.001			NA
2	Plomo	EPA 6010 B / SM 3120B	mg/L	< 0.001	0.01	CUMPLE	NA
2	Sólidos Totales	AAA-PE-A007/ SM 2125 C	mg/L	260.76	250	NO CUMPLE	NA

AA (Acreditaciones):		NOTAS
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación del SAE realizados en Matriz Quito.	2: Ensayos subcontratados acreditados. Ver observaciones.	*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación del SAE realizados en Sucursal Coca.	4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.	**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.

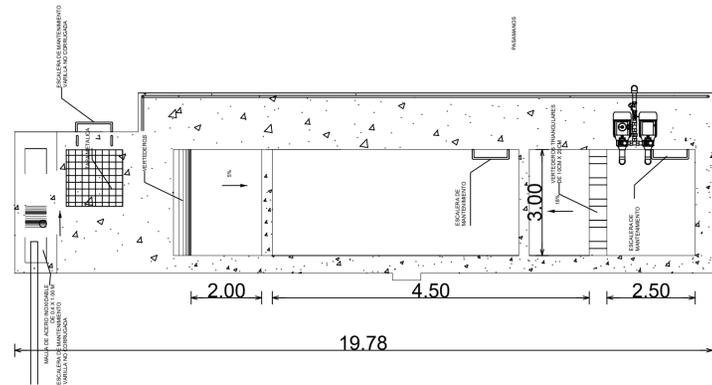
(*)Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.	ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.	Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-5001
<p>El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.</p>		
<p>Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.</p>		
<p>4-OBSERVACIONES Resultados de Cadmio y Plomo realizado en el Laboratorio ALS ECUADOR, Acreditado por el SAE LEN 05-005.</p>	<p>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR: Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 15/11/2022</p>	

ANEXO 3.- PLANOS

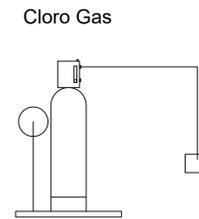


IMPLANTACIÓN DE LA PTAP DE LA PARROQUIA MARCOS ESPINEL

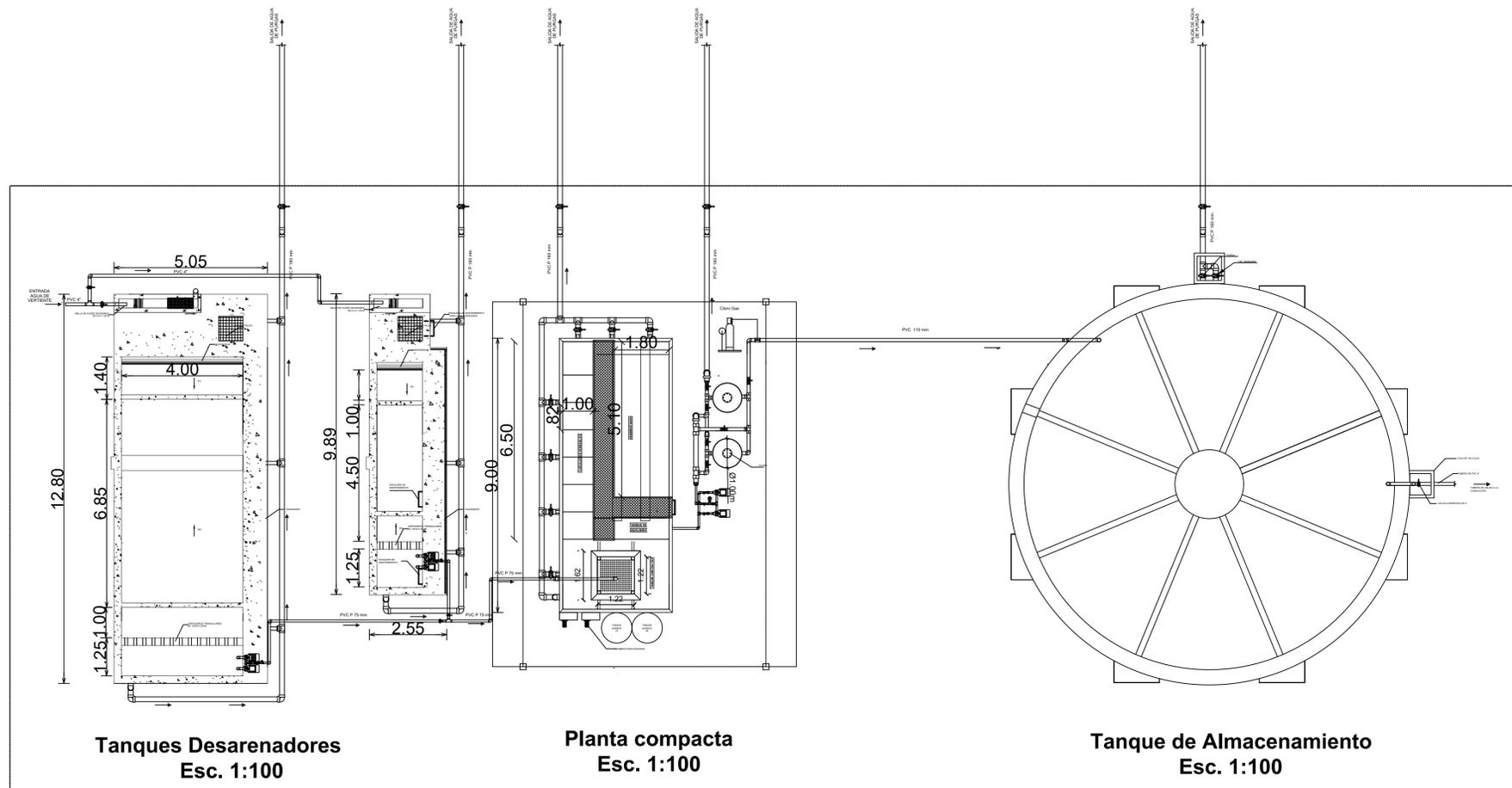
VISTA EN PLANTA



Tanque Desarenador
Esc. 1:50



Cloro Gas
Esc. 1:25



Tanques Desarenadores
Esc. 1:100

Planta compacta
Esc. 1:100

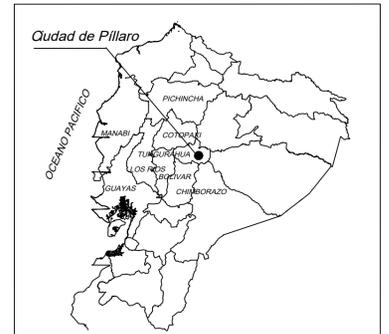
Tanque de Almacenamiento
Esc. 1:100



SIMBOLOGIA

-  SISTEMA CLORO-GAS
-  FILTRO
-  BOMBA CENTRÍFUGA
-  VÁLVULA CHECK
-  MANÓMETRO
-  VÁLVULA MARIPOSA
-  BOMBA DOSIFICADORA
-  VÁLVULA DE BOLA

UBICACION



UBICACION CON RESPECTO AL TERRITORIO NACIONAL.

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
PROYECTO: "EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARROQUIA MARCOS ESPINEL, CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA"			
CONTIENE: - IMPLANTACIÓN - TREN DE TRATAMIENTO PROPUESTO			
REVISÓ	APROBÓ	DIBUJÓ	FECHA: ENERO/2023
			UBICACIÓN PÍLLARO
			ESCALA ESPECIFICADA
ING. EDUARDO PAREDES	ING. EDUARDO PAREDES	OMAR SÁNCHEZ	LÁMINA 2 DE 2