

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

Evaluación técnica y operativa de la planta de tratamiento de agua potable “La Loma” del cantón Nabón, provincia del Azuay

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Ambiental


Autores:

Willman Xavier Guamán Guamán

Christian Mateo Roman Sarmiento

Directora:

Alexandra Elizabeth Guanuchi Quito

ORCID:  0000-0002-5583-8674

Cuenca, Ecuador

17-abril-2023

Resumen

Esta investigación se realizó a través de 5 etapas; en la primera etapa, se elaboró una base de datos con información proporcionada por el GADM de Nabón. En la segunda etapa, se ejecutó un monitoreo del caudal y calidad del agua en la PTAP, además se monitoreó el comportamiento del cloro residual en la red de distribución. En la tercera etapa, se analizó los datos históricos y levantados en campo con el fin de estudiar el comportamiento de las variables a lo largo del tiempo y comparar con la norma INEN 1108. Durante la cuarta etapa se evaluó la operación de las unidades de tratamiento. Finalmente, en la quinta etapa se corroboró si el diseño de la planta fue realizado conforme a lo establecido en la norma CPE INEN 005-9-1. Durante cada etapa se inspeccionó las actividades que se realizan con respecto a la gestión y manejo de la planta. Los resultados demostraron que la mayor parte del tiempo los parámetros analizados de la calidad del agua cumplen con la norma INEN 1108, mientras la concentración de cloro residual en la red de distribución se ve afectada a medida que aumenta la distancia a la planta. Las unidades de tratamiento resultaron no ser muy eficientes en la remoción de ciertos parámetros. Por medio de la proyección de la población de estudio a 20 años y la repotenciación de la PTAP, se constató que es necesaria la captación de un caudal adicional de alrededor de 6.5 L/s para contrarrestar la deficiencia que existirá en el abastecimiento de agua en temporadas secas. Así mismo, se evidenció la necesidad de llevar a cabo un mantenimiento completo de las estructuras de la planta y capacitación del personal.

Palabras clave: filtración, cloración, caudal, captación, concentración, normativa

Abstract

The evaluation was executed through five stages; In the first stage, a database was prepared with information provided by the Nabón administration office. In the second stage, a monitoring of the flow and the quality of the water in the PTAP was carried out, in addition, the behavior of residual chlorine was monitored through the distribution network. In the third stage, the historical data and data collected in the field were analyzed, to then study the behavior of the variables over time. Each of these parameters were compared with the INEN 1108 standard. During the fourth stage, the operation of the treatment units was evaluated. Finally, in the fifth stage, it was confirmed whether the design of the PTAP was executed in accordance with the provisions of the CPE INEN 005-9-1 standard. In addition, during each stage, the activities performed by the operators with respect to the management of the plant were identified. The results of this work showed that most of the time, the analyzed water quality parameters comply with the INEN 1108 standard, while the concentration of residual chlorine in the distribution network is affected as the distance to the plant increases. The treatment units appear to be not very efficient in the removal of certain parameters since during the monitoring, their concentration increased. Through the projection of the study population to 20 years and the hydraulic determination of the PTAP, it was verified that it is necessary to repower it and capture an additional flow of around 6.5 L/s to cover the supply of drinking water to the entire population of the study area and counteract the current deficiency that occurs in dry seasons. On the other hand, the need to carry out a complete maintenance of the plant structures and personnel training was evidenced, due to the shortcomings currently found.

Keywords: chlorination, caudal, capture, concentration, regulations

Índice de contenido

Resumen	2
Abstract.....	3
Capítulo I	17
1.1 Introducción	17
1.2 Diagnóstico del problema y justificación.....	18
1.3 Objetivos.....	20
1.3.1 Objetivo General:.....	20
1.3.2 Objetivos Específicos:	20
Capítulo II: Marco Referencial.....	21
2.1 Marco Teórico	21
2.1.1 Agua.....	21
2.1.1.1 Agua cruda.....	21
2.1.1.2 Agua tratada	21
2.1.1.3 Agua potable.....	21
2.1.1.4 Calidad de agua	21
2.1.2 Fuentes de captación de agua.....	21
2.1.2.1 Agua subterránea.....	21
2.1.2.2 Agua superficial.....	21
2.1.3 Potabilización del agua	22
2.1.3.1 Planta de tratamiento de agua potable	22
2.1.3.2 Captación.....	22
2.1.3.3 Desarenador	22
2.1.3.4 Cajón de aforo.....	22
2.1.3.5 Vertederos	22
2.1.3.6 Filtración	22
2.1.3.7 Cloración.....	23
2.1.3.8 Almacenamiento	23
2.1.3.9 Red de distribución de agua potable	24
2.1.4 Parámetros de calidad de agua	24
2.1.4.1 Parámetros físicos	24
2.1.4.2 Parámetros químicos	25
2.1.4.3 Parámetros microbiológicos	27
2.2 Marco Legal.....	28
2.2.1 INEN 1108. Agua para consumo humano. Requisitos.....	28

2.2.2 CPE INEN 005-9-1. Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes ..	28
Capítulo II: Materiales y Métodos	31
3.1 Descripción del área de estudio	31
3.1.1 Ubicación.....	31
3.1.2 Clima	31
3.1.3 Hidrografía.....	31
3.1.4 Población.....	31
3.1.5 Cobertura de agua potable	32
3.1.6 Consumo de agua potable.....	32
3.2 Tipo de estudio	32
3.3 Recolección de datos.....	32
3.4 Definición de criterios de evaluación	33
3.4.1 Criterios de evaluación técnica	33
3.4.2 Criterios de evaluación operativa.....	33
3.4.3 Criterios para la ampliación de la PTAP.....	34
3.5 Descripción de la planta de tratamiento	34
3.5.1 Componentes técnicos	35
3.5.1.1 Desarenador	35
3.5.1.2 Línea de conducción	36
3.5.1.3 Cajón de aforo.....	36
3.5.1.4 Tuberías de conducción	37
3.5.1.5 Prefiltros Horizontales Gruesos.....	37
3.5.1.6 Filtros lentos.....	38
3.5.1.7 Unidad de desinfección	41
3.5.1.8 Reserva de agua potable	41
3.5.1.9 Red de distribución	42
3.5.2 Componentes Operativos	42
3.5.2.1 Personal Operativo	42
3.6 Monitoreo de la calidad del agua en la planta	43
3.6.1 Descripción del método y materiales empleados para la toma de muestras	44
3.6.2 Descripción del método empleado para el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	44
3.6.2.1 Análisis de los parámetros físicos y químicos	44
3.6.2.2 Análisis de los parámetros microbiológicos	45

3.6.3 Análisis estadístico de los datos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.....	46
3.7 Monitoreo del cloro residual en la red de distribución.....	46
3.7.1 Descripción del método y materiales empleados para la medición del cloro libre residual.....	47
3.7.2 Análisis estadístico de los datos del cloro residual	48
3.8 Monitoreo de los caudales	48
3.8.1 Descripción del método para medir el caudal	48
3.8.2 Análisis estadístico de los datos del caudal	48
3.9 Identificación de la pérdida de caudal en la planta	49
3.10 Determinación del déficit de agua captada.....	49
3.11 Determinación de la eficiencia de las unidades de tratamiento	50
3.12 Determinación de la velocidad de filtración en los filtros lentos	51
3.13 Determinación de la composición del lecho filtrante	51
3.14 Evaluación del dimensionamiento real de la PTAP “La Loma” con respecto a su estudio de diseño.....	52
3.15 Bases para el diseño de la repotenciación de la PTAP “La Loma”	53
3.15.1 Periodo de diseño.....	53
3.15.2 Población futura.....	53
3.15.3 Dotación Futura.....	55
3.15.4 Caudales de diseño	57
3.16 Determinación hidráulica de las unidades de tratamiento.....	62
3.16.1 Obra de llegada y repartición de caudales.....	62
3.16.2 Filtros Gruesos de Flujo Horizontal.....	65
3.16.3 Filtros Lentos de Arena.....	69
3.16.4 Desinfección	77
3.16.5 Reservorio	79
Capítulo IV: Resultados	81
4.1 Análisis de datos de cloro residual en la red de distribución.....	81
4.2 Análisis de datos de parámetros físicos-químicos y microbiológicos de la calidad del agua tratada.....	86
4.2.1 Análisis de la concentración de color.....	87
4.2.2 Análisis de la concentración de la turbidez	88
4.2.3 Análisis de la concentración de pH.....	89
4.2.4 Análisis de la concentración de TDS	90
4.2.5 Análisis de la concentración de conductividad.....	91

4.2.6	Análisis de la concentración de nitratos	92
4.2.7	Análisis de la concentración de nitritos	93
4.2.8	Análisis de la concentración de fluoruros.....	94
4.2.9	Análisis de la concentración de fósforo.....	95
4.2.10	Análisis de la concentración de hierro.....	96
4.2.11	Análisis de la concentración de manganeso	97
4.2.12	Análisis de la concentración de sulfatos	98
4.2.13	Análisis de la concentración de alcalinidad Total.....	99
4.2.14	Análisis de la concentración de dureza Total.....	100
4.2.15	Análisis de la concentración de coliformes Totales.....	101
4.2.16	Análisis de la concentración de coliformes Fecales (Escherichia Coli).....	102
4.3	Eficiencia de las unidades de tratamiento	103
4.4	Análisis de datos del caudal de agua que ingresa a la planta	105
4.5	Determinación del déficit de caudal en la planta	107
4.5.1	Déficit de agua para el caudal de diseño actual.....	107
4.5.2	Déficit de agua para el caudal de diseño proyectado.....	108
4.6	Determinación de la pérdida de caudal en la planta de tratamiento.	108
4.7	Velocidad de filtración	109
4.8	Determinación del tamaño de partículas y coeficiente de uniformidad del lecho filtrante en los filtros.....	110
4.9	Estado actual de la planta	111
4.10	Dimensionamiento real de las unidades de tratamiento presentes en la planta con respecto a los estudios de diseño.	115
4.10.1	Dimensionamiento del cajón de aforo.....	115
4.10.2	Dimensionamiento del vertedero	115
4.10.3	Dimensionamiento de los prefiltros	116
4.10.4	Dimensionamiento de los filtros	117
4.10.5	Dimensionamiento del tanque de contacto	117
4.10.6	Dimensionamiento del reservorio.....	118
4.11	Cumplimiento de los parámetros de diseño de la planta de tratamiento con respecto a la norma CPE INEN 005-9-1.	118
4.11.1	Aspectos generales de la planta.....	118
4.11.2	Parámetros de diseño de la estructura de llegada y repartición de caudales ...	120
4.11.3	Parámetros de diseño de los filtros horizontales gruesos	121
4.11.4	Parámetros de diseño de los filtros lentos	122
4.11.5	Parámetros de diseño de la unidad de desinfección	124

4.11.6	Parámetros de diseño del reservorio	125
4.12	Evaluación operativa de la planta de tratamiento	127
4.12.1	Regulación y mantenimiento de válvulas en la PTAP “La Loma”	127
4.12.2	Mantenimiento y limpieza de los prefiltros de grava gruesa y filtros lentos de arena.....	127
4.12.3	Drenaje y limpieza de cajones y vertederos.....	128
4.12.4	Medición del caudal y dosificación de cloro	128
4.12.5	Análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para determinar la calidad del agua en la planta de tratamiento	129
4.12.6	Medición del cloro residual en el reservorio y en la red de distribución	129
4.12.7	Verificación del funcionamiento de la red de distribución	130
4.12.8	Condiciones de seguridad	130
4.13	Parámetros de diseño de la planta de tratamiento	130
4.13.1	Obra de llegada y repartidor de caudales	131
4.13.2	Prefiltración.....	131
4.13.3	Filtración.....	132
4.13.4	Desinfección	134
4.13.5	Almacenamiento.....	135
Capítulo V	136
5.1	Conclusiones	136
5.2	Recomendaciones	138
Referencias	140
Anexos	147

Índice de figuras

Figura 1. <i>Plano de la planta de tratamiento.</i>	35
Figura 2. <i>Plano del cajón de aforo.</i>	37
Figura 3. <i>Plano del filtro grueso horizontal.</i>	38
Figura 4. <i>Plano del filtro lento.</i>	40
Figura 5. <i>Mapa ubicación de la PTAP “La Loma” y los puntos de medición de cloro residual</i>	47
Figura 6. <i>Perfil frontal del vertedero y sus características.</i>	64
Figura 7. <i>Diseño del vertedero.</i>	64
Figura 8. <i>Perfil longitudinal del vertedero y sus características.</i>	65
Figura 9. <i>Diseño del cajón de aforo.</i>	65
Nota: Elaborado por los autores.	77
Figura 12. <i>Datos históricos de cloro residual en el reservorio.</i>	82
Figura 13. <i>Primer monitoreo de la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua potable (03/06/2022).</i>	83
Figura 14. <i>Segundo monitoreo de la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua potable (10/06/2022).</i>	84
Figura 15. <i>Tercer monitoreo de la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua potable (08/07/2022).</i>	84
Figura 16. <i>Cuarto monitoreo de la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua potable (15/07/2022).</i>	85
Figura 17. <i>Quinto monitoreo de la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua potable (22/07/2022).</i>	86
Figura 18. <i>Datos históricos de color del agua potable en la planta “La Loma”.</i>	88
Figura 19. <i>Monitoreo y análisis de color del agua potable en la planta “La Loma”.</i>	88
Figura 20. <i>Datos históricos de la turbidez del agua potable en la planta “La Loma”.</i>	89
Figura 21. <i>Datos históricos de la turbidez del agua potable en la planta “La Loma”.</i>	89
Figura 22. <i>Datos históricos del pH del agua potable en la planta “La Loma”.</i>	90
Figura 23. <i>Monitoreo y análisis del pH del agua potable en la planta “La Loma”.</i>	90
Figura 24. <i>Datos históricos de TDS en el agua potable de la planta “La Loma”.</i>	91
Figura 25. <i>Monitoreo y análisis del TDS del agua potable de la planta “La Loma”.</i>	91
Figura 26. <i>Datos históricos de Conductividad en el agua potable de la planta “La Loma”.</i>	92
Figura 27. <i>Monitoreo y análisis de Conductividad del agua potable de la planta “La Loma”.</i>	92

Figura 28. Datos históricos de Nitratos en el agua potable de la planta “La Loma”.	93
Figura 29. Monitoreo y análisis de Nitratos del agua potable de la planta “La Loma”.	93
Figura 30. Monitoreo y análisis de Nitritos del agua potable de la planta “La Loma”.	94
Figura 31. Monitoreo y análisis de Nitritos del agua potable de la planta “La Loma”.	94
Figura 32. Datos históricos de Fluoruros en el agua potable de la planta “La Loma”.	95
Figura 33. Monitoreo y análisis de fluoruros en el agua potable de la planta “La Loma”. ..	95
Figura 34. Datos históricos de la concentración de fósforo en el agua potable de la planta “La Loma”.	96
Figura 35. Monitoreo y análisis de la concentración de fósforo en el agua potable de la planta “La Loma”.	96
Figura 36. Datos históricos de Hierro en el agua potable en la planta “La Loma”.	97
Figura 37. Monitoreo y análisis del Hierro en el agua potable en la planta “La Loma”.	97
Figura 38. Datos históricos de concentración de manganeso en el agua potable de la planta “La Loma”.	98
Figura 39. Monitoreo y análisis de la concentración de manganeso en el agua potable de la planta “La Loma”.	98
Figura 40. Datos históricos de concentración de sulfatos en el agua potable de la planta “La Loma”.	99
Figura 41. Monitoreo y análisis de la concentración de sulfatos en el agua potable de la planta “La Loma”.	99
Figura 42. Datos históricos de Alcalinidad Total en el agua potable de la planta “La Loma”.	100
Figura 43. Monitoreo y análisis de Alcalinidad Total en el agua potable de la planta “La Loma”.	100
Figura 44. Datos históricos de Dureza Total en el agua potable de la planta “La Loma”	101
Figura 45. Monitoreo y análisis de Dureza Total en el agua potable de la planta “La Loma”.	101
Figura 46. Datos históricos de Coliformes Totales en el agua potable de la planta “La Loma”.	102
Figura 47. Monitoreo y análisis de Coliformes Totales en el agua potable de la planta “La Loma”.	102
Figura 48. Datos históricos de Coliformes Fecales en el agua potable de la planta “La Loma”.	103
Figura 49. Monitoreo y análisis de Coliformes Fecales en el agua potable de la planta	

“La Loma”	103
Figura 50. Eficiencia de la remoción de los parámetros de estudio en la PTAP “La Loma”	103
“La Loma”	105
Figura 51. Datos históricos del caudal que ha ingresado a la PTAP “La Loma”.....	106
Figura 52. Monitoreo del caudal de agua que ingresa a la planta.....	106
Figura 53. Porcentaje de pérdida de caudal de los filtros y prefiltros.....	109
Figura 54. Velocidad de filtración de los filtros lentos de arena en la PTAP “La Loma”.	109
Figura 55. Curva Granulométrica correspondiente al lecho filtrante 2.	110
Figura 56. Curva Granulométrica correspondiente al lecho filtrante 4.	111

Índice de tablas

Tabla 1. Tratamientos probables.	28
Tabla 2. Características de la grava para pre filtros horizontales.	29
Tabla 3. Características del lecho filtrante de arena.	29
Tabla 4. Características del lecho soportante grava.	30
Tabla 5. Características de los filtros gruesos de flujo horizontal.	37
Tabla 6. Características de los filtros lentos de arena.	39
Tabla 7. Características del sistema de drenaje de los filtros lentos de arena.	40
Tabla 8. Turnos y actividades de los operadores de la PTAP “La Loma”.	42
Tabla 9. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos.	43
Tabla 10. Métodos para el análisis de los parámetros físicos.	45
Tabla 11. Métodos para el análisis de los parámetros químicos.	45
Tabla 12. Métodos para el análisis de los parámetros microbiológicos.	46
Tabla 13. Tamices y diámetros correspondientes.	52
Tabla 14. Dotaciones Recomendadas.	55
Tabla 15. Valores estadísticos del monitoreo de cloro residual.	81
Tabla 16. Valores estadísticos del monitoreo de la calidad del agua tratada.	86
Tabla 17. Caudal promedio mensual que ha ingresado a la PTAP “La Loma” en los años de estudio.	107
Tabla 18. Pérdida de caudal en la PTAP “La Loma”.	108
Tabla 19. Determinación de D60, D10 y Cu correspondientes al filtro de arena #2.	110
Tabla 20. Determinación de D60, D10 y Cu correspondientes al filtro de arena #4.	110
Tabla 21. Identificación del estado de las unidades de tratamiento en la PTAP “La Loma”.	112
Tabla 22. Dimensionamiento real del cajón de aforo vs. dimensionamiento establecido en los estudios previos a la construcción de la planta.	115
Tabla 23. Dimensionamiento real del vertedero vs. dimensionamiento establecido en los estudios previos a la construcción de la planta.	116
Tabla 24. Dimensionamiento real de los prefiltros vs. dimensionamiento establecido en los estudios previos a la construcción de la planta.	116
Tabla 25. Dimensionamiento real de los filtros lentos vs. dimensionamiento establecido en los estudios previos a la construcción de la planta.	117
Tabla 26. Dimensionamiento real del tanque de contacto de cloro vs. dimensionamiento establecido en los estudios previos a la construcción de la planta.	118
Tabla 27. Dimensionamiento real del reservorio vs. dimensionamiento establecido	

en los estudios previos a la construcción de la planta.....	118
Tabla 28. Cumplimiento de los criterios generales de diseño de plantas de tratamiento en la PTAP “La Loma”.....	119
Tabla 29. Cumplimiento de los criterios de diseño para estructuras de llegada y repartición de caudales en la PTAP “La Loma”.	120
Tabla 30. Cumplimiento de los criterios de diseño para prefiltros horizontales gruesos en la PTAP “La Loma”.....	121
Tabla 31. Cumplimiento de los criterios de diseño para filtros lentos de arena en la PTAP “La Loma”.	122
Tabla 32. Cumplimiento de los criterios de diseño para las unidades de desinfección en la PTAP “La Loma”.....	124
Tabla 33. Cumplimiento de los criterios de diseño para las estructuras de almacenamiento de agua en la PTAP “La Loma”.	126
Tabla 34. Diseño del cajón de aforo y vertedero.....	131
Tabla 35. Diseño de los prefiltros gruesos de grava.	131
Tabla 36. Diseño de los filtros lentos de arena.	132
Tabla 37. Diseño de la unidad de desinfección.....	134
Tabla 38. Diseño del reservorio.....	135

Agradecimientos

En conjunto, agradecemos a nuestros familiares, profesores y compañeros quienes han sido un pilar fundamental dentro de nuestro desarrollo profesional y como seres humanos.

Hacemos un extensivo agradecimiento a nuestro tutora Alexandra Guanuchi quien nos encamino en cada proceso durante el desarrollo de nuestro proyecto de titulación y por medio de sus consejos hemos logrado culminar nuestra carrera universitaria.

Agradecemos al Departamento de Agua Potable y Saneamiento del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Nabón, por permitirnos realizar nuestra tesis en la planta de tratamiento de agua potable “La Loma” y ofrecernos toda su colaboración y confianza.

Finalmente, agradecemos a la Ingeniera Verónica Vásquez quien fue de mucha ayuda durante el desarrollo de nuestra tesis, puesto que nos acompañó en cada una de las actividades que realizamos y siempre estuvo dispuesta a solventar cualquier inquietud que tengamos.

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación le dedico de todo corazón a mi madre Rosa Guamán, a mi hermana Sandra Guamán y a mi sobrina Emily Loja, quienes me han acompañado y apoyado incondicionalmente en cada paso importante de mi vida. Me han brindado sus consejos y me han impulsado a no rendirme y cumplir con todas mis metas propuestas.

Finalmente, dedico esta tesis a todos mis familiares y amigos que siempre estuvieron alentándome, considero que cada uno de ellos fueron parte importante en mi vida durante esta etapa.

Wilman Xavier Guamán Guamán.

Dedicatoria

Dedico la culminación de este trabajo de titulación y de mi carrera universitaria a mi padre Pablo Roman y mi madre Helen Sarmiento, quienes me han motivado he impulsado para cumplir una de mis metas más anheladas la cual es ser un profesional.

A mis abuelos que hoy están en el cielo, pero sé que todo el tiempo me enviaron fuerzas para continuar en el arduo camino de convertirme en profesional y sé que hoy estarían muy orgullosos de mí.

A mi enamorada Andrea Peña quien desde el día que fuimos compañeros siempre me impulso para ser uno de los mejores del aula, quien siempre demostró su admiración al desempeño que ponía en cada materia y hoy es la persona más orgullosa de mí.

Christian Mateo Roman Sarmiento

Capítulo I

1.1 Introducción

El agua es un recurso natural muy importante para el desarrollo de la vida en la Tierra, al ser el componente principal de las células humanas y medio de transporte de elementos químicos que intervienen en el metabolismo de los seres vivos, razón por la cual muchos países centra su atención en la conservación y uso de este recurso (Mendizábal Bermúdez & Sedano Padilla, 2011). Sin embargo, en la realidad son pocos los países que respetan el derecho fundamental de las personas a acceder a agua potable en las condiciones y cantidades necesarias para su consumo.

La contaminación de las fuentes hídricas puede darse debido al arrastre de sedimentos, relaves mineros y productos químicos utilizados en la agricultura que ocasionan que ciertos parámetros del agua se eleven a tal nivel que resulte muy difícil la auto purificación de este recurso y sea necesario implementar ciertos procesos que ayudan a su purificación y desinfección (Chulluncuy, 2011). El inherir agua contaminada puede resultar perjudicial para la salud de los consumidores, por esta razón es necesario tratar el agua destinada al consumo humano en plantas de potabilización, que aseguren una buena calidad al cumplir con los estándares establecidos en la normativa de cada país.

Los procesos utilizados en plantas potabilizadoras de agua dependen de las condiciones del agua cruda y los requerimientos por parte de la población destinada, comúnmente en el caso de poblaciones pequeñas y fuentes no muy contaminadas se utilizan plantas convencionales de filtración directa (Espín, 2012).

La planta de Tratamiento de Agua Potable “La Loma” inició su operación en el año 2012. Se encuentra ubicada en la cabecera cantonal de Nabón a 2964 m.s.n.m. Cuenta con un área de 3870 m², y fue diseñada según las normas IEOS para tratar por medio de prefiltración un caudal de 10 L/s y luego por medio de filtración y cloración un caudal de 6 L/s. Su construcción ayudo a mejorar el servicio de abastecimiento de agua potable al apoyar a la planta potabilizadora preexistente del cantón Nabón conocida como la planta de “Jully”, la cual actualmente se encarga de tratar los 4 L/s excedentes de los prefiltros de la PTAP “La Loma”. En conjunto, ambas plantas están diseñadas para abastecer de agua potable hasta una población de 2929 habitantes, que incluye todo el centro cantonal de Nabón y algunos barrios aledaños (Corrales & Vasquez, 2009).

Este estudio busca comprender por medio de una evaluación técnica y operativa el funcionamiento de la planta potabilizadora “La Loma” y analizar cada factor que influya en la

calidad del agua tratada y el abastecimiento del servicio, y de esta manera proponer alternativas que ayuden a mejorar su operación.

1.2 Diagnóstico del problema y justificación

Alrededor del 70% de la población en el mundo se abastece de agua potable gestionada de manera segura; sin embargo, el 30% de la población restante se abastece de una fuente de agua contaminada con heces, lo que provoca la transmisión de enfermedades como cólera, fiebre tifoidea, diarrea, poliomielitis, que ocasionan la muerte de más de medio millón de habitantes al año (Organización Mundial de la Salud, 2019). En países Latinoamericanos como Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia, aproximadamente el 80% de la población tiene acceso a potable, un dato que demuestra una cobertura relativamente amplia de este servicio; sin embargo, en la mayoría de estos países se presenta problemas relacionados con la calidad y suministro de agua potable debido a deficiencias en la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento (Cama Luque & Huasco Cuchacha, 2019). Existen varios conflictos relacionados con el agua como es su escasez, contaminación y mala gestión. Ecuador es un país que tiene la suerte de contar con varias reservas de agua dulce; sin embargo, debido a su incorrecta gestión y manejo se presentan varios conflictos sociales, ambientales y económicos, principalmente en los sectores rurales y barrios marginales en los cuales la presión de agua se encuentra muy por debajo de la norma, y no siempre se tiene el acceso a agua de buena calidad para su consumo (Tapia, 2009).

Actualmente, el GADM de Nabón centra su preocupación en los asentamientos y deslizamientos que presentan varias zonas en su territorio y han afectado a varias viviendas y gran parte de la infraestructura municipal. Una de las zonas más afectadas por los deslizamientos es el sector de Rosas, donde se ubica la planta de “Jully” que abastece de agua potable al centro cantonal de Nabón y parte del barrio Rosas. Esta planta ha comenzado a presentar fisuras y existe el riesgo que en algún momento el terreno en el cual se encuentra emplazada se asiente y toda su estructura empiece a colapsar, ocasionando el fin de su operación.

La planta potabilizadora “La Loma” abastece a barrios aledaños al centro cantonal de Nabón como son: La Playa, Zhamanga, Tamboloma, Totoracocha, El Salado, Charcay, Guanglula, Cruz Loma, Siguir y parte del barrio Rosas. El riesgo de colapso de la planta de “Jully” ha provocado que el GADM de Nabón tome interés en realizar estudios que ayuden a mejorar la operatividad de la planta “La Loma” y que en un futuro esta pueda ser repotenciada para incluir el abastecimiento de todo el sector que actualmente compete a la planta de “Jully”, para ello es necesario primero conocer si la planta “La Loma” se encuentra en condiciones

adecuadas de operación y si es necesario la intervención de obras ingenieriles con el fin de mejorar su funcionamiento.

La PTAP “La Loma”, fue diseñada con una vida útil de 20 años y al encontrarse en operación durante más de 10 años, presenta estructuras deterioradas que requieren de mantenimiento y algunas reparaciones, es por ello que fue necesario revisar el estado de las unidades de tratamiento, con el fin de comprobar que operen en condiciones adecuadas. De acuerdo con los resultados de algunos análisis del cloro residual en la red de distribución, llevados a cabo por la laboratorista del departamento de agua potable y saneamiento del GADM de Nabón, existía evidencia de que en ciertas ocasiones en las zonas más alejadas a la planta la concentración de cloro residual se encontraba por debajo de lo establecido por la normativa ecuatoriana, debido a esto se analizó el comportamiento del cloro residual en la red de distribución y se evaluó el método de cloración utilizado en la planta, para verificar que se realice de la manera correcta y asegure una concentración óptima de cloro residual en todo punto de la red de distribución. La PTAP “La Loma” debido a que cuenta con un sistema de tratamiento muy básico, fue importante analizar que la calidad del agua tratada cumpla con los estándares exigidos por la normativa ecuatoriana para el consumo humano y no se requiera de tratamientos adicionales.

La planta de tratamiento presenta problemas en época de estiaje con respecto al abastecimiento del servicio de agua potable, al no contar con la suficiente cantidad de agua a ser tratada para distribuir a todos los sectores, esto ocasiona que durante ciertas temporadas del año el agua tenga que ser racionada, por lo tanto se consideró importante analizar el déficit de agua que existe en temporada de estiaje, de manera que se pueda recomendar la captación un mayor caudal que garantice el abastecimiento continuo del servicio de agua potable a todos los sectores. Además, debido al bajo volumen de agua que se almacena en la planta en época de sequías, no se puede realizar regularmente la limpieza de los filtros, lo que pone en riesgo la obstrucción de estos y una disminución en la calidad del agua tratada.

Realizar una evaluación técnica y operativa de la planta de tratamiento de agua potable “La Loma” contribuye con el departamento de Agua Potable y Saneamiento del GADM de Nabón, primero a confirmar que el servicio que se presta es seguro para el consumo humano, segundo a conocer la situación actual en la que se encuentra operando la planta, identificar fallas y oportunidades de mejora, y tercero a identificar los requerimientos necesarios para lograr mantener un abastecimiento continuo de agua potable a toda la población que compete su jurisdicción, incluso si se suspende la operación de la planta de “Jully”.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General:

- Evaluar técnica y operativamente la planta de tratamiento de agua potable “La Loma” del cantón Nabón.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Determinar la calidad del agua en diferentes puntos de la planta de tratamiento y comparar la calidad del agua tratada con la norma INEN 1108.
- Analizar la concentración de cloro residual en diferentes puntos de la red de distribución domiciliaria.
- Evaluar la operación de la planta potabilizadora, y el estado actual de las estructuras y equipos que la componen.
- Calcular el caudal de diseño de la planta para expandir el abastecimiento de agua potable a todo al centro cantonal de Nabón y comprobar si es necesaria la captación de un mayor volumen de agua.
- Proponer alternativas que permitan mejorar la operación de la planta potabilizadora, y aumentar la capacidad de tratamiento.

Capítulo II: Marco Referencial

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Agua

2.1.1.1 Agua cruda

Es aquella agua que no ha recibido ningún tipo de tratamiento, proveniente de aguas superficiales como también de aguas subterráneas, que ingresa a la planta de tratamiento en su estado natural (Ávila, 2015).

2.1.1.2 Agua tratada

El término agua tratada se refiere al agua que ha sido sometida a un proceso en el cual se ha cambiado sus características fisicoquímicas y biológicas (Ávila, 2015).

2.1.1.3 Agua potable

El agua potable es aquella que ha sido sometida a procesos de tratamiento para encontrarse exenta de agentes que signifiquen un riesgo para la salud de los seres humanos, con el fin de cumplir los requerimientos mencionados en la normativa de cada país (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2020).

2.1.1.4 Calidad de agua

La calidad del agua reúne ciertos criterios que debe cumplir una agrupación de características físicas, químicas y biológicas que son tomadas en cuenta en función de la actividad en que se vaya a utilizar (Peñuela & Gualí, 2016).

2.1.2 Fuentes de captación de agua

2.1.2.1 Agua subterránea

Consiste en el agua almacenada bajo la superficie del suelo, resultado de la infiltración de la lluvia, la nieve, y cuerpos de agua superficiales (Caraballo Collazo & Montaña Xavier, 2012). Además de ser el agua subterránea una de las mayores reservas de agua dulce aprovechable por los seres humanos, cumple también la función importante de ser un regulador del flujo y nivel de agua en ríos, lagos y humedales (Espín, 2012).

2.1.2.2 Agua superficial

Se refiere a aquellos cuerpos de agua formados sobre la superficie del suelo como resultado de la escorrentía proveniente de la precipitación o afloramientos de cuerpos de agua subterráneos y corresponde tan solo al 1% del agua dulce en la Tierra (Fundación Canal, 2013).

2.1.3 Potabilización del agua

2.1.3.1 Planta de tratamiento de agua potable

Consiste en un conjunto de equipos e instalaciones donde se somete el agua captada a diferentes procesos cuyo objetivo es suprimir cualquier presencia de microorganismos patógenos y disminuir la concentración de contaminantes fisicoquímicos hasta niveles que no afecten la salud de los seres humanos (Chulluncuy, 2011).

2.1.3.2 Captación

La captación se refiere a la recolección del agua proveniente de fuentes superficiales o subterráneas que son recolectadas a través de acueducto o canal abierto que conduce el agua a la planta, ya sea por sistema de bombeo o gravedad (Ávila, 2015).

2.1.3.3 Desarenador

Consiste en una estructura donde se deposita parte del material en suspensión presente en el agua, está compuesta por un canal de entrada, una zona de transición, una zona de sedimentación, una zona de salida del agua tratada y una zona donde se depositan los lodos procedentes del material en suspensión la cual cuenta con un canal de evacuación (Benito & Valbuena, 2015).

2.1.3.4 Cajón de aforo

Consiste en una estructura fabricada de hormigón u otro material, por donde ingresa el caudal de agua a la planta y se distribuye uniformemente a través de vertederos hacia las siguientes unidades de tratamiento, con el fin de agregar la concentración óptima de reactivos químicos requeridos para el tratamiento del agua (Arizaga, 2016).

2.1.3.5 Vertederos

Los vertederos son estructuras que permiten la recolección, medición, estabilización y distribución uniforme del flujo de agua (Ordóñez & Pesántez, 2017).

2.1.3.6 Filtración

La filtración consiste en separar partículas y pequeñas cantidades de microorganismos a través de un medio poroso en el cual quedan retenidas (Chulluncuy, 2011).

Durante la filtración los materiales que son retenidos en los granos del medio filtrante, al acumularse producen la obstrucción del flujo del agua, por ello es necesario que sean limpiados constantemente (Chulluncuy, 2011).

- A. Pre filtros o filtros gruesos.** Son unidades de tratamiento que utilizan grava como material filtrante y consisten en compartimentos con vertederos rectangulares que

pueden ser de tipo dinámico, de flujo ascendente o descendente y de flujo horizontal (Sánchez et al., 2006). Generalmente son utilizados para controlar los picos de turbidez en temporadas lluviosas, evitando la obstrucción de los filtros lentos (Marrón, 1999). Estos sistemas además de remover la turbidez, ayudan a eliminar algas y bacterias, y a disminuir la frecuencia de lavado de los filtros (Marrón, 1999).

B. Filtros Lentos. Se caracterizan por ser un sistema sencillo pero eficiente para tratar el agua, que debido a su bajo costo de operación y mantenimiento es idóneo para poblaciones pequeñas (Valdiviezo Sánchez, 2013). Son estructuras simples capaces de remover gran parte del material en suspensión y microorganismos presentes en el agua sin requerir la adición de ningún producto químico (Romero Rojas, 1999). Los filtros lentos operan por gravedad, regularmente el medio filtrante que utilizan es arena y tienen una velocidad de filtración de 2 - 10 m³/m²*d (Pérez, 2013).

2.1.3.7 Cloración

La cloración es un proceso de desinfección que consiste en inyectar cloro al agua a través de distintos métodos como la adición de cloro gas o soluciones de hipoclorito de sodio o calcio (Benítez, 2021). La desinfección inactiva los microorganismos patógenos presentes en el agua, capaces de producir enfermedades en los seres humanos (Contreras & Zambrano, 2017).

A. Demanda de cloro. Se refiere a la concentración necesaria de cloro para reaccionar con los compuestos reductores y orgánicos de un medio acuoso, teniendo la capacidad de consumirse y mantener una concentración residual (Benítez, 2021). De acuerdo con la normativa INEN 1108 se debe mantener una concentración de cloro residual entre 0.3 a 1.5 mg/L en cualquier punto de la red de distribución.

B. Decaimiento del cloro en la red de distribución. El cloro es un compuesto que puede reaccionar con la materia orgánica e inorgánica presente en el agua, lo que provoca que su concentración disminuye con el paso del tiempo; sin embargo, existen otros factores que también pueden afectar la concentración del cloro en la red de distribución, como es su reacción con las paredes de las tuberías, la temperatura, elementos del sistema, y su propia evaporación natural (Castro & Neves, 2003).

2.1.3.8 Almacenamiento

Los tanques de almacenamiento son reservorios cerrados construidos generalmente de hormigón armado y hierro dúctil, que cumplen la función de almacenar la cantidad de agua necesaria en función del caudal tratado en la planta y la demanda por parte de la población (Burbano & Calderón, 2021).

2.1.3.9 Red de distribución de agua potable

Se trata de conjunto de tuberías, válvulas y accesorios que forman un sistema y permiten distribuir el agua potable desde la planta de tratamiento hasta los usuarios del servicio (García Ávila, 2019). A continuación, se describen los tipos de redes de distribución.

- A. **Red matriz.** Consiste en una agrupación de tuberías de orden superior, las cuales transportan el agua tratada desde la planta o tanque de almacenamiento a las redes secundarias (Triana & Herrán, 2017).
- B. **Red secundaria.** Consiste en una agrupación de tuberías que conducen el agua hacia los diferentes barrios o urbanizaciones de una localidad (Triana & Herrán, 2017).
- C. **Red menor.** Consiste en una agrupación de tuberías de orden inferior que suministran el agua a los diferentes puntos de consumo de los domicilios de un barrio o urbanización (Triana & Herrán, 2017).

2.1.4 Parámetros de calidad de agua

2.1.4.1 Parámetros físicos

Los parámetros físicos del agua son aquellos que pueden ser percibidos por los sentidos y tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas y aptas para un determinado uso del agua (De Vargas, 2004).

- A. **Color.** El color es un parámetro del agua que puede verse afectado por la presencia de turbiedad u otros compuestos orgánicos presentes en el agua como taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etcétera (De Vargas, 2004). Existen otros factores que también influyen en la concentración del color en el agua como son el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados. Se conoce como color aparente al color que presenta el agua cruda y como color verdadero al color que presenta el agua tratada (De Vargas, 2004).
- B. **Turbidez.** La turbidez se debe a la presencia de partículas en suspensión (arcilla, limo, arena, etc.) o coloidales que debido a su tamaño se encuentran suspendidas en el agua reduciendo su transparencia (De Vargas, 2004). La turbidez suele medirse con un equipo conocido como turbidímetro o nefelómetro, el cual entrega los resultados en unidades de turbidez nefelométricas (UTN).
- C. **pH.** El pH es un parámetro que hace referencia al nivel de acidez o alcalinidad que presenta el agua, se mide en una escala de 0 a 14, siendo los valores de 7 o muy cercanos a este un estado neutro, los valores inferiores a 7 un estado ácido y los valores superiores a 7 un estado alcalino (De Vargas, 2004). El pH es un parámetro

de importancia en el agua, ya que influye en varios procesos como son la corrosión e incrustaciones en redes de distribución y en procesos del tratamiento de agua como la coagulación y desinfección (De Vargas, 2004).

D. Conductividad. La conductividad es un parámetro rápido y fácil de medir, que varía según la temperatura y presencia de sólidos disueltos en el agua, especialmente de sales minerales (Comisión Nacional del Agua, 2007). La conductividad es la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica y comúnmente se mide en $\mu\text{mS/cm}$.

2.1.4.2 Parámetros químicos

Los parámetros químicos del agua están relacionados con la capacidad del agua para disolver distintas sustancias tales como metales, materia orgánica, nutrientes, sales, etc. Gran parte de estas sustancias a concentraciones altas y exposiciones prolongadas tienen una tendencia acumulativa en el organismo de los seres vivos, lo que resulta muy tóxica para la salud (Peñuela & Gualí, 2016)

- A. **Cloro libre residual.** El cloro al encontrarse en un pH inferior a 4 presenta un estado molecular (Cl_2), mientras en un pH entre 5 y 6 se forma el ácido hipocloroso (OCl^\ominus), y sobre un pH de 6 se forma los iones de hipoclorito (HOCl). La agrupación de las especies de cloro (OCl^\ominus y HOCl) se conocen como “cloro libre” en solución disponible para reaccionar, por tanto, el “cloro libre residual” hace referencia a la suma de las especies libres de cloro (OCl^\ominus y HOCl) que se pueden apreciar luego del proceso de desinfección (García Ávila, 2019). El cloro luego de pasar un tiempo en contacto con el agua, oxida todas las sustancias dispuestas a ser oxidadas, se combina con algunas y elimina a otras, durante todas estas reacciones la concentración del cloro disminuye hasta quedar un remanente, el cual continuará ejerciendo un efecto de desinfección en caso de encontrarse con nuevas sustancias en su trayecto (Quíros, 2005).
- B. **Nitratos.** Los nitratos (NO_3^\ominus) son especies iónicas que se forman a raíz de la descomposición final de restos animales y vegetales, siendo parte del ciclo natural del nitrógeno en la Tierra (Vitoria et al., 2015). La presencia de altas concentraciones de nitratos en el agua puede provocar la formación de nitritos y compuestos N-nitrosos, que a concentraciones elevadas pueden desencadenar metahemoglobinemia (Vitoria et al., 2015).
- C. **Nitritos.** El ion nitrito (NO_2^\ominus) puede presentarse en el agua como resultado de la descomposición biológica de compuestos que poseen nitrógeno orgánico (Perez Lopez, 2010). El problema con la presencia de concentraciones altas de nitritos en el

agua se debe a que tras su ingesta estos reaccionan en el organismo con aminas y amidas secundarias y terciarias formando nitrosaminas que tienen un alto potencial cancerígeno y tóxico (Molina et al., 2003).

- D. **Fluoruros.** Los fluoruros son compuestos binarios o sales de flúor combinados con otros elementos como el sodio o calcio. El agua posee fluoruro libre, el cual tiene una mejor absorción que el flúor combinado con proteínas, el flúor presente en el agua potable puede ser beneficioso o contraproducente para la salud de las personas dependiendo de su concentración, bajo una concentración adecuada previene la aparición de caries dentales, mientras a concentraciones elevadas provoca la fluorosis dental como resultado de la hipomineralización de los dientes en desarrollo (Sacramento et al., 2015).
- E. **Manganeso.** El manganeso es un compuesto metálico de color plateado, que no posee olor ni sabor en estado natural y se encuentra comúnmente en el ambiente en forma combinada con otros compuestos como oxígeno, azufre y cloro (Tijero Prado, 2019). Generalmente se encuentra en el agua en forma de iones de manganeso (Mn^{+2}), los cuales son introducidos debido a la solubilidad del bicarbonato de manganeso ($MnCO_3$), cuando los iones de manganeso (Mn^{+2}) se convierten a dióxido de manganeso (MnO_2) bajo la presencia de oxígeno en el aire, el agua se torna a un color rojo intenso. Este efecto provoca que el agua no sea muy apetecible por los consumidores y ensucie la ropa al momento de su lavado, además que puede provocar la obstrucción de tuberías, accesorios y bombas en la red de distribución (Tijero Prado, 2019)
- F. **Hierro.** Existe una elevada presencia de óxidos de hierro en la naturaleza siendo parte de la composición de limos y arcillas. La presencia de hierro en elevadas concentraciones puede perjudicar el sabor del agua, producir manchas en la ropa e indumentaria sanitaria, así como la formación de depósitos en redes de distribución ocasionando su obstrucción (Pérez López, 2010). La ingesta de elevadas concentraciones de hierro puede implicar un riesgo para órganos y tejidos y disminuye la absorción del zinc (Toxqui et al., 2010).
- G. **Sulfatos.** Los sulfatos pueden encontrarse naturalmente en el agua como distintos minerales, que son aprovechados por las bacterias sulfato reductoras para convertirlos en ácido sulfhídrico (Suarez Ruiz, 2012). Los sulfatos son aniones que no ejercen una acción altamente tóxica, sin embargo, es importante controlarlos debido a que a altas concentraciones pueden ocasionar catarsis, deshidratación e irritación gastrointestinal, e influyen en el sabor del agua cuando se combinan con el magnesio (Comisión Nacional del Agua, 2007).

- H. **Dureza Total.** La dureza total se refiere a la concentración de sales presentes en el agua, principalmente de Ca y Mg y en menor proporción de Al, Fe, Mn, Sr y Zn, por tanto, debido a la gran cantidad de compuestos que la conforman se representa como una unidad equivalente de carbonato de calcio (CaCO_3) (Comisión Nacional del Agua, 2007). Existen dos tipos de dureza: carbonatada o temporal y no carbonatada o permanente. La primera se denomina así, porque al calentarse el agua se pierde gran parte la dureza, al disociarse los bicarbonatos en carbonatos que precipitan como partículas sólidas (Amaya Gómez, 1991). Mientras tanto, la dureza no carbonatada al calentar el agua que la contiene no pierde su dureza, debido a la concentración de sulfatos y cloruros de calcio y magnesio (Amaya Gómez, 1991). El agua dura provoca que la acción limpiadora de jabones y detergentes no se ejerza correctamente, y por tanto se necesite de una cantidad mayor para formar la espuma. Además, el agua dura al calentarse también provoca un daño sobre utensilios de cocina, ollas y tuberías al formar duras incrustaciones sobre su superficie (Comisión Nacional del Agua, 2007).
- I. **Alcalinidad Total.** La alcalinidad es la capacidad del agua para neutralizar ácidos, y se debe a la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos en el agua, más comúnmente por la presencia del bicarbonato de calcio y magnesio (Suarez Ruiz, 2012). Se considera como alcalinidad total, aquella que es capaz de neutralizar ácidos con un pH hasta de 4,3 (Suarez Ruiz, 2012). Por tanto, su conocimiento es importante para el tratamiento del agua.

2.1.4.3 Parámetros microbiológicos

Los parámetros microbiológicos son el grupo más importante de la calidad del agua con respecto a su aceptación para el consumo humano, debido a la relación que tienen con la transmisión de enfermedades infecciosas ocasionadas por microorganismos patógenos como bacterias, virus y parásitos (Peñuela & Gualí, 2016).

- A. **Coliformes totales.** Son bacterias de tipo aerobias o anaerobias facultativas que corresponden al grupo de las Gram negativas en forma bacilar (Amarilla et al., 2018). Son capaces de fermentar la lactosa y producir ácido o dióxido de carbono gaseoso. Debido a ciertas características bioquímicas que comparten resultan muy importantes como indicadores microbiológicos de la contaminación del agua (Amarilla et al., 2018).
- B. **Escherichia coli.** La Escherichia coli es una bacteria que pertenece a la familia de las enterobacterias, forma parte del tracto gastrointestinal de los seres vivos homeotermos, posee una alta tasa de crecimiento poblacional y un bajo requerimiento nutricional (Amarilla et al., 2018). Muchas cepas son inocuas o provocan leves diarreas; sin embargo, existen algunas cepas que pueden ocasionar fuertes cólicos

abdominales, e incluso problemas más graves. Al tener una alta relación con el grupo tifoide-paratifoide y presentarse en concentraciones elevadas en distintos tipos de muestras, la *Escherichia coli* es utilizada como un indicador de contaminación fecal en el agua (Amarilla et al., 2018).

2.2 Marco Legal

El marco legal en este proyecto toma como base las leyes y normas emitidas por las instituciones públicas de la República del Ecuador en cuanto a la temática ambiental, enfocada principalmente en el recurso agua destinado al consumo humano. Los documentos utilizados para la elaboración del marco legal corresponden a la norma INEN 1108 “Requisitos del agua potable” y la norma CPE INEN 005-9-1 “Estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes”.

2.2.1 INEN 1108. Agua para consumo humano. Requisitos

La INEN 1108 insta los criterios que debe cumplir el agua potable destinada al consumo humano y que es proveniente de sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011). En el anexo 1 se puede observar los requisitos establecidos por esta norma.

2.2.2 CPE INEN 005-9-1. Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes

El objetivo de esta norma es facilitar información sobre criterios básicos que deben ser tomados en cuenta durante el diseño y construcción de proyectos relacionados al abastecimiento de agua potable, alcantarillado y tratamientos de aguas residuales en Ecuador, con el fin de asegurar que estos sistemas operen adecuadamente (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992).

A. Criterios generales para el diseño de una PTAP

Para poblaciones pequeñas la norma CPE INEN 005-9-1 sugiere diferentes tipos de tratamiento dependiendo la calidad del agua cruda que será destinada a potabilizarse, como se puede apreciar en la tabla 1.

Tabla 1. *Tratamientos probables.*

Características del agua	Tratamiento Probable
Turbiedad media < 10 UNT NMP < 1000 col/100 ml	Filtración lenta

Turbiedad media < 50 UNT NMP < 1000 col/100 ml	Filtración lenta con Pretratamiento
Turbiedad media < 150 UNT NMP < 5000 col/100 ml	Filtración lenta con Sedimentación simple y pretratamiento.

Nota: Obtenido de Instituto Ecuatoriano de Normalización, (1992).

B. Filtro grueso de flujo horizontal

De acuerdo con la norma CPE INEN 005-9-1 se utilizan prefiltros de grava para tratar agua con turbiedades medias inferiores a los 250 NTU y caudales pequeños. En el caso de los prefiltros de flujo horizontal se sugiere operar a una tasa de filtración igual a 0.5 m/h y contar con tres compartimentos de grava con las características presentes en la tabla 2.

Tabla 2. Características de la grava para pre filtros horizontales.

Capa	Longitud (m)	Diámetro (mm)
1	1	25 - 80
2	4.5	30 - 70
3	4.5	5 - 12

Nota: Obtenido de Instituto Ecuatoriano de Normalización, (1992).

C. Filtro lento de arena

La norma CPE INEN 005-9-1 establece que los filtros lentos deben operar a una tasa de filtración entre 0.1 m/h a 0.2 m/h, es por ello que recomienda que se cumpla con los siguientes criterios de diseño.

Tabla 3. Características del lecho filtrante de arena.

Paramento	Rango
Altura del lecho	1 – 1.4 m
Tamaño efectivo	0.15 a 0.35 mm
Coefficiente de uniformidad	1.5 a máximo 3
Dureza	7 (escala de Mohr)
Solubilidad al HCL	< 5%

Nota: Obtenido de Instituto Ecuatoriano de Normalización, (1992).

Tabla 4. Características del lecho soportante grava.

Capa #	Diámetro (mm)	Espesor (m)
1	1 – 1.4	0.1
2	4 – 5.6	0.1
3	16 - 23	0.15

Nota: Obtenido de Instituto Ecuatoriano de Normalización, (1992).

La capa de agua sobrenadante debe una altura de 1 m a 1.5 m, y un borde libre de 0.2 m a 0.3 m en la caja del filtro.

D. Desinfección

La norma CPE INEN 005-9-1 recomienda ciertos criterios para la desinfección del agua en plantas pequeñas:

- Utilizar hipoclorito de sodio o calcio, en forma granular o tabletas debido a que son una fuente estable de cloro por 18 h a 24 h.
- Dosificar el hipoclorito de sodio o calcio en tanques pequeños prefabricados que dispongan de un sistema de orificio calibrado con carga constante, que puede regularse manualmente.
- Dosificar a mano la solución una o dos veces al día, de acuerdo a la dosis de cloro adoptada y el caudal de la planta.
- El volumen del tanque de solución se determina en función de la capacidad de la planta, la dosis de cloro aceptada y la concentración de la solución, y debe tener una capacidad mínima para 12 h de operación.
- Construir tanques de dosificación de hormigón, que tengan un sistema de orificio de carga constante, y que permitirán la agitación manual o mecánica de la solución.
- Agregar suficiente cantidad de cloro al agua como para conseguir que en cualquier punto de la red de distribución se encuentre un residual de 0.1 mg/l a 0.5 mg/l.
- La concentración máxima de hipoclorito de calcio en la solución será del 10%.
- Aplicar el hipoclorito en solución en un punto de resalto hidráulico que permita la mezcla rápida con el agua, y sea distribuido uniformemente en toda la corriente líquida, pudiendo utilizarse tuberías perforadas para el efecto.
- Diseñar tanques con tabiques, similares a los floculadores hidráulicos, que permitan un tiempo de retención entre 20 min. a 30 min.

Capítulo II: Materiales y Métodos

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Ubicación

El cantón Nabón se encuentra ubicado al sureste de la Provincia del Azuay, a 69 km de la ciudad de Cuenca. Limitando al norte con Sigsig y Girón, al sur con Oña, al este con las provincias de Morona Santiago y Zamora Chinchipe, al oeste con Santa Isabel. Cuenta con un área de 668.2 km² y una altura media de 2671 m.s.n.m. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Nabón, 2014).

3.1.2 Clima

El cantón Nabón cuenta con un clima templado o frío (10 a 12 °C), ya que depende mucho de las estaciones del año. Las precipitaciones medias anuales en el cantón Nabón suelen estar entre 250 mm a 1250 mm. La mayor parte del territorio se lo considera muy seco, puesto que presenta precipitaciones inferiores a 500 mm anuales, sin embargo, existen zonas de bosques y páramo donde las precipitaciones llegan hasta 1250 mm anuales (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Nabón, 2014).

3.1.3 Hidrografía

Nabón es un cantón que cuenta con importantes fuentes hídricas debido a que se encuentra en un ecosistema de páramo. El sistema hídrico está representado por dos grandes ríos: el río León y el río Rircay. Y otros de menor caudal como el río Mandur, el río Burro, río Charqui, río Uduzhapa, río Shimpale, río Camaspaila y varias quebradas pequeñas como: Cuchuhaycu, Morasloma, Quillosisa entre otras. Las cuencas hidrográficas que corresponden al cantón Nabón son la cuenca del río Jubones que cubre la mayor parte del territorio cantonal y la cuenca del río Santiago con un menor porcentaje de aportación. Los habitantes de Nabón han realizado alrededor de 41 captaciones para agua potable del sistema hídrico anteriormente mencionado (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Nabón, 2014).

3.1.4 Población

Según datos del Censo realizado en 2010, Nabón cuenta con una población de 15 892 habitantes, la cual está distribuida el 92% en el área rural y 8% en el área urbana, cabe recalcar que tres de las cuatro parroquias del cantón están constituidas por población rural y solamente Nabón Centro está constituido por poblaciones rural y urbana. Nabón cuenta con un promedio de habitantes por familia equivalente a 3.83, y con respecto al censo realizado en 2001 hubo un crecimiento del 0.6% anual hasta 2010, lo cual representa un crecimiento relativamente bajo en comparación con la tasa de crecimiento a nivel de la provincia de Azuay (1.91%). Según estadísticas del INEC este crecimiento tendrá una tasa cada vez menor como

consecuencia de la migración (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Nabón, 2014).

3.1.5 Cobertura de agua potable

De acuerdo a datos recolectados durante el censo realizado en 2010, el 60% del agua a nivel cantonal proviene de la red pública, mientras el 40% restante se abastecen de agua por otros medios como pozos, ríos o vertientes, carros repartidores, etc. A nivel urbano el 98% de la conexión de agua se realiza por tubería, mientras en el caso del sector rural esta cifra se reduce al 83%. De acuerdo con el GADM de Nabón, la cobertura de agua en el sector urbano es del 100% a partir del año 2010, en cuanto a la zona rural se estima que el 97% cuenta con acceso al agua (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Nabón, 2014).

3.1.6 Consumo de agua potable

Con base en información proporcionada por el departamento de Agua Potable y Saneamiento del GADM de Nabón, la planta potabilizadora de “Jully” en conjunto con la planta “La Loma” abastecen de agua potable a un total de 984 usuarios domiciliarios y 26 usuarios municipales e industriales, distribuidos en 12 sectores del cantón. En el año 2022, entre enero y junio se obtuvo un promedio mensual del consumo de agua potable por parte de los usuarios domiciliarios de aproximadamente 17.31 m³, mientras el consumo en el caso de los usuarios municipales e industriales se encontró alrededor de 49.4 m³. Con estas cifras se determinó que el consumo doméstico de agua potable en la población de estudio se encuentra alrededor del 93.4%.

3.2 Tipo de estudio

Se trata de un estudio de tipo descriptivo que detalla y analiza las características operativas y técnicas de la planta de tratamiento de agua potable “La Loma” del cantón Nabón. La investigación es de carácter cuantitativo debido a que se toma como base los resultados numéricos de los análisis realizados del monitoreo de la calidad del agua en los diferentes puntos de la planta de tratamiento. El estudio es realizado en campo, puesto que se toman muestras y se realizan observaciones dentro de la misma área de estudio.

3.3 Recolección de datos

Para la obtención de información se realizó una investigación exhaustiva a través de libros, artículos, tesis, estudios, y normativas respecto a los procesos que se desarrollan en una planta de tratamiento de agua potable, que generó un conocimiento amplio sobre el tema.

El departamento de Agua Potable y Saneamiento del GAD Municipal de Nabón proporcionó los estudios realizados sobre el diseño y operación de la planta de tratamiento de agua potable “La Loma”, los resultados de los análisis realizados sobre la calidad del agua cruda y

tratada en la planta de tratamiento desde mediados del año 2018, el catastro de la red de distribución y los registros del consumo de agua potable por parte de la población.

Mediante varias visitas a la planta de tratamiento junto con un operador proporcionado por el departamento de Agua Potable y Saneamiento del GAD Municipal de Nabón, se ha levantado información sobre el estado actual de la planta de tratamiento por medio de la evaluación del estado físico y operativo de las estructuras y equipos que la componen. Se realizaron monitoreos de la calidad del agua cruda y tratada, y de la concentración del cloro residual a través de la red de distribución.

3.4 Definición de criterios de evaluación

3.4.1 Criterios de evaluación técnica

Para evaluar técnicamente la planta de tratamiento de agua potable “La Loma” se seleccionó ciertos aspectos útiles, para verificar el estado funcional de la planta y corroborar que se encuentre operando en condiciones adecuadas según fue diseñada, además de cumplir con las distintas normas ecuatorianas que regulan y controlan tanto el diseño como el servicio de los sistemas de agua potable. Los aspectos técnicos que fueron evaluados son los siguientes:

1. La calidad del agua bruta y la calidad del agua tratada.
2. El caudal que ingresa a la planta.
3. La concentración de cloro residual en la red de distribución.
4. El estado de las estructuras que componen cada unidad de tratamiento.
5. La correcta construcción de la planta con respecto a los estudios de diseño que fueron realizados.
6. El caudal que sale de cada unidad de tratamiento.
7. El diseño hidráulico de cada unidad de tratamiento.
8. La velocidad de filtración.
9. La composición del lecho filtrante.

3.4.2 Criterios de evaluación operativa

Para el desarrollo de la evaluación operativa de la PTAP “La Loma”, de igual manera se seleccionaron ciertos criterios, en base a actividades que desarrolla el personal a cargo de la planta.

1. Regulación y mantenimiento de válvulas en la PTAP “La Loma”.
2. Mantenimiento y limpieza de los prefiltros de grava gruesa y filtros lentos de arena.

3. Control de fugas y reparación de daños.
4. Drenaje y limpieza de cajones y vertederos.
5. Medición del caudal y dosificación de cloro (HTH).
6. Análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para determinar la calidad del agua en el ingreso de la planta, a la salida de los filtros lentos y en el reservorio.
7. Medición del cloro residual en el reservorio y en la red de distribución.
8. Verificación del funcionamiento de la red de distribución.
9. Condiciones de seguridad.

3.4.3 Criterios para la ampliación de la PTAP

Se pretende conocer la capacidad que requiere tener la PTAP “La Loma” con el fin de cubrir todo el abastecimiento de agua potable al centro cantonal de Nabón y sus alrededores, sin la necesidad de apoyarse de la planta de “Jully”. Para ello se identificó ciertos criterios básicos que se debe conocer, para realizar el diseño de una planta, entre ellos está:

1. El periodo de diseño.
2. La población futura.
3. El consumo de agua.
4. El caudal de diseño.
5. Las dimensiones y propiedades hidráulicas de cada unidad de tratamiento.
6. Área disponible.

3.5 Descripción de la planta de tratamiento

La PTAP “La Loma” consiste en una planta de filtración en múltiples etapas, la cual posee tres unidades básicas de tratamiento (prefiltración, filtración y cloración). Se abastece de 5 zonas de captación ubicadas en la quebrada de Aurin a una distancia de 14.71 km. Estas quebradas se encuentran distribuidas en 3 vertientes subterráneas y 2 vertientes consideradas superficiales debido a la distancia que recorren entre su afloramiento hasta los tanques recolectores. El agua captada pasa por un desarenador y es almacenada en dos reservorios, los cuales distribuyen el agua a la planta a través de un sistema de tuberías por gravedad (línea de conducción). El agua cruda antes de ingresar a la planta pasa por una cámara rompe presión y se dirige al cajón de aforo, donde se afora el agua y se distribuye en caudales iguales hacia dos prefiltros horizontales gruesos de grava. El agua tratada en los prefiltros es aforada y conducida a la siguiente unidad de tratamiento que consiste en 4 filtros

lentos de arena. De igual manera, el agua tratada en los filtros lentos es aforada y conducida hacia un tanque de cloración. Después que el agua es clorada se conduce hacia un tanque de almacenamiento de 100 m³, del cual se distribuye el agua potable por medio de la red de distribución hacia los diferentes sectores que abastece la planta ‘La Loma’. La red de distribución de la planta “La Loma” y la planta de “Jully” se encuentran conectadas, por lo cual se puede distribuir el agua potable a los mismos sectores, sin embargo; existen válvulas de control dentro de la red de distribución que se cierran o abren para que el agua sea distribuida a ciertos sectores específicos desde cada planta de tratamiento.

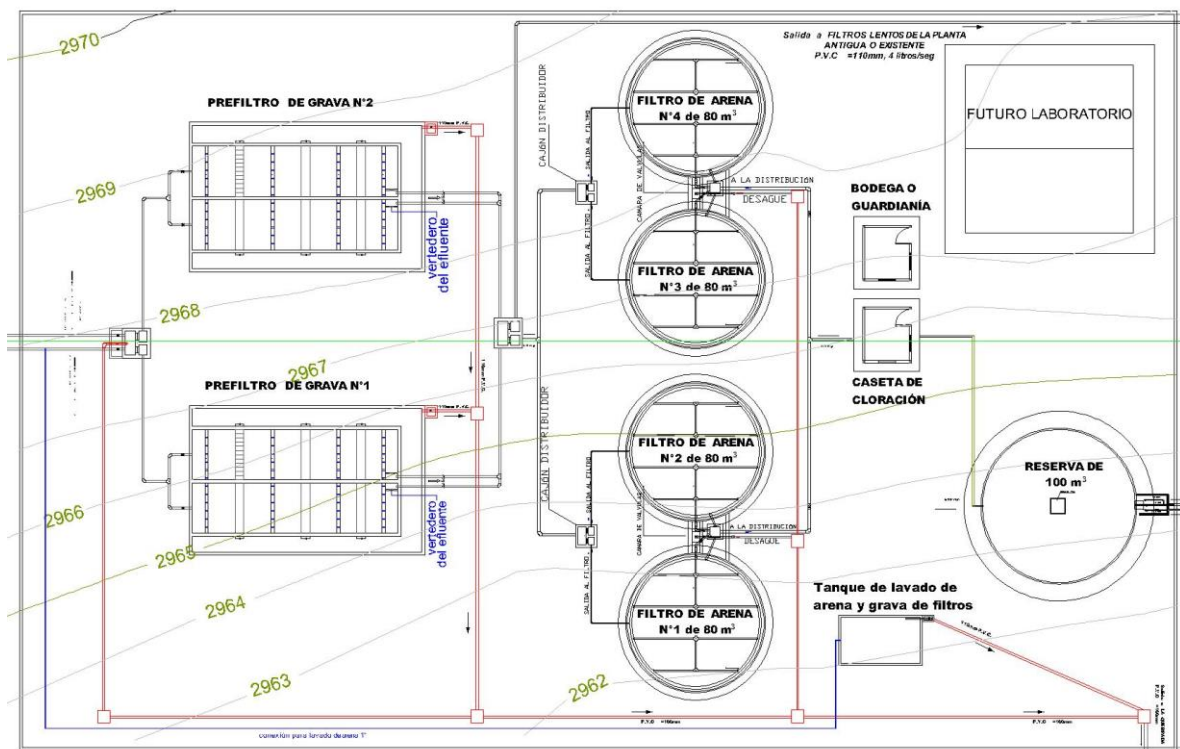


Figura 1. Plano de la planta de tratamiento.

Nota: Obtenido del Departamento de agua potable y saneamiento del GADM de Nabón.

3.5.1 Componentes técnicos

Según el estudio definitivo elaborado en 2009 por la Ing. Alicia Corrales y el Ing. José Vásquez sobre el diseño de la PTAP ‘La Loma’ en Nabón, cada unidad de tratamiento cuenta con las siguientes características:

3.5.1.1 Desarenador

El desarenador se encuentra ubicado luego de las zonas de captación en la cota 3401 m.s.n.m. y cuenta con las siguientes dimensiones para tratar un caudal de 10 L/s: Un cajón de hormigón de 0.8 m de alto, 1.8 m de ancho, 3.5 m de largo, y paredes con un espesor de

0.15 m. Tanto la tubería de aducción que proviene de la captación N°1 y N°2 como la tubería de aducción que proviene de la captación N°4 tienen un diámetro de 90 mm, pero al ingresar de forma frontal al cajón se reduce con una válvula de diámetro de 50 mm. El desarenador está diseñado con un vertedero de llegada, un baffle, una zona de sedimentación de lodos, un canal de recolección de lodos controlado por una válvula de salida, un vertedero de desfogue de exceso de caudal y un vertedero de cresta ancha a la salida de la zona de sedimentación.

3.5.1.2 Línea de conducción

El agua se transporta una distancia de 127.71 m desde la captación No. 1 a la captación No. 2, a través de una tubería PVC de 90 mm de diámetro, y mediante el mismo tipo de tubería se transporta una distancia de 435.47 m desde la captación No. 2 al tanque recolector. Desde la captación No. 3 a la captación No. 4 se recorre un tramo de 230 m por medio de una tubería PVC de 50 mm de diámetro, y por medio del mismo tipo de tubería se recorre desde la captación No. 4 al tanque recolector una distancia de 134 m. Desde el tanque recolector se transporta el agua hasta la planta, a través de dos líneas paralelas con una tubería de PVC de 110 mm.

3.5.1.3 Cajón de aforo

El cajón de aforo se diseñó para soportar un caudal de 10 L/s con un tiempo de retención de 2.15 minutos, mediante un volumen de 1.3 m^3 . Cuenta con las siguientes dimensiones: 1.2 m de longitud, 1.2 m de ancho y 0.9 m de altura. Para que el caudal que ingresa sea distribuido de manera correcta hacia los prefiltros se diseñó la construcción de dos vertederos triangulares de pared delgada ubicados a la misma altura, que cumplen las siguientes dimensiones: 1.1 m de longitud, 1 m de ancho y 0.6 m de altura. Al establecer un calado promedio de 14 cm de profundidad, se estableció que las paredes de los dos vertederos triangulares deberían tener un ancho y una altura de 30 cm.

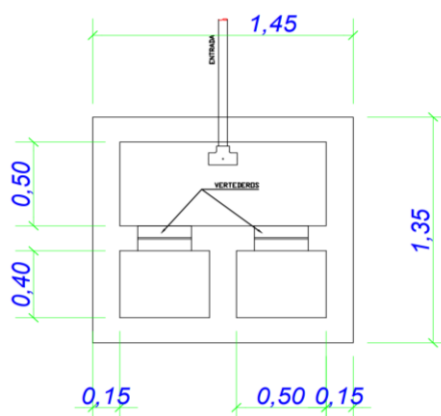


Figura 2. Plano del cajón de aforo.

Nota: Obtenido de Departamento de agua potable y saneamiento del GADM de Nabón.

3.5.1.4 Tuberías de conducción

Las tuberías que conducen el agua cruda desde cada vertedero del cajón de aforo hacia los prefiltros se diseñaron para conducir un caudal de 4.72 L/s cada una. Se estableció un diámetro de tubería de aducción de 90 mm, por lo cual se recomendó colocar tuberías de hierro galvanizado de 90 mm. Cada tubería debe contar con una válvula de HF de 80 mm que puedan detener el flujo de agua durante los mantenimientos.

3.5.1.5 Prefiltros Horizontales Gruesos

Se diseñó dos unidades de prefiltración divididas en 3 compartimentos capaces de tratar cada una un caudal correspondiente al 65% del caudal de diseño de la planta (10 L/s), es decir un caudal de 6.5 L/s. Los compartimentos están separados por paredes con perforaciones, que decrecen tanto en longitud como en tamaño de la grava y cuentan con las características presentes en la tabla 5.

Tabla 5. Características de los filtros gruesos de flujo horizontal.

Descripción	Valor
Capacidad de tratamiento 2 unidades (m ³ /h)	23.4
Velocidad considerada de filtración (m/h)	1.5
Área transversal (m ²)	15.6
Área transversal de cada compartimento (m ²)	5.2
Ancho del filtro (m)	5
Profundidad del filtro (m)	1.8

Longitud de los compartimentos (m)	8
Compartimento 1	2
Compartimento 2	3
Compartimento 3	3
Tamaño de grava (mm)	
Compartimento 1	15
Compartimento 2	10
Compartimento 3	5
Velocidad real de filtración (m/s)	1.3

Nota: Obtenido de Corrales & Vasquez, (2009).

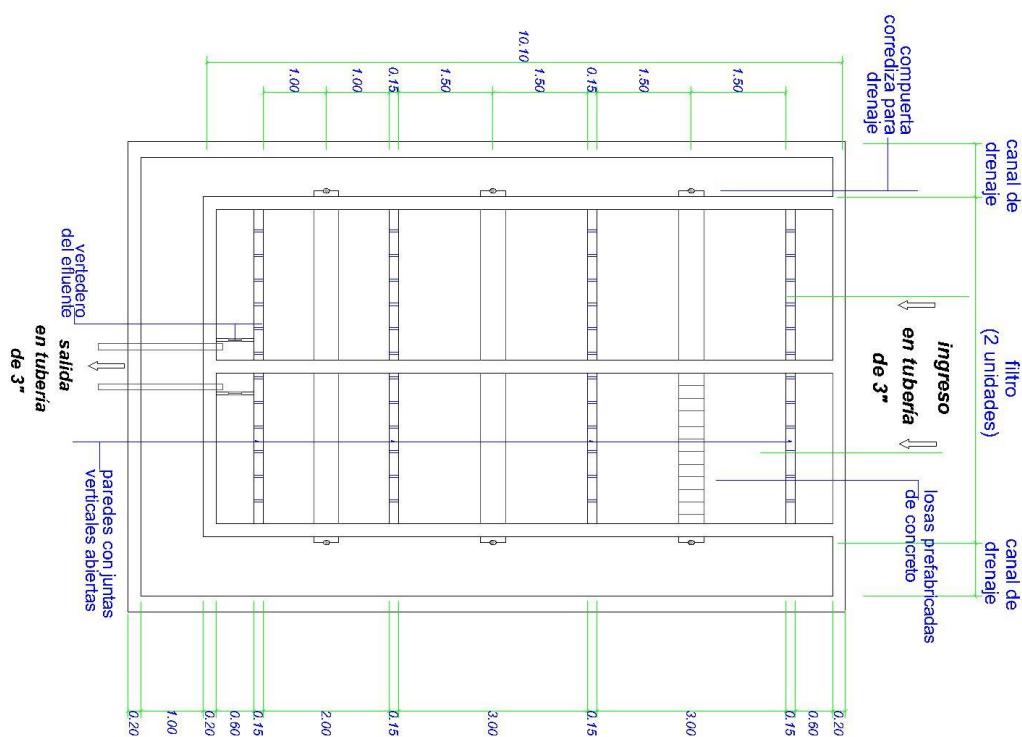


Figura 3. Plano del filtro grueso horizontal.

Nota: Obtenido del Departamento de agua potable y saneamiento del GADM de Nabón.

3.5.1.6 Filtros lentos

Se diseñaron cuatro unidades de filtración lenta capaces de tratar un caudal de 6 L/s, debido a que los 4 L/s restantes del caudal de diseño de la planta, serían distribuidos y tratados en

la planta de "Jully". Estos filtros consisten en un tanque cilíndrico de concreto, que contiene las características descritas en la tabla 6.

Tabla 6. Características de los filtros lentos de arena.

Descripción	Valor
Capacidad final de tratamiento 4 unidades (m ³ /h)	21.6
Velocidad de filtración (m/h)	0.21
Área requerida del lecho filtrante para cada unidad (m ²)	25.71
Diámetro del filtro (m)	5.7
Lecho soportante:	Diámetro (mm) - Espesor (cm)
Arena gruesa	(1 - 2) - 5
Gravilla fina	(2 - 5) - 5
Gravilla	(5 - 10) - 5
Grava	(10 - 25) - 15
Medio filtrante de arena (m)	0.7
Tamaño efectivo (mm)	0.15 – 0.45
Coefficiente de uniformidad	1.5 - 4
Carga de agua (m)	1
Altura de seguridad (m)	0.2
Altura total (m)	2.2
Pérdida de carga (m)	0.25

Nota: Obtenido de Corrales & Vázquez, (2009).

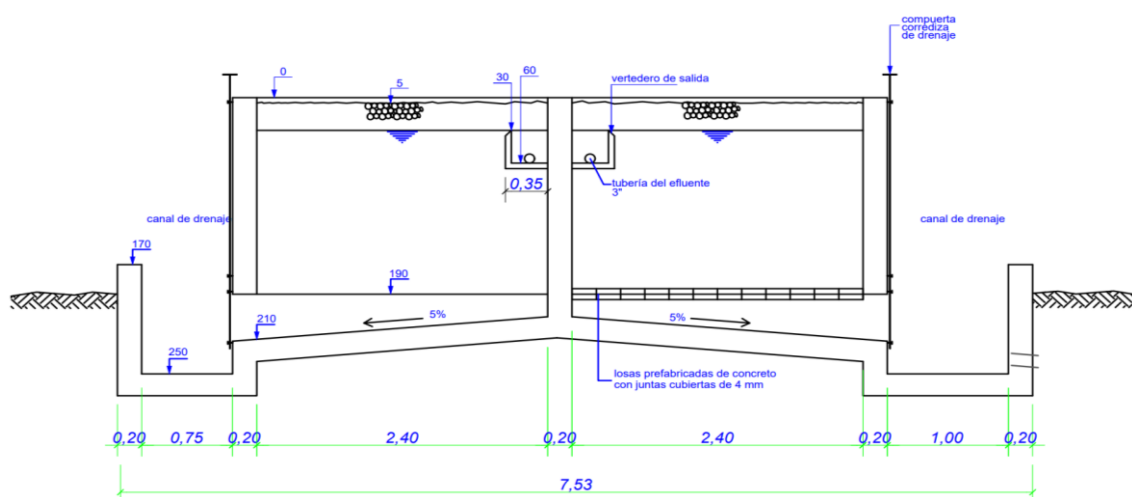


Figura 4. Plano del filtro lento.

Nota: Obtenido del Departamento de agua potable y saneamiento del GADM de Nabón.

A. Tuberías de recolección del filtro lento

Cada filtro cuenta con un sistema de tuberías que recolectan el agua tratada y la conduce hacia la unidad de desinfección. Al tratar un caudal de 6 L/s cada tubería debe ser capaz de conducir un caudal de 1.5 L/s, por tanto, fueron diseñadas con las siguientes dimensiones y características descritas en la tabla 7.

Tabla 7. Características del sistema de drenaje de los filtros lentos de arena.

Descripción	Valor
Tubería Principal	
Velocidad de entrada (m/s)	0.3
Área (m ²)	0.005
Diámetro de colector (m)	0.8
Diámetro comercial adoptado (mm)	90
Laterales	
Longitud del lateral (m)	5
Número de laterales	5
Caudal por lateral (m ³ /s)	0.000375
Velocidad de entrada (m/s)	0.3
Sección de laterales (m ²)	0.00125

Diámetro de colector (m)	0.04
Diámetro comercial adoptado (mm)	40
Orificios	
Diámetro de orificios (m)	0.012
Área de orificio (m ²)	1.13094 E-05
Velocidad de filtración (m/s)	0.3
Caudal por orificio (m ³ /s)	3.39282E-06
Número de orificios necesarios	111
Separación entre orificios (cm)	12
Filas	2

Nota: Obtenido de Corrales & Vázquez, (2009).

3.5.1.7 Unidad de desinfección

En el diseño de la planta se recomendó la construcción de una caseta de cloración ventilada, en la cual se desarrolle un proceso de desinfección mediante la dosificación de cloro gas al vacío. La unidad de desinfección debe poseer un tanque de contacto y un equipo productor de cloro, además de contar con equipos de protección para detectar escapes de gas y repararlos con el menor riesgo posible. La concentración de hipoclorito de calcio es de 70%, por tanto, al tener un caudal de 6 L/s, los autores recomiendan la adición diaria de 740 g de hipoclorito de calcio. Mientras que la concentración de cloro gas al ser de 100%, recomiendan una adición diaria de 518 g de cloro gas. Se propuso la construcción de un tanque de contacto que garantice la mezcla adecuada entre el cloro gas y el agua filtrada, que tenga un tiempo de retención de 5 minutos y un volumen de 1.8 m³.

3.6.1.8 Reserva de agua potable

El tanque de almacenamiento que fue construido en la planta “La Loma” se diseñó para una población futura de 2929 habitantes, proyección que fue realizada hasta el año 2029, por tanto, se estableció un volumen de reserva de agua de 200 m³. Sin embargo, al contar en la planta de Jully con un almacenamiento total de agua potable de 100 m³, se propuso la construcción de otro tanque almacenamiento de 100 m³ de ferrocemento para la planta “La Loma”, que tenga un diámetro de 7.3 m y una altura de 2.5 m.

3.5.1.9 Red de distribución

Se diseñó la red de distribución con base al consumo máximo horario por parte de la población calculado para el final del periodo de diseño (15.2 L/s), la topografía del lugar, y la distribución de la población. Por tanto, se dividió en tres subsistemas, con el fin de mantener una presión superior a 10 mca e inferior a 50 mca en todos los puntos servidos. Se estableció que cada subsistema parta de un tanque rompe presión ubicado en el sector de la planta de Jully, y estén conformados por tuberías de PVC de 110 mm, 90 mm, 63 mm y 32 mm de 1 MPa. En la red de distribución de cada subsistema se recomendó la colocación bocas de fuego, válvulas de control y válvulas rompe presión colocadas estratégicamente. El subsistema 1 abastece a sectores de la zona central de Nabón como el cementerio, el coliseo, el colegio, Charcay, y Sabinta. El subsistema 2 abastece a otra parte de la zona central de Nabón como el parque central, el subcentro de salud, Guanglula, y la entrada principal al centro cantonal. El subsistema 3 abastece a la zona periférica del centro cantonal de Nabón como son los sectores de Rosas, Totoracocha, La Playa, Tamboloma, Zhamanga, y Siguir,

3.5.2 Componentes Operativos

3.5.2.1 Personal Operativo

El departamento de agua potable y saneamiento del GADM de Nabón cuenta con 3 operadores del sistema de agua potable, que trabajan por turnos y rotan cada mes, en la tabla 8 se puede observar los horarios y actividades que cumplen cada operador.

Tabla 8. *Turnos y actividades de los operadores de la PTAP “La Loma”.*

Turno	Horario	Actividad
1	Lunes – viernes 5 a.m. – 7 a.m.	Inspección de la planta de tratamiento.
		Medición del caudal.
		Regulación de válvulas.
		Cloración.
	Lunes – viernes 8 a.m. – 12 p.m.	Inspección red de la distribución.
		Reparación de daños.
		Limpieza de filtros
		Mantenimiento de los sistemas de captación.
		Inspección de la planta de tratamiento.
Lunes – viernes 6 p.m. – 8 p.m.	Regulación de válvulas.	
	2	Inspección de la planta de tratamiento.
		Sábados – domingos 5 a.m. – 7 a.m.
Regulación de válvulas.		

		Cloración.
		Inspección de la red de distribución.
	Sábados – domingos 8 a.m. – 10 a.m.	Reparación de daños.
		Limpieza de filtros.
	Sábados – domingos 6 p.m. – 8 p.m.	Inspección de la planta de tratamiento.
		Regulación de válvulas.
		Lectura de medidores.
		Instalación de nuevos derechos de agua.
		Cortes de agua.
3	Lunes – viernes 8 a.m. – 4 p.m.	Reconexiones.
		Instalación de tuberías.
		Inspección de la red de distribución.
		Reparación de daños.

Nota: Elaborado por los Autores.

3.6 Monitoreo de la calidad del agua en la planta

A través del monitoreo continuo de la calidad del agua es posible conocer el cumplimiento con la normativa nacional vigente respecto a los requisitos del agua potable, además conocer la variabilidad temporal y espacial de determinados parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Para efecto del estudio, se tomaron 5 muestras en tres diferentes puntos de la planta de tratamiento (vertedero de entrada a la planta, vertedero de salida de los filtros lentos y reservorio) con una frecuencia de 20 días entre cada una. Los parámetros que fueron analizados se describen en la tabla 9.

Tabla 9. *Parámetros físicos, químicos y microbiológicos.*

Químicos	Físicos	Microbiológicos
Color	pH	Coliformes totales
Turbidez	TDS	Coliformes fecales (E. Coli)
Conductividad	Nitratos	
	Nitritos	
	Fluoruros	
	Sulfatos	
	Fósforo	

Hierro
Manganeso
Alcalinidad Total
Dureza Total
Dureza Cálcica
Dureza Magnésica

Nota: Elaborado por los Autores.

3.6.1 Descripción del método y materiales empleados para la toma de muestras

Para elaborar el programa de muestreo se siguieron los lineamientos descritos en la Norma NTE INEN 2226 Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras, que contempla una serie de aspectos a tomar en cuenta para realizar el monitoreo de la calidad del agua en plantas potabilizadoras con la finalidad de obtener resultados confiables al momento de ser analizadas en laboratorio (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013b). Por otro lado, para ejecutar los monitoreos se apoyó de otras normas complementarias como la norma INEN 2169, en la cual se estipulan las técnicas que se deben seguir para conservar y transportar todo tipo de muestras de agua incluyendo aquellas para análisis biológicos (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013a). Finalmente, se tomó en cuenta la norma INEN 1105 para fijar criterios generales que deben ser abordados al momento de recolectar, almacenar, transportar y preparar las muestras de agua para el análisis microbiológico (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012).

3.6.2 Descripción del método empleado para el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

3.6.2.1 Análisis de los parámetros físicos y químicos

Los parámetros fisicoquímicos aportan información sustancial sobre la naturaleza de las especies químicas y las propiedades físicas del agua, de esta manera permite evaluar la calidad del agua y abastecer a la población agua segura para su consumo (Samboni et al., 2007). A continuación, se detalla en las tablas 10 y 11 los métodos empleados para analizar los parámetros físicos y químicos respectivamente.

Tabla 10. *Métodos para el análisis de los parámetros físicos.*

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES
Color	HACH 8025	UCA (Pt-Co)
Turbidez	NEFELOMETRICO	NTU
pH	ELECTROMETRICO	---
TDS	ELECTROMETRICO	mg/L
Conductividad	ELECTROMETRICO	μS/cm
Temperatura	ELECTROMETRICO	°C

Nota: Elaborado por los Autores.

Tabla 11. *Métodos para el análisis de los parámetros químicos.*

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES
Nitratos	HACH 8039	mg/L NO ₃ ⁻
Nitritos	HACH 8507	mg/L NO ₂ ⁻
Fluoruros	HACH 8029	mg/L F ⁻
Sulfatos	HACH 8051	mg/L SO ₄ ⁼
Fósforo	HACH 8048	mg/L PO ₄ ³⁻
Hierro	HACH 8008	mg/L Fe ³⁺
Manganeso	HACH 8149	mg/L Mn
Alcalinidad Total	HACH 8203	mg/L CaCO ₃
Dureza Total	HACH 8226	mg/L CaCO ₃
Dureza Cálcica	HACH 8222	mg/L CaCO ₃
Dureza Magnésica	---	mg/L CaCO ₃

Nota: Elaborado por los Autores.

3.6.2.2 Análisis de los parámetros microbiológicos

El análisis microbiológico se realizó en el laboratorio del departamento de Agua Potable y Saneamiento del GADM de Nabón, utilizando el método HACH 10029, en el cual se parte de la utilización del caldo m-ColiBlue24 que es el único medio que detecta los coliformes totales y el *Escherichia coli* dentro de las 24 horas. Las colonias de color azul representan a la

Escherichia coli, mientras que las colonias rojas y azules representan los coliformes totales (HACH COMPANY, 2000). Los métodos utilizados para el análisis de las muestras de los parámetros microbiológicos se pueden observar en la tabla 12.

Tabla 12. *Métodos para el análisis de los parámetros microbiológicos.*

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES
Coliformes Totales	HACH 10029	UFC/100ml
<i>Escherichia coli</i>	HACH 10029	UFC/100ml

Nota: Elaborado por los Autores.

3.6.3 Análisis estadístico de los datos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos

A partir de los datos proporcionados por el GADM de Nabón y los datos registrados en campo, se realizó una base de datos propia para analizar la concentración de los distintos parámetros del agua que son tratados en la planta. Se realizó un resumen de los resultados a través del análisis estadístico de la base de datos, que incluye valores máximos, mínimos, media, desviación estándar y percentil 75 y 95. Finalmente se realizaron gráficos de series de tiempo para estudiar el comportamiento de las variables.

3.7 Monitoreo del cloro residual en la red de distribución

El cloro libre residual debe determinarse en sitios estratégicos que puedan representar la evolución de este compuesto a través de la red de distribución, con el fin de garantizar que el proceso de cloración actúe de forma correcta (Tinoco, 2019).

Para el análisis del cloro libre residual se siguió los criterios propuestos por la Organización Panamericana de la Salud y la Organización Mundial de la Salud que ofrecen una guía técnica sobre dónde y cuándo analizar el cloro residual en la red de distribución, para verificar que exista una correcta protección del agua ante microorganismos infecciosos dentro de ella, además describe un método adecuado y estandarizado para determinar su concentración (Organización Panamericana de la Salud & Organización Mundial de la Salud, 2009).

Para efecto del estudio se analizó el cloro libre residual en 10 puntos correspondientes a uno por cada sector al cual la planta “La Loma” distribuye agua potable. Se realizaron 5 monitoreos de cloro residual en la red de distribución con intervalo de 8 días entre cada uno. Los monitoreos fueron efectuados en 3 mediciones al día, a diferentes horas. La primera medición inició a las 9 a.m., posteriormente la segunda medición a las 12 p.m. y finalmente a las 3 p.m. Los puntos donde se monitoreo la concentración de cloro residual se pueden observar en la figura 5.

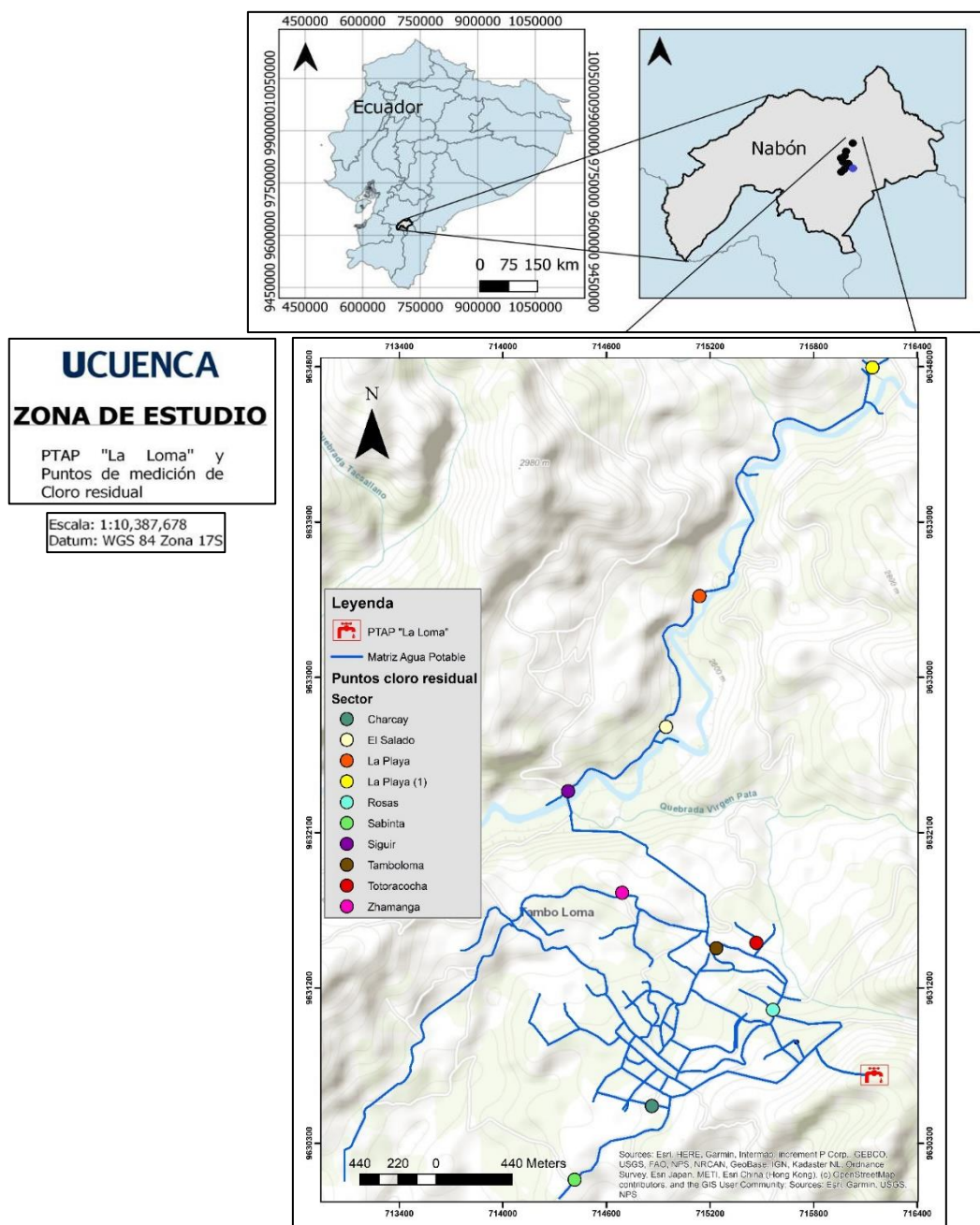


Figura 5. Mapa ubicación de la PTAP “La Loma” y los puntos de medición de cloro residual.

Nota: Elaborado por los autores.

3.7.1 Descripción del método y materiales empleados para la medición del cloro libre residual

El cloro libre residual se midió in situ como se describe en la norma INEN 977, utilizando el método 8021 del equipo marca HACH. La norma INEN 977 describe el método DPD - Ferroso para determinar el cloro libre por titulación y el cloro combinado por estimación (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1984). El equipo utilizado proporciona el resultado de la medición en mg/L (Cl₂) de cloro libre residual. Los sectores a los cuales abastece actualmente

la PTAP “La Loma” y, por tanto, se midió la concentración del cloro libre residual se describen en el anexo F.

3.7.2 Análisis estadístico de los datos del cloro residual

Por medio de la campaña de monitoreos del cloro libre residual, se pudo elaborar una base de datos con los resultados de las mediciones que fueron efectuadas. Esta base de datos fue de gran utilidad para ser analizada a través de programas estadísticos como Rstudio, en el cual se pudo obtener valores máximos, mínimos, la media y la desviación estándar, y gráficos como diagramas de dispersión.

3.8 Monitoreo de los caudales

Para registrar el caudal que se trata en la planta potabilizadora “La Loma”, se midió el caudal que ingresó a través del cajón de aforo durante los monitoreos realizados de la calidad del agua. También se recopiló información registrada por los operadores de la planta sobre las mediciones del caudal que han realizado desde mediados del año 2018.

3.8.1 Descripción del método para medir el caudal

Para aforar el caudal que ingresaba a la planta se utilizó el método volumétrico, el cual es comúnmente utilizado para vertientes pequeñas, convirtiéndose en un método más exacto al utilizar un recipiente con un volumen más grande (Alvarado, 2017). Para aplicar este método se utilizó un balde de 10 L y se cronometró 5 veces el tiempo que tardaba en llenarse para posteriormente calcular un promedio.

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

Ecuación 1

Donde:

Q: es el caudal expresado en L/s.

V: es el volumen del recipiente en L.

T: es el tiempo que tarda en llenarse el recipiente en s.

3.8.2 Análisis estadístico de los datos del caudal

Los datos obtenidos de la campaña de monitoreo y los proporcionados por el GAD municipal de Nabón, fueron indispensables para estructurar reportes de estadística descriptiva y exploratoria con software libre RStudio. Se obtuvo el valor máximo, mínimo, la media y desviación estándar de la serie de datos. Además, se calculó el promedio mensual y anual

del caudal que ingresa a la planta de tratamiento. Por último, se elaboró una gráfica de dispersión de datos en la cual se refleja la variación del caudal en las distintas mediciones que fueron realizadas.

3.9 Identificación de la pérdida de caudal en la planta

Para identificar la pérdida de caudal se procedió a medir y a comparar el caudal en 3 puntos. El primer punto donde se midió el caudal corresponde al cajón de aforo por donde ingresa el agua cruda a la planta. El segundo punto corresponde a la salida de los prefiltros y el último punto a la salida de los filtros lentos. Se escogió estos tres puntos para medir el caudal debido a que existen 2 vertederos triangulares de pared delgada con un ángulo de apertura de 90° en cada uno de ellos. De esta manera, se pudo utilizar la ecuación establecida por Alvarado, (2017) para calcular el caudal a través de vertederos triangulares.

$$Q = 1.4 \times H^{\frac{5}{2}}$$

Ecuación 2

Donde:

Q: es el caudal que fluye por el vertedero en m³/s.

H: es la carga del vertedero en m. La carga del vertedero es la altura que existe entre la cresta del vertedero y el borde de la superficie del agua.

Para medir la carga en cada uno de los vertederos, se colocó a una distancia de 3H y una profundidad igual al vértice de la lámina del vertedero una regleta de aluminio. De esta manera, la medición es más precisa al no verse afectada por la curva que se forma debido a la caída del agua a través del vertedero.

Para determinar el porcentaje de pérdida de caudal en los prefiltros, se hizo una relación entre el caudal que ingresó a la planta por el cajón de aforo y la suma de los caudales que salieron por cada uno de los vertederos de los prefiltros. De igual manera, se determinó el porcentaje de pérdida de caudal en los filtros lentos haciendo una relación entre el caudal total que salió de los prefiltros y la suma de los caudales que salieron por cada uno de los vertederos de los filtros lentos. Para que esta medición sea correcta, se suspendió la distribución de agua a la planta de "Jully", por tanto, todo el agua tratada en los prefiltros se dirigía a los filtros lentos presentes en la PTAP "La Loma".

3.10 Determinación del déficit de agua captada

Se realiza la determinación del déficit de agua captado en la planta con el objetivo de conocer el porcentaje de agua que hace falta durante los meses de estiaje para que la planta opere bajo la capacidad que esta diseñada y pueda abastecer a toda la población que le compete

actualmente y en un futuro. Para ello, se analizó los registros históricos del caudal que ha ingresado diariamente a la PTAP “La Loma” desde mediados del año 2018 hasta mediados del año 2022 con el objetivo de encontrar el mes del año en el cual ingresa un menor caudal y obtener un valor promedio de este mes en el periodo analizado. Para el cálculo del déficit se propuso las siguientes ecuaciones.

$$Dfa = \frac{Qda - Qprom}{Qda} \times 100\%$$

Ecuación 3

Donde:

Dfa: es el déficit de agua captada para el caudal de diseño de la planta en %.

Qda: es el caudal de diseño de la planta en L/s.

Qprom: es el caudal promedio del mes con menor ingreso de agua en L/s.

$$Dfp = \frac{Qdp - Qprom}{Qdp} \times 100\%$$

Ecuación 4

Donde:

Dfp: es el déficit de agua captada para caudal de diseño proyectado para la repotenciación de la planta en %.

Qdp: es el caudal de diseño proyectado para la repotenciación de la planta en L/s.

Qprom: es el caudal promedio del mes con menor ingreso de agua en L/s.

3.11 Determinación de la eficiencia de las unidades de tratamiento

Se evaluó la operación de la PTAP “La Loma” mediante el cálculo de la eficiencia de los procesos de filtración y la cloración, para remover los distintos parámetros del agua que fueron analizados. Para ello se utilizó la siguiente ecuación planteada por Martínez Orjuela et al., (2020).

$$Ef = \frac{\text{Concentración Xi} - \text{Concentración Xs}}{\text{Concentración Xi}} \times 100\%$$

Ecuación 5

Donde:

Ef: es la eficiencia de remoción del parámetro X en %.

Concentración Xi: es la concentración del parámetro X antes del tratamiento en mg/L.

Concentración Xs: es la concentración del parámetro X después del tratamiento mg/L.

Los resultados fueron representados a través de diagramas de columnas agrupadas, las cuales fueron realizadas en el software Excel.

3.12 Determinación de la velocidad de filtración en los filtros lentos

Se determinó la velocidad de filtración en los filtros lentos con el propósito de comprobar que se esté cumpliendo lo establecido en la norma CPE INEN 009-5-1, la cual establece que los filtros lentos deben operar con una tasa de filtración entre 0.1 m/h y 0.2 m/h, además esto nos ayuda a conocer si los filtros se encuentran saturados. Para obtener la velocidad de filtración de cada uno de los filtros lentos que operan en la planta, se realizó una sencilla prueba que consiste en llenar hasta cierta altura los filtros, luego por medio de un flexómetro medir la altura que existe entre la superficie de arena y la superficie de agua, finalmente cerrar la válvula que permite el paso de agua de los prefiltros a los filtros y medir el nivel de agua que descendió durante una hora. La velocidad de filtración se obtuvo por medio de la siguiente ecuación planteada por Organización Panamericana de la Salud, (2005).

$$V_f = h / t$$

Ecuación 6

Donde:

Vf: es la velocidad de filtración en m/h.

h: es la altura que desciende el nivel de agua durante la filtración en m.

t: es el tiempo que tarda en descender cierto nivel de agua durante la filtración en h.

Los resultados fueron representados a través de diagramas de barras elaborados en el software Excel.

3.13 Determinación de la composición del lecho filtrante

Se determinó la composición de la arena presente en los filtros lentos con el fin de comprobar que se cumpla con los criterios establecidos en la norma CPE INEN 009-5-1 y se encuentre en condiciones adecuadas para filtrar correctamente el agua tratada en la planta. La metodología aplicada para determinar el tamaño de las diferentes partículas que componen el lecho filtrante de arena se realizó por medio de un ensayo de análisis granulométrico por tamizado, para ello se tomó dos muestras representativas de arena correspondientes a los filtros 2 y 4, posteriormente se procedió a secar las muestras en un horno y luego ser pesadas con una balanza previamente calibrada. El proceso para realizar el ensayo granulométrico

consiste en que cada muestra pase por una serie de tamices que van desde 4 mm hasta tamices más finos de 0.063 mm, esta columna de tamices se somete a movimientos vibratorios para que la muestra descienda y se ajuste al tamiz proporcional a su tamaño, posteriormente se retiran los tamices y se toma por separado el peso del material retenido en cada uno (Corral, 2012), finalmente se realizó una tabla granulométrica para determinar el coeficiente de uniformidad y la gráfica de su curva granulométrica.

Tabla 13. *Tamices y diámetros correspondientes.*

N° Tamiz	Diámetro (mm)
5	4
10	2
18	1
25	0.71
35	0.50
60	0.250
120	0.125
230	0.063

Nota: Elaborado por los autores.

Para obtener el coeficiente de uniformidad de las muestras de arena que fueron tomadas de los filtros se utilizó la siguiente ecuación planteada por Corral, (2012).

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Ecuación 7

Donde:

Cu: es el coeficiente de uniformidad de la muestra de arena.

D60: es el porcentaje del peso que pasa inferior al 60%.

D10: es el porcentaje del peso que pasa inferior al 10%.

3.14 Evaluación del dimensionamiento real de la PTAP “La Loma” con respecto a su estudio de diseño.

Para verificar que la planta de tratamiento haya sido construida acorde a los planos y la memoria técnica de la misma, se midió las dimensiones de cada unidad de tratamiento y se

comparó con lo establecido en dichos documentos, representando a través de tablas las diferencias que existen.

3.15 Bases para el diseño de la repotenciación de la PTAP “La Loma”

A continuación, se describen algunos de los parámetros más importantes que deben ser tomados en cuenta al momento de diseñar una planta potabilizadora, esto con el objeto de tener una base que sirva a futuro en caso de que la PTAP “La Loma” requiera de una repotenciación, debido a la suspensión de la operación de la planta de “Jully” y el incremento de la población de la zona de estudio.

3.15.1 Periodo de diseño

Para el caso de estudio se eligió un periodo de diseño de 20 años con base en la literatura de otros estudios realizados sobre el diseño de plantas de tratamiento de agua potable en Ecuador y en la vida útil de los elementos de un sistema de agua potable como se describe en el “Código Ecuatoriano De La Construcción De Parte IX Obras Sanitarias” C0 10.07 – 601 (Secretaria Nacional del Agua, 2016).

3.15.2 Población futura

Con el fin de conocer el caudal de diseño que requerirá la planta de tratamiento, se estima la población al final del periodo de diseño, esto quiere decir durante toda la vida útil de la planta. Para ello se aplican tres métodos estadísticos en base a ecuaciones que han sido planteadas en el Código Ecuatoriano De La Construcción De Parte IX Obras Sanitarias” C0 10.07 – 601 establecido por la SENAGUA (Secretaria Nacional del Agua). Se debe seleccionar el método que más se ajuste al crecimiento histórico de la población de estudio.

Se obtuvo la población actual a la cual abastece de agua potable el GADM de Nabón por medio de información que fue entregada por esta misma entidad y se puede apreciar en el anexo 11. Se partió del número de usuarios domiciliarios (984) y del promedio de habitantes por familia (3.83), de esta manera se obtuvo una población equivalente a 3769 habitantes. Para proyectar la población futura se considera una tasa de crecimiento del 0.6% anual como se menciona en el PDOT de Nabón.

A. Método aritmético

El método aritmético utiliza una ecuación lineal, que supone un crecimiento constante de la población, es decir que cada año aumenta en igual proporción el número de habitantes. Este método es comúnmente utilizado para localidades pequeñas que presentan un desarrollo casi nulo.

$$Pf = Po (1 + (r \times t))$$

$$Pf = 3769 \text{ hab } (1 + (0.006 \times 20))$$

$$Pf = 4221 \text{ hab}$$

Ecuación 8

Donde:

Pf: es el número de habitantes al final del periodo de diseño.

Po: es el número de habitantes al inicio del periodo de diseño.

r: es la tasa de crecimiento de la población.

t: es el número de años del periodo de diseño.

B. Método geométrico

Al igual que el método aritmético, el método geométrico supone un crecimiento de la población bajo una tasa constante, sin embargo, en este caso el número de habitantes incrementa en forma creciente. Este método es comúnmente utilizado para poblaciones que aún no han alcanzado su desarrollo.

$$Pf = Po (1 + r)^t$$

$$Pf = 3679 \text{ hab } (1 + 0.006)^{20}$$

$$Pf = 4248 \text{ hab}$$

Ecuación 9

Donde:

Pf: es el número de habitantes al final del periodo de diseño.

Po: es el número de habitantes al inicio del periodo de diseño.

r: es la tasa de crecimiento de la población.

t: es el número de años del periodo de diseño.

C. Método Wappaus

El método Wappaus aplica una ecuación en función del periodo de diseño de la planta de tratamiento y la tasa de crecimiento anual que presenta la población en estudio. Generalmente se aplica para poblaciones pequeñas de hasta 5000 habitantes y poblaciones grandes de hasta 10000 habitantes.

$$Pf = Po \left(\frac{200 + (i \times t)}{200 - (i \times t)} \right)$$

$$Pf = 3769 \text{ hab} \left(\frac{200 + (0.006 \times 20)}{200 - (0.006 \times 20)} \right)$$

$$Pf = 3773 \text{ hab}$$

Ecuación 10

Donde:

Pf: es el número de habitantes al final del periodo de diseño.

Po: es el número de habitantes al inicio del periodo de diseño.

i: es la tasa de crecimiento de la población.

t: es el número de años del periodo de diseño.

3.15.3 Dotación Futura

Para calcular el caudal de diseño de la planta de tratamiento es necesario conocer el consumo futuro de agua potable por parte de la población a la cual se abastecerá y los coeficientes de variación. Para ello se utilizan las ecuaciones propuestas en el “Código Ecuatoriano De La Construcción De Parte IX Obras Sanitarias” C0 10.07 – 601.

Para el cálculo de la dotación futura se seleccionó la población obtenida a través del método geométrico, debido a que este método se ajusta mejor al crecimiento histórico de la población de Nabón.

Para seleccionar la dotación media futura, se debe tener una idea de la cultura de consumo de agua por parte de la población de estudio, y así seleccionar el valor de la tabla 14 que mejor se ajuste a la zona de estudio.

Tabla 14. Dotaciones Recomendadas.

Población (Habitantes)	Clima	Dotación Media Futura (L/Hab/Dia)
Hasta 5000	Frío	120 - 150
	Templado	130 - 160
	Cálido	170 - 200
Entre 5000 a 50000	Frío	180 - 200
	Templado	190 - 220
	Cálido	200 - 230

Más de 50000	Frío	> 200
	Templado	> 220
	Cálido	> 230

Nota: Obtenido de Secretaria Nacional del Agua, (2016).

A. Consumo medio diario

$$Q_{med} = q \times \frac{N}{1000 \times 86400}$$

$$Q_{med} = \frac{150 \frac{L}{hab}}{día} \times \frac{4221 \text{ hab}}{1000 \frac{L}{m^3} \times 86400 \frac{s}{día}}$$

$$Q_{med} = 0.00733 \frac{m^3}{s}$$

Ecuación 11

Donde:

Q_{med} : es el consumo medio diario en m^3/s .

q : es la dotación en $L/hab/día$ tomada de la tabla 18.

N : es el número de habitantes al final del periodo de diseño.

B. Consumo máximo diario

$$Q_{max. \text{ día}} = K_{max. \text{ día}} \times Q_{med}$$

$$Q_{max. \text{ día}} = 1.4 \times 0.00733 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{max. \text{ día}} = 0.01026 \frac{m^3}{s}$$

Ecuación 12

Donde:

$Q_{max. \text{ día}}$: es el consumo máximo diario en m^3/s .

Q_{med} : es el consumo medio diario en m^3/s .

$K_{max. \text{ día}}$: es el coeficiente de variación del consumo máximo diario que por recomendación del "Código Ecuatoriano De La Construcción De Parte IX Obras Sanitarias" C0 10.07 – 601 se debe utilizar un valor entre 1.3 y 1.5.

C. Consumo máximo horario

$$Q_{\text{max. hor}} = K_{\text{max. hor}} \times Q_{\text{med}}$$

$$Q_{\text{max. hor}} = 2.1 \times 0.00733 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{\text{max. hor}} = 0.01539 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ecuación 13

Donde:

$Q_{\text{max. hor}}$: es el consumo máximo horario en m^3/s .

Q_{med} : es el consumo medio diario en m^3/s .

$K_{\text{max. hor}}$: es el coeficiente de variación del consumo máximo horario que por recomendación “Código Ecuatoriano De La Construcción De Parte IX Obras Sanitarias” C0 10.07 – 601 se debe utilizar un valor entre 2 y 2.3.

3.15.4 Caudales de diseño

Con base en la dotación futura proyectada para la zona de estudio, se utiliza las ecuaciones planteadas en el “Código Ecuatoriano De La Construcción De Parte IX Obras Sanitarias” C0 10.07 – 601, para el cálculo de los caudales de diseños requeridos por parte del sistema de agua potable.

El caudal de diseño de la planta es la base para realizar el resto de cálculos necesarios para dimensionar cada unidad de tratamiento.

A. Caudal de diseño de la PTAP

$$Q_d = Q_{\text{max. día}} + (10\% Q_{\text{max. día}})$$

$$Q_d = 0.01026 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + (0.1 \times 0.01026 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})$$

$$Q_d = 0.01129 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ecuación 14

Donde:

Q_d : es el caudal de diseño de la planta en m^3/s .

$Q_{\text{max. día}}$: es el consumo máximo diario que se tendrá al final del periodo de diseño en m^3/s .

B. Caudal de la red de distribución

$$QRd = Q_{\text{max. hor}} + Di$$

$$QRd = 0.01539 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + 0$$

$$QRd = 0.01539 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ecuación 15

Donde:

QRd: es el caudal de la red de distribución en m³/s.

Q_{max.hor}: es el consumo máximo horario que se tendrá al final del periodo de diseño en m³/s.

Di: es la dotación contra incendios, debido a que el número de habitantes de la población de estudio es inferior a 5000 se considera un valor igual a 0.

C. Caudal de captación de aguas superficiales

$$QCsp = Q_{\text{max. día}} + (20\% Q_{\text{max. día}})$$

$$QCsp = 0.01026 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + (0.2 \times 0.01026 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})$$

$$0.01231 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ecuación 16

Donde:

QCsp: es el caudal de captación de aguas superficiales en m³/s.

Q_{max.día}: es el consumo máximo diario que se tendrá al final del periodo de diseño en m³/s.

D. Caudal de captación de aguas subterráneas

$$QCsb = Q_{\text{max. día}} + (5\% Q_{\text{max. día}})$$

$$QCsb = 0.01026 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + (0.05 \times 0.01026 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})$$

$$QCsb = 0.01077 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ecuación 17

Donde:

QCsb: es el caudal de captación de aguas subterráneas en m³/s.

Qmax.día: es el consumo máximo diario que se tendrá al final del periodo de diseño en m³/s.

E. Caudal de conducción de aguas superficiales

$$QDsp = Q_{\text{max. día}} + (10\% Q_{\text{max. día}})$$

$$QDsp = 0.01026 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + (0.1 \times 0.01026 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})$$

$$QCsb = 0.01129 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ecuación 18

Donde:

QDsp: es el caudal de conducción de aguas superficiales en m³/s.

Qmax.día: es el consumo máximo diario que se tendrá al final del periodo de diseño en m³/s.

F. Caudal de conducción de aguas subterráneas

$$QDsb = Q_{\text{max. día}} + (5\% Q_{\text{max. día}})$$

$$QDsb = 0.01026 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + (0.05 \times 0.01026 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})$$

$$QCsb = 0.01077 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ecuación 19

Donde:

QDsb: es el caudal de conducción de aguas subterráneas en m³/s.

Qmax.día: es el consumo máximo diario que se tendrá al final del periodo de diseño en m³/s.

Al realizar el cálculo de estos caudales sólo se considera el consumo doméstico de agua, es por ello que es necesario conocer el consumo industrial, comercial y municipal al cual también se destinará el servicio de agua potable, para obtener así un valor más exacto del requerimiento por parte de la zona de estudio. Debido a esto, se analizó los registros de las lecturas de agua potable, llevadas a cabo entre el mes de enero a julio del año 2022 por parte del Departamento de Agua Potable y Saneamiento del GADM de Nabón dentro del área de estudio. Se segregó la información y se identificó el número de usuarios, los cuales fueron

divididos entre usuarios domiciliarios, municipales e industriales, a su vez entre cada uno de estos grupos se dividió en usuarios activos usuarios de consumo cero como se puede observar en el anexo L. Se calculó el consumo promedio de agua por habitante al día y el consumo de agua diario municipal e industrial, de esta manera se logró identificar el porcentaje de agua destinado al consumo doméstico (93.44 %) y el porcentaje de agua destinado al consumo municipal e industrial (6.66 %). Al conocer estos porcentajes se propuso unas ecuaciones para obtener los caudales de diseño considerando el consumo doméstico e industrial.

G. Caudal de diseño de la PTAP corregido

$$Qdt = Qd \times \frac{100\%}{\text{consumo domestico \%}}$$

$$Qdt = 0.01129 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{100\%}{93.44\%}$$

$$Qdt = 0.01208 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ecuación 20

Donde:

Qdt: es el caudal de diseño de la planta considerando el consumo industrial y municipal en m^3/s .

Qd: es el caudal de diseño de la planta sin considerar el consumo industrial y municipal en m^3/s .

H. Caudal de diseño de la red de distribución corregido

$$QRdt = QRd \times \frac{100\%}{\text{consumo domestico \%}}$$

$$QRdt = 0.01539 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{100\%}{93.44\%}$$

$$QRdt = 0.01647 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ecuación 21

Donde:

QRdt: es el caudal de la red de distribución considerando el consumo industrial y municipal en m^3/s .

QRd: es el caudal de la red de distribución sin considerar el consumo industrial y municipal en m³/s.

I. Caudal de la captación de aguas superficiales corregido

$$QC_{spt} = QC_{sp} \times \frac{100\%}{\text{consumo domestico \%}}$$

$$QC_{spt} = 0.01231 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{100\%}{93.44\%}$$

$$QC_{spt} = 0.01318 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ecuación 22

Donde:

QC_{spt}: es el caudal de la captación de aguas superficiales considerando el consumo industrial y municipal en m³/s.

QC_{sp}: es el caudal de la captación de aguas superficiales sin considerar el consumo industrial y municipal en m³/s.

J. Caudal de la captación de aguas subterráneas corregido

$$QC_{sbt} = QC_{sb} \times \frac{100\%}{\text{consumo domestico \%}}$$

$$QC_{sbt} = 0.01077 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{100\%}{93.44\%}$$

$$QC_{sbt} = 0.01153 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ecuación 23

Donde:

QC_{sbt}: es el caudal de la captación de aguas subterráneas considerando el consumo industrial y municipal en m³/s.

QC_{sb}: es el caudal de la captación de aguas subterráneas sin considerar el consumo industrial y municipal en m³/s.

K. Caudal de la conducción de aguas superficiales corregido

$$QD_{spt} = QD_{sp} \times \frac{100\%}{\text{consumo domestico \%}}$$

$$QDspt = 0.01129 \frac{m^3}{s} \times \frac{100\%}{93.44\%}$$

$$QDspt = 0.01208 \frac{m^3}{s}$$

Ecuación 24

Donde:

QDspt: es el caudal de la conducción de aguas superficiales considerando el consumo industrial y municipal en m³/s.

QDsp: es el caudal de la conducción de aguas superficiales sin considerar el consumo industrial y municipal en m³/s.

L. Caudal de la conducción de aguas subterráneas corregido

$$QDsbt = QDsb \times \frac{100\%}{\text{consumo domestico \%}}$$

$$QDsbt = 0.01077 \frac{m^3}{s} \times \frac{100\%}{93.44\%}$$

$$QDsbt = 0.01153 \frac{m^3}{s}$$

Ecuación 25

Donde:

QDsbt: es el caudal de la conducción de aguas subterráneas considerando el consumo industrial y municipal en m³/s.

QDsb: es el caudal de la conducción de aguas subterráneas sin considerar el consumo industrial y municipal en m³/s.

3.16 Determinación hidráulica de las unidades de tratamiento

3.16.1 Obra de llegada y repartición de caudales.

A. Volumen del cajón de aforo

Para calcular el volumen del cajón de aforo se puede utilizar la siguiente ecuación en la cual interviene el tiempo de retención, que de acuerdo con la norma CPE INEN 005-9-1 se recomienda 2.15 min.

$$V = Tr \times Qd$$

$$V = 135 \text{ s} \times 0.01208 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V = 1.63 \text{ m}^3$$

Ecuación 26

Donde:

V: es el volumen del cajón de aforo en m^3 .

Tr: es el tiempo de retención en s.

Qd: es el caudal de diseño de la planta de tratamiento en m^3/s .

B. Carga del vertedero

Para el diseño de los vertederos se debe considerar el ángulo del vértice de la escotada y la altura de la lámina de agua sobre el vertedero generada por el caudal máximo que será distribuido, a continuación se aplica la ecuación planteada por (Parra & Herrera, 2016) para vertederos triangulares de 90° .

$$H = \left(\frac{Q}{K}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H = \left(\frac{0.01208 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1.41 \text{ s}^{-1}}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H = 0.149 \text{ m}$$

Ecuación 27

Donde:

H: es la carga sobre el vertedero en m.

Q: es el caudal de diseño de la planta en m^3/s

K: es el coeficiente del vertedero que de acuerdo con Parra & Herrera, (2016) es $1,41 \text{ s}^{-1}$.

C. Dimensiones del vertedero

Parra & Herrera, (2016) recomienda hacer el diseño de la lámina del vertedero siguiendo los criterios establecidos en la figura 6.

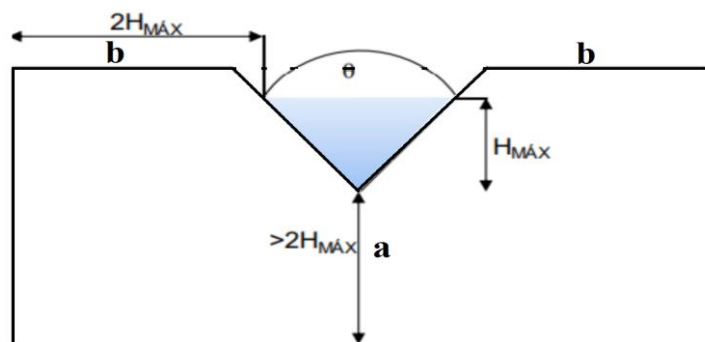


Figura 6. Perfil frontal del vertedero y sus características.

Nota: Obtenido de Parra & Herrera, (2016).

Como se puede observar en la figura 7 con fines prácticos de diseño se consideró una altura de la carga sobre el vertedero igual a 15 cm y por medio de los criterios establecidos en la ilustración 6 se obtuvo un ancho de la lámina del vertedero de 1.08 m y un alto de 0.45 m.

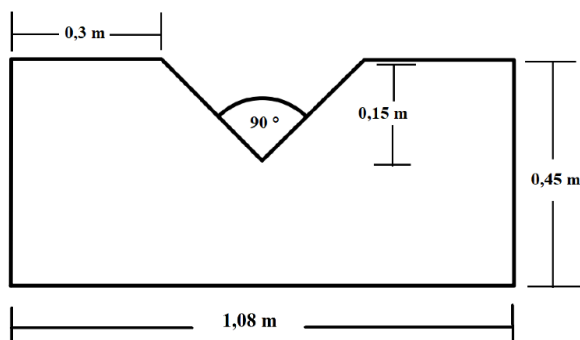


Figura 7. Diseño del vertedero.

Nota: Elaborado por los autores.

D. Dimensiones del cajón de aforo

De igual manera, Parra & Herrera, (2016) recomiendan seguir los criterios establecidos en la figura 8 para realizar el diseño de la pared del vertedero, con el fin de que exista una zona de aquietamiento del agua y el aforo pueda ser más preciso.

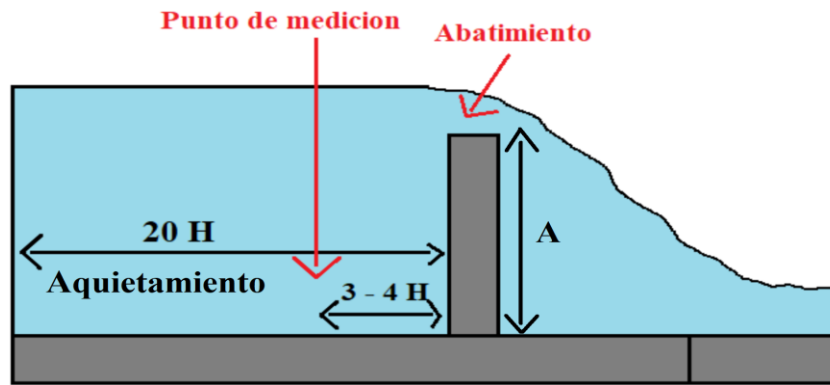


Figura 8. Perfil longitudinal del vertedero y sus características.

Nota: Obtenido de Parra & Herrera, (2016).

En la Figura 9 se observa las dimensiones del perfil longitudinal del vertedero (cajón de aforo), el cual se dimensionó teniendo en cuenta el volumen calculado en la ecuación 26 y los criterios establecidos en la figura 8.

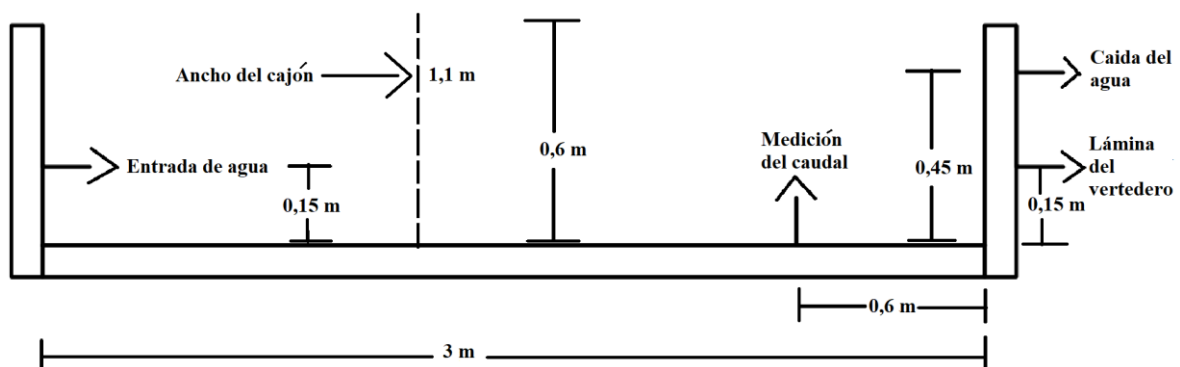


Figura 9. Diseño del cajón de aforo.

Nota: Elaborado por los autores.

Al realizar el diseño del cajón de aforo como se muestra en la figura 9, se tendría un volumen de 1.98 m^3 , por lo cual el tiempo de retención incrementaría a 2 min con 44 s.

3.16.2 Filtros Gruesos de Flujo Horizontal

Para realizar el diseño de los filtros gruesos de flujo horizontal se utilizó las ecuaciones aplicadas en el estudio de Marrón, (1999) y Wegelin, (1986). También se siguió los criterios establecidos por la norma CPE INEN 005-9-1, la cual recomienda la utilización de por lo menos 2 unidades de prefiltración debido a temas de mantenimiento y operación, debido a esto y considerando el área disponible en la planta se propuso la ejecución de tres unidades de prefiltración. Además, la norma CPE INEN 005-9-1 menciona que las unidades de tratamiento de una planta potabilizadora deben contar con una capacidad hidráulica entre 15

a 25% superior al caudal de diseño, es por ello que en este caso se decidió trabajar con una capacidad hidráulica 20% superior al caudal de diseño.

A. Capacidad hidráulica de prefiltración

$$Q_h = Q_d + (20\% Q_d)$$

$$Q_h = 0.01208 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + (0.2 \times 0.01208 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})$$

$$Q_h = 0.01449 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ecuación 28

Donde:

Q_h : es la capacidad hidráulica de la planta en m^3/s

Q_d : es el caudal de diseño de la planta en m^3/s .

B. Caudal de tratamiento de cada unidad de prefiltración

$$Q = \frac{Q_h}{n}$$

$$Q = \frac{0.01449 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{3}$$

$$Q = 0.00483 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ecuación 29

Donde:

Q : es el caudal de tratamiento correspondiente a cada unidad de prefiltración en m^3/s .

Q_h : es la capacidad hidráulica de la prefiltración en m^3/s .

n : es el número de unidades de prefiltración que operaran.

C. Área transversal de cada unidad de prefiltración

Para el cálculo de esta ecuación se utiliza una velocidad de filtración de 0.5 m/h como se establece en la norma CPE INEN 009-5-1 y se transforma las unidades del caudal de tratamiento del prefiltro a m^3/h .

$$A_t = \frac{Q}{V_f}$$

$$At = \frac{17.40 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0.5 \frac{\text{m}}{\text{h}}}$$

$$At = 34.8 \text{ m}^2$$

Ecuación 30

Donde:

At: es el área transversal del prefiltro en m².

Q: es el caudal de tratamiento del prefiltro en m³/h.

Vf: es la velocidad de filtración en m/h.

D. Área transversal de cada compartimento del prefiltro

La norma CPE INEN 005-9-1 establece que los prefiltros de grava con flujo horizontal deben comprender de tres compartimentos separados de acuerdo al tamaño de la grava, es por ello que se debe calcular el área transversal de cada compartimento.

$$A = \frac{At}{nC}$$

$$A = \frac{34.8 \text{ m}^2}{3}$$

$$A = 11.6 \text{ m}^2$$

Ecuación 31

Donde:

A: es el área transversal de cada compartimento del prefiltro en m².

At: es el área transversal del filtro en m².

nC: es el número de compartimentos.

E. Profundidad del prefiltro

Con el fin que la altura del prefiltro no sea muy elevada y se cumpla lo recomendado por Wegelin, (1986) de mantener una altura cercana a 1.2 m, se seleccionó un ancho del prefiltro equivalente a 9 m.

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

$$hL = \frac{11.6 \text{ m}^2}{9 \text{ m}}$$

$$hL = 1.29 \text{ m}$$

Ecuación 32

Donde:

hL: es la profundidad del filtro en m.

A: es el área transversal de cada compartimento en m².

W: es el ancho del filtro en m.

F. Profundidad, longitud y ancho de la cámara de entrada del prefiltro

La profundidad y ancho de la cámara de entrada debe tener las mismas dimensiones que el prefiltro, mientras la longitud de la cámara debe ser igual a un 20% de la longitud del prefiltro (Organización Panamericana de la Salud, 2005). Como se puede observar en la tabla 3 la norma CPE INEN 009-5-1 establece una longitud de 1 m para el primer compartimento, 4.5 m para el segundo compartimento y 4.5 m para el tercer compartimento, por tanto, tendríamos una longitud total del prefiltro igual a 10 m.

$$LCe = 20\% Lf$$

$$LCe = 0.2 \times 10 \text{ m}$$

$$LCe = 2 \text{ m}$$

Ecuación 34

Donde:

LCe: es la longitud de la cámara de entrada del prefiltro en m.

Lf: es la longitud del prefiltro en m.

G. Plano del prefiltro

En la figura 10 se puede observar el esquema de la vista superior del prefiltro.

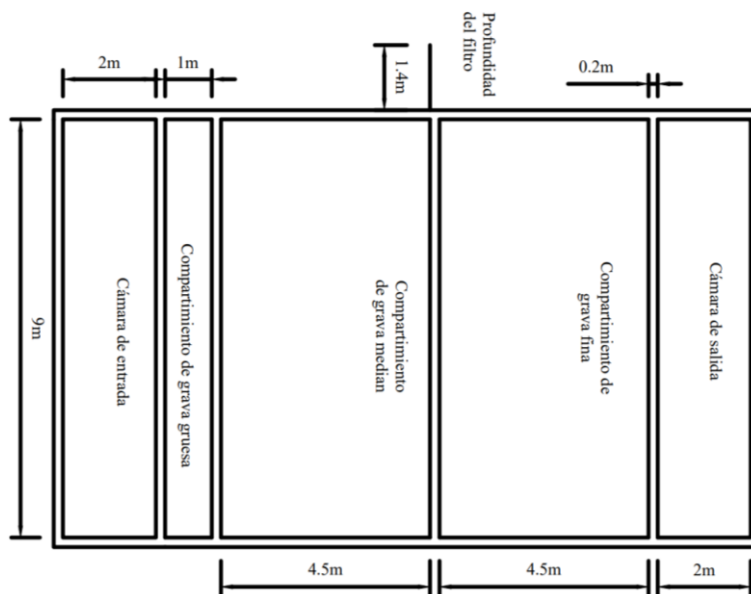


Figura 10. Plano del diseño del prefiltro.

Nota: Elaborado por los autores.

3.16.3 Filtros Lentos de Arena

Para el dimensionamiento de los filtros lentos de arena se aplicó las ecuaciones utilizadas en el estudio de OPS, (2005) y Ávila, (2015).

Al igual que la prefiltración, para el diseño los filtros lentos se siguió los criterios establecidos en la norma CPE INEN 005-9-1, la cual establece que se debe considerar un mínimo de dos unidades que puedan mantener todo el tiempo la operación de la planta en caso de requerir reparaciones o mantenimientos por parte de una de ellas.

A. Capacidad hidráulica de filtración

$$Q_h = Q_d + (20\% Q_d)$$

$$Q_h = 0.01208 \frac{m^3}{s} + (0.2 \times 0.01208 \frac{m^3}{s})$$

$$Q_h = 0.01449 \frac{m^3}{s}$$

Ecuación 35

Donde:

Q_h: es la capacidad hidráulica de la planta en m³/s

Q_d: es el caudal de diseño de la planta en m³/s.

B. Superficie filtrante requerida

Para el cálculo de la superficie filtrante requerida se transforma las unidades de la capacidad hidráulica de filtración a m³/h y se utiliza la tasa de filtración recomendada por la norma CPE INEN 009-5-1 que es igual a 0.2 m/h.

$$Sf = \frac{Qh}{Tf}$$

$$Sf = \frac{52.18 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0.2 \frac{\text{m}}{\text{h}}}$$

$$Sf = 260.93 \text{ m}^2$$

Ecuación 36

Donde:

Sf: es la superficie filtrante requerida en m³.

Qh: es la capacidad hidráulica de la planta en m³/h.

Tf: es la tasa de filtración en m/h.

C. Número de módulos de filtración

$$nf = 0.5 \times Sf^{\frac{1}{3}}$$

$$nf = 0.5 \times (260.93 \text{ m}^2)^{\frac{1}{3}}$$

$$nf = 3.2$$

Ecuación 37

Donde:

nf: es el número total de unidades que operarán en paralelo.

Sf: es el área de filtración requerida en m².

D. Caudal de tratamiento de cada unidad de filtración

$$Q = \frac{Qh}{nf}$$

$$Q = \frac{0.01449 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{3}$$

$$Q = 0.00483 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ecuación 38

Donde:

Q: es el caudal de tratamiento de cada módulo de filtración en m³/s.

Qh: es la capacidad hidráulica de la planta en m³/s.

nf: es el número de módulos de filtración.

E. Área de cada módulo de filtración

Con fines prácticos de diseño de la planta de tratamiento se consideran 3 módulos de filtración con geometría cilíndrica, siguiendo la misma esencia que tiene la planta actual, considerando el área disponible en la misma, y que se pueda mantener la operación de dos filtros mientras uno se encuentre en mantenimiento.

$$A_i = \frac{S_f}{n_f}$$

$$A_i = \frac{260.93 \text{ m}^2}{3}$$

$$A_i = 86.98 \text{ m}^2$$

Ecuación 39

Donde:

A_i: es el área filtrante de cada módulo de filtración en m².

S_f: es el área de filtración requerida en m².

n_f: es el número de filtros que operaran.

F. Diámetro de cada módulo de filtración

$$D = \left(\frac{A_i \times 4}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = \left(\frac{86.98 \text{ m}^2 \times 4}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = 10.52 \text{ m}$$

Ecuación 40

Donde:

D: es el diámetro de cada módulo de filtración en m.

A_i: es el área de cada módulo de filtración en m².

G. Pérdida de carga

La norma CPE INEN 005-9-1 recomienda una altura del lecho filtrante de arena entre 1 a 1.4 m, para este caso y con base en la revisión literaria se propuso la utilización de un valor intermedio considerando una altura del lecho filtrante de 1.2 m.

$$H = \frac{hlf}{4}$$

$$H = \frac{1.2 \text{ m}}{4}$$

$$H = 0.3 \text{ m}$$

Ecuación 41

Donde:

H: es la pérdida de carga del filtro en m.

hlf: es la altura del lecho filtrante de arena en m.

H. Diámetro tubería de entrada del filtro

Para el cálculo de la tubería de entrada del filtro, de acuerdo con la norma CPE INEN 009-5-1 se considera una velocidad de entrada igual a 0.3 m/s.

$$Dte = \left(\frac{4 \times Q}{Ve \times \pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$Dte = \left(\frac{4 \times 0.00483 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$Dte = 0.143 \text{ m}$$

Ecuación 42

Donde:

Dte: es el diámetro de la tubería de entrada al filtro en m.

Q: es el caudal de diseño para cada filtro en m³/s.

Ve: es la velocidad en la tubería de entrada en m/s.

Por fines prácticos, se debe utilizar un diámetro comercial de tubería, en este caso sería de 160 mm. A continuación, se describirá los parámetros para diseñar el sistema de drenaje del filtro.

I. Área de cada orificio

Para el diseño del sistema de drenaje, se debe seleccionar un diámetro de tubería perforada que sea capaz de almacenar el agua que es filtrada. El diámetro de los orificios de los laterales debe seleccionarse en función al caudal de servicio correspondiente a cada lateral que, según criterios que han sido establecidos se recomienda un diámetro entre 6 a 14 mm (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992). Con base en la revisión literaria y lo recomendado por la norma CPE INEN 005-9-1 se seleccionó un diámetro de los orificios de los laterales igual a 8 mm.

$$A_{of} = \frac{\pi \times D_o^2}{4}$$

$$A_{of} = \frac{\pi \times (0.008 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_{of} = 0.00005027 \text{ m}^2$$

Ecuación 43

Donde:

A_{of}: es el área de cada orificio de en m².

D_o: es el diámetro de los orificios laterales en m.

J. Caudal que ingresa por cada orificio

La norma CPE INEN 009-1-5 establece que la velocidad máxima de entrada del agua a través de los orificios es de 0.3 m/s.

$$Q_o = A_{of} \times V_{of}$$

$$Q_o = 0.00005027 \text{ m}^2 \times 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_o = 0.00001508 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Ecuación 44

Donde:

Q_o: es el caudal que ingresa a través de cada orificio en m³/s.

A_{of}: es el área de cada orificio en m.

V_{of}: es la velocidad de orificio en m/s.

K. Número de laterales

En la norma CPE INEN 005-9-1 se propone utilizar un valor entre 1 a 2 m de separación entre los laterales, para este caso de estudio se utilizó un valor intermedio igual a 1.5 m.

$$nL = 2 \times \frac{D}{Sl}$$

$$nL = 2 \times \frac{10.52 \text{ m}}{1.5 \text{ m}}$$

$$nL = 14.02$$

Ecuación 45

Donde:

nL: es el número de laterales.

D: es el diámetro del filtro en m.

Sl: es la separación entre laterales en m.

L. Relación entre el número de orificios y laterales

De acuerdo con la norma CPE INEN 009-5-1, el espaciamiento entre orificios debe estar entre 0.1 m a 0.3 m, para el caso de estudio se seleccionó un valor intermedio equivalente a 0.2 m. De Vargas, (2004) sugiere que la longitud promedio de los laterales será igual al 65% del diámetro del filtro, por tanto se tendría una longitud promedio de los laterales de 6.8 m.

$$So = \frac{\# \text{ orificios}}{\text{laterales}} = 2 \times \frac{Ll}{Eo}$$

$$So = 2 \times \frac{6.8 \text{ m}}{0.2 \text{ m}}$$

$$So = 68$$

Ecuación 46

Donde:

So: es la relación entre los orificios y laterales.

Ll: es la longitud promedio los laterales en m.

Eo: es el espacio entre orificios en m.

M. Número de orificios

$$No = nL \times So$$

$$No = 14 \times 68$$

$$N_o = 952$$

Ecuación 47

Donde:

N_o : es el número total de orificios.

nL : es el número de laterales.

S_o : es la relación entre orificios y laterales.

N. Área total de orificios

$$A_{To} = A_{of} \times N_o$$

$$A_{To} = 0.00005027 \text{ m}^2 \times 952$$

$$A_{To} = 0.04786 \text{ m}^2$$

Ecuación 48

Donde:

A_{To} : es el área total de los orificios en m^2 .

A_{of} : es el área de cada orificio en m^2 .

N_o : es el número total de orificios.

O. Diámetro de la tubería de salida

Romero Rojas, (1999) recomienda utilizar para el caso de filtros lentos una velocidad del efluente a través de la tubería de salida equivalente a 0.9 m/s.

$$D_{ts} = \left(\frac{4 \times Q}{\pi \times V_s} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D_{ts} = \left(\frac{4 \times 0.00483 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \times 0.9 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D_{ts} = 0.0826 \text{ m}$$

Ecuación 49

Donde:

D_{ts} : es el diámetro de la tubería de salida del filtro en m.

V_s : es la velocidad del agua a través de la tubería de salida en m/s.

Q : es el caudal de tratamiento del filtro en m^3/s .

Por fines prácticos, se debe seleccionar un diámetro de tubería comercial que, en este caso sería de 90 mm.

P. Velocidad de arrastre

La norma CPE INEN 005-9-1 menciona que la arena utilizada para los filtros lentos debe mantener un coeficiente de uniformidad entre 1.5 a 3 y un tamaño efectivo entre 0.15 a 0.35 mm. Con base en la investigación bibliográfica que se ha realizado, se propuso la utilización de un coeficiente de uniformidad igual a 2 y un tamaño efectivo correspondiente a 0.3 mm.

$$V_a = C_u \times T_e$$

$$V_a = 2 \times 0.3$$

$$V_a = 0.6 \frac{m}{min}$$

Ecuación 50

Donde:

V_a : es la velocidad de arrastre de la arena en m/min.

C_u : es el coeficiente de uniformidad de la arena.

T_e : es el tamaño efectivo de la arena.

Q. Volumen de agua requerido para el lavado de los filtros

De acuerdo con Arboleda Valencia, (2000) se requiere al menos 10 minutos de lavado para remover toda la arena del filtro y evacuar todos los sedimentos presentes en ella.

$$V_L = V_a \times S_f \times T$$

$$V_L = 0.6 \frac{m}{min} \times 260.93 \text{ m}^2 \times 10 \text{ min}$$

$$V_L = 1565.28 \text{ m}^3$$

Ecuación 51

Donde:

V_L : es el volumen de agua requerido para el lavado de los 3 filtros en m^3 .

V_a : es la velocidad de arrastre de la arena en m/min.

S_f : es la superficie filtrante requerida en m^2 .

T : es el tiempo efectivo de lavado.

R. Plano del filtro

En la figura 11 se puede observar el esquema de la vista frontal del filtro.

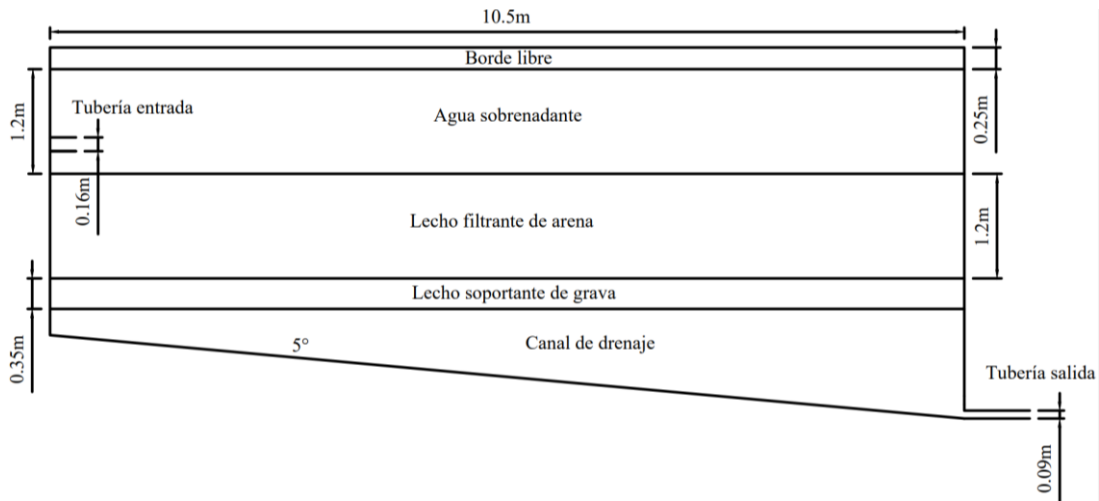


Figura 11. Plano del diseño del filtro.

Nota: Elaborado por los autores.

3.16.4 Desinfección

Para la cloración del agua fue necesario calcular las dimensiones del tanque de contacto y la dosis óptima de cloro que serán requeridas para tratar el caudal que ingresa a la planta. Por otro lado, se deben controlar parámetros como el pH y la temperatura del agua para que la desinfección tenga un mayor grado de eficiencia (Comisión Nacional del Agua, 2007).

A. Volumen del tanque de contacto

Al ser un único tanque de contacto el que opere en la PTAP, deberá encontrarse todo el tiempo en funcionamiento y por tanto no es necesario hacer el cálculo de sus dimensiones con una capacidad hidráulica 20% superior al caudal de diseño de la planta. La norma CPE INEN 005-9-1 recomienda un tiempo de retención entre 20 a 30 minutos para que el cloro actúe correctamente sobre los microorganismos presentes en el agua.

$$V_{tq} = Q_d \times T$$

$$V_{tq} = 0.01208 \frac{m^3}{s} \times 1200 s$$

$$V_{tq} = 14.5 m^3$$

Ecuación 52

Donde:

V_{tq}: es el volumen del tanque de contacto en m³.

Qd: es el caudal de diseño de la PTAP en m³/s.

T: es el tiempo de retención en s.

B. Área del tanque de contacto

Para este caso de estudio, contemplando el área disponible que tiene la PTAP “La Loma” se consideró el uso de un tanque rectangular con un largo igual a 3.5 m y un ancho de 3 m.

$$Atq = L \times A$$

$$Atq = 3.5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$$

$$Atq = 10.5 \text{ m}^2$$

Ecuación 53

Donde:

Atq: es el área del tanque de contacto en m².

L: es la longitud del tanque de contacto en m.

A: es el ancho del tanque de contacto en m.

C. Altura del tanque de contacto

$$Htq = \frac{Vtq}{Atq}$$

$$Htq = \frac{14.5 \text{ m}^3}{10.5 \text{ m}^2}$$

$$Htq = 1.38 \text{ m}$$

Ecuación 54

Donde:

Htq: es la altura del tanque de contacto en m.

Vtq: es el volumen del tanque de contacto en m³.

Atq: es el área del tanque de contacto en m².

D. Masa de cloro necesaria

En la mayoría de casos, el caudal que ingresa a la planta de tratamiento no es constante, por lo cual no se tendrá una misma cantidad de agua a tratar durante todos los días, debido a esto se recomienda calcular la masa de cloro necesaria para la desinfección del agua en función del caudal que ingresa a la planta, una o dos veces al día como recomienda la norma CPE INEN 005-9-1. Sin embargo, para conocer la masa de cloro necesaria en un día en el cual la planta trabaje a su máxima capacidad se aplicó la ecuación utilizada en el estudio de

Parra & Herrera, (2016). También se consideró el uso de hipoclorito de calcio con una concentración igual a 68% como se utiliza actualmente en la PTAP “La Loma”.

$$P = \frac{Q \times D \times T}{I}$$

$$P = \frac{0.01208 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 86400 \text{ s}}{0.68}$$

$$P = 1534.87 \text{ g} = 1.535 \text{ kg}$$

Ecuación 55

Donde:

P: es la masa de cloro requerida en g.

Q: es el caudal que ingresa a la planta en m³/s.

D: es la dosis de cloro necesaria en g/L.

T: es el periodo de almacenamiento de la solución en s.

I: es la concentración comercial en % de cloro.

3.16.5 Reservorio

El volumen total del reservorio de agua se calcula sumando el volumen de regulación, volumen contra incendios, volumen de emergencia y el volumen requerido por la planta. La norma CPE INEN 005-9-1 establece que para poblaciones de la región sierra, con un número inferior a 5000 habitantes no se considera el volumen contra incendios y el volumen contra emergencias. Por otro lado, en este caso se propone que el volumen de agua necesario requerido por la planta para la limpieza de los filtros y prefiltros sea almacenado en otro reservorio, debido a que este será utilizado solo cada cierto tiempo cuando es necesario. Por tanto, el volumen de la reserva será igual al volumen de regulación.

A. Volumen de regulación

Para calcular el volumen de regulación para poblaciones menores a 5000 habitantes se utiliza la ecuación planteada en el Código Ecuatoriano De La Construcción De Parte IX Obras Sanitarias” C0 10.07 – 601.

$$V_r = q \times P_f \times (30\%)$$

$$V_r = \frac{150 \frac{\text{L}}{\text{hab}}}{\text{día}} \times 4221 \text{ hab} \times 0.3$$

$$V_r = 189945 \text{ L} = 189.95 \text{ m}^3$$

Ecuación 56

Donde:

q: es la dotación media futura en L/hab/día.

Pf: es la población al final del periodo de diseño.

Con fines prácticos para el diseño de la PTAP, se propone el uso de un reservorio cilíndrico con un volumen de 200 m³, de manera que se pueda asegurar el abastecimiento diario de agua potable para toda población de estudio.

B. Área del reservorio

Con base al área disponible en la PTAP, se propone el uso de un reservorio con un diámetro de 9 m.

$$Ar = \pi \times \frac{D^2}{4}$$
$$Ar = \pi \times \frac{(9 \text{ m})^2}{4}$$
$$Ar = 63.62 \text{ m}^2$$

Ecuación 57

Donde:

Ar: es el área superficial del reservorio en m².

D: es el diámetro del reservorio en m.

C. Altura del reservorio

$$Hr = \frac{Vr}{Ar}$$
$$Hr = \frac{200 \text{ m}^3}{63.62 \text{ m}^2}$$
$$Hr = 3.14 \text{ m}$$

Ecuación 58

Donde:

Hr: es la altura del reservorio en m.

Vr: es el volumen del reservorio en m³.

Ar: es el área superficial del reservorio en m².

Capítulo IV: Resultados

4.1 Análisis de datos de cloro residual en la red de distribución

En la tabla 15 se presenta el respectivo resumen estadístico de los datos obtenidos a través de las cinco campañas de monitoreo de cloro residual en los diez puntos de la red de distribución.

Tabla 15. *Valores estadísticos del monitoreo de cloro residual.*

Sector	Min	Max	Media	Desviación Estándar
Charcay	0.050	1.590	0.738	0.427
Sabinta	0.400	1.810	0.884	0.387
Rosas	0.510	1.510	0.854	0.289
Totoracocha	0.440	1.630	0.891	0.337
Tamboloma	0.290	1.610	0.887	0.371
Zhamanga	0.020	1.270	0.688	0.350
El Salado (1)	0.080	1.250	0.628	0.302
El Salado (2)	0.010	1.470	0.640	0.372
La Playa (1)	0.030	1.210	0.564	0.354
La Playa (2)	0.030	1.010	0.324	0.351

Nota: Elaborado por los autores.

La figura 12 muestra la concentración de cloro residual en el reservorio de la planta, analizada desde el 2018 hasta la actualidad, esta figura revela un cumplimiento de la norma INEN 1108 en la mayor parte del tiempo de análisis, aunque existen ciertos picos en fechas específicas en donde la concentración sobrepasa el límite máximo permisible (LMP). El 24.44% de los datos supera el límite máximo permisible, mientras que el 2.22% de los datos son inferiores a 0.3 mg/L, por lo tanto, el 73.34% de los datos históricos desde el año 2018 hasta el 2022 se encuentra dentro de los límites establecidos en la norma INEN 1108. Por otro lado, desde la ilustración 13 a la ilustración 14 se puede observar que, el 17.33% de las mediciones efectuadas durante los 5 monitoreos realizados, la concentración de cloro libre residual en la red de distribución se encuentra por debajo del rango permitido por la norma INEN 1108 (0.3 mg/L – 1.5 mg/L), mientras el 4% de las mediciones se encuentra por encima de este rango.

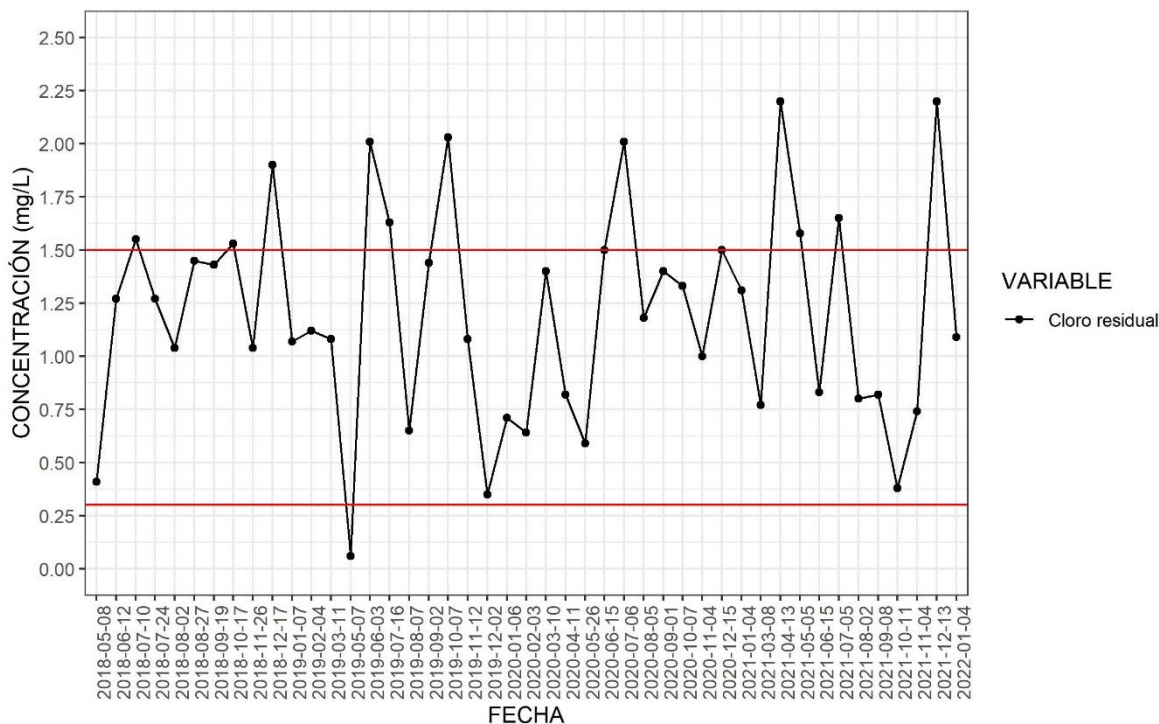


Figura 12. Datos históricos de cloro residual en el reservorio.

Nota: Elaborado por los autores.

El 3 de junio de 2022 se realizó el primer monitoreo de la concentración de cloro residual en diferentes puntos de la red de distribución de la planta “La Loma” y se esquematiza en la figura 13. Se puede observar que en cada uno de los 10 puntos analizados se cumple con la concentración de cloro residual establecida en la normativa, estando dentro de los 0.3-1.5 mg/L en las tres mediciones realizadas en el día. Sin embargo, en el punto de monitoreo más alejado a la planta correspondiente al punto “La Playa (2)”, la concentración medida a las 9h00 se encuentra muy cerca del límite mínimo recomendado, lo que podría empezar a sugerir una tendencia de disminución de la concentración de cloro residual a medida que aumenta la distancia al punto de cloración.

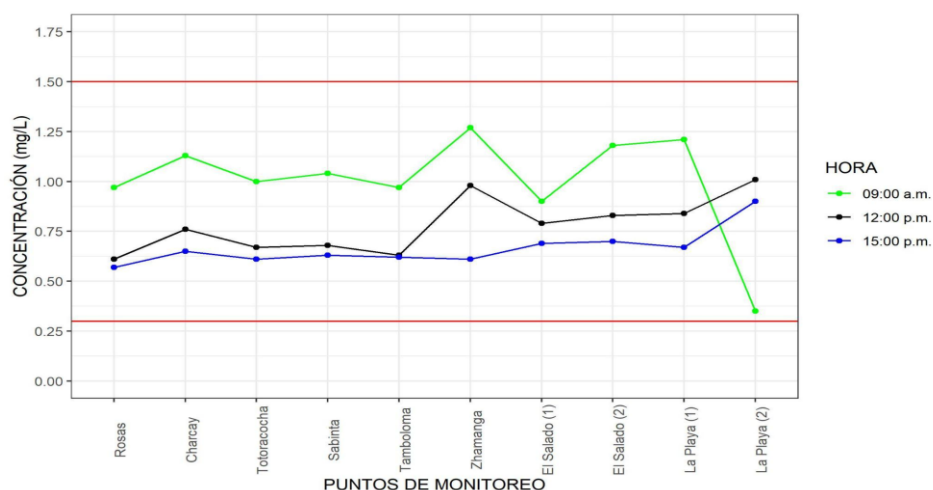


Figura 13. Primer monitoreo de la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua potable (03/06/2022).

Nota: Elaborado por los autores.

El 10 de junio de 2022 corresponde al segundo monitoreo de la concentración de cloro residual en la red de distribución y se representa en la figura 14, este revela que existen ciertos puntos en donde la concentración de cloro residual no está dentro de los límites establecidos en la normativa. Por un lado, las muestras tomadas a las 15h00 en los puntos de monitoreo “Charcay”, “Totoracocha” y “Sabinta”, y las muestras tomadas en “Tamboloma” a las 9h00 y 15h00, sobrepasan el límite máximo permisible de 1.5 mg/L de cloro residual en el agua potable. Mientras que, la concentración de cloro residual medida a las 9h00 en el punto más alejado a la planta se encuentra por debajo del límite mínimo (0.3 mg/L) establecido en la norma INEN 1108. Esto puede ocurrir cuando no se mide correctamente el caudal que ingresa a la planta, por ende, la dosificación de cloro no es precisa y ocasiona que el residual que se genera sea inferior o mayor al requerido (Tinoco, 2019). las concentraciones de cloro residual en la red de distribución serán altas. Cuando las distancias entre el punto de cloración y la red de distribución son muy largas, la concentración de cloro libre residual suele disminuir significativamente debido a las reacciones producidas en el agua, su interacción con la pared de las tuberías y su propia evaporación natural producida por el incremento de temperaturas (Tzatchkov et al., 2004). Por tanto, suele ser necesario realizar una cloración adicional en reservorios que se encuentran ubicados en los puntos más alejados de la planta de tratamiento.

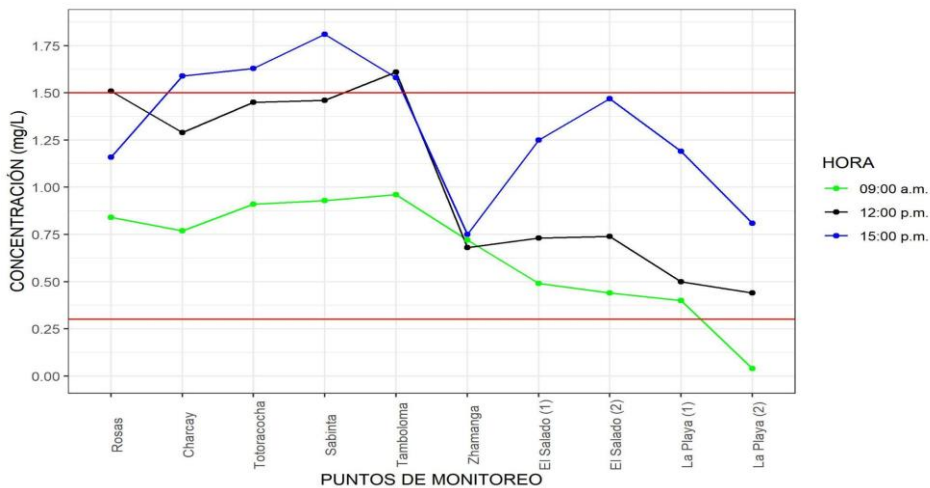


Figura 14. Segundo monitoreo de la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua potable (10/06/2022).

Nota: Elaborado por los autores.

Con fecha 8 de julio de 2022 se efectuó el tercer monitoreo para la concentración de cloro residual y se puede apreciar en la figura 15, en donde es evidente una tendencia paralela de la concentración de cloro residual en los 3 monitoreos realizados a diferentes horas del día en todos los puntos definidos dentro de la red. La concentración de cloro residual se encontró por debajo de su límite mínimo permisible en los puntos “Charcay”, “Zhamanga”, “El Salado (1)”, “El Salado (2)”, “La Playa (1)” y “La Playa (2)” durante el monitoreo ejecutado a las 9h00 y a las 12h00. En cambio, las muestras tomadas a las 15h00 revelaron un incumplimiento de la normativa únicamente en el punto “La Playa (2)”, el punto más alejado a la planta “La Loma”.

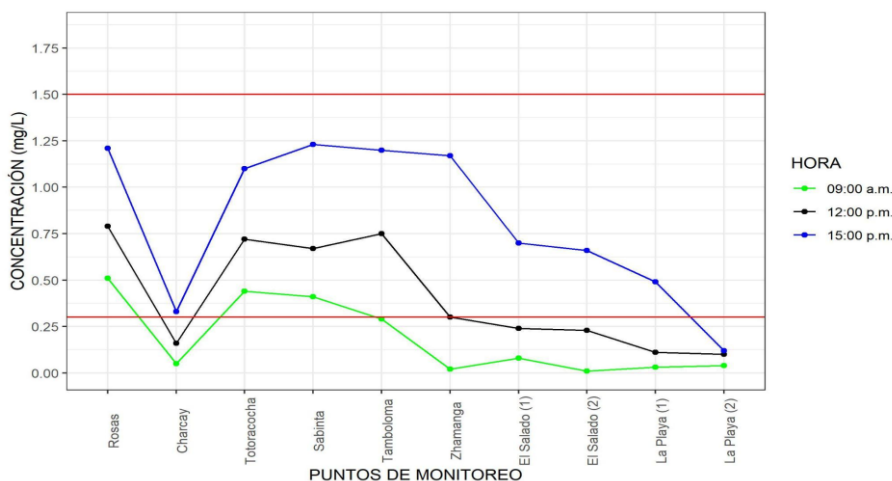


Figura 15. Tercer monitoreo de la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua potable (08/07/2022).

Nota: Elaborado por los autores.

En la figura 16 se puede observar que a mediados del mes de Julio de 2022 se realizó el cuarto análisis del cloro residual en la red de distribución, este reafirma la tendencia que tiene dentro de la red, en donde se ve claramente una disminución de su concentración a medida que avanza en su recorrido. Precisamente es en el punto “La Playa (2)” en donde los niveles de cloro residual no están sobre los 0.3 mg/L (límite mínimo permisible), tanto para el monitoreo realizado a las 9h00 como para las muestras tomadas a las 12h00. Sin embargo, en cada uno de los 10 puntos de monitoreo la concentración de cloro residual se mantuvo bajo los 1.5 mg/L (límite máximo permisible) para los tres periodos de tiempo.

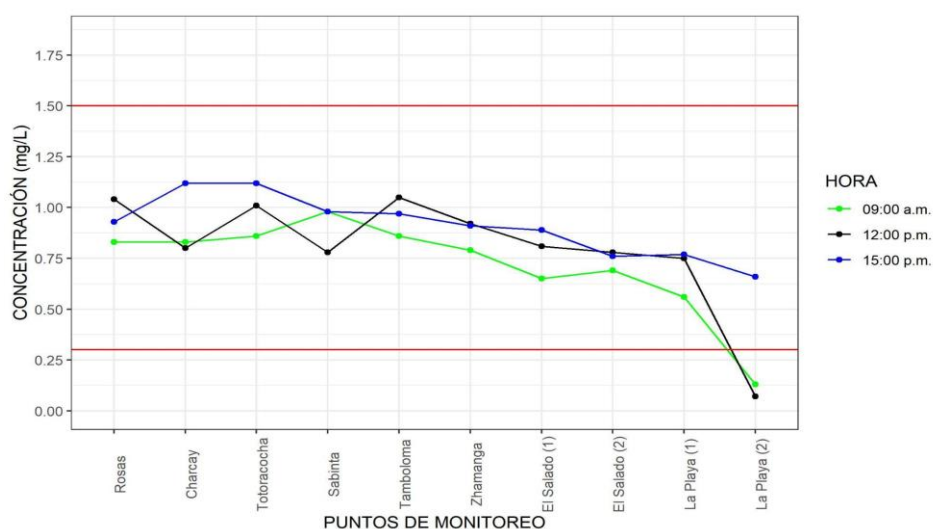


Figura 16. Cuarto monitoreo de la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua potable (15/07/2022).

Nota: Elaborado por los autores.

El quinto y último monitoreo del cloro residual en la red de distribución, se realizó el 22 de julio de 2022 y revela resultados similares a los descritos anteriormente, como se puede observar en la figura 17. Nuevamente, en el punto más alejado a la PTAP no se cumple con la norma INEN 1108, encontrándose por debajo del límite mínimo recomendado (0.3 mg/L), hecho que se observa en los tres periodos de tiempo en análisis. Por otro lado, en las mediciones realizadas a las 9h00 es en donde se observa una mayor cantidad de puntos de la red de distribución que no cumplen con el límite mínimo requerido, siendo estos: “Zhamanga”, “El Salado (1)”, “El Salado (2)”, “La Playa 1” y “La Playa 2”.

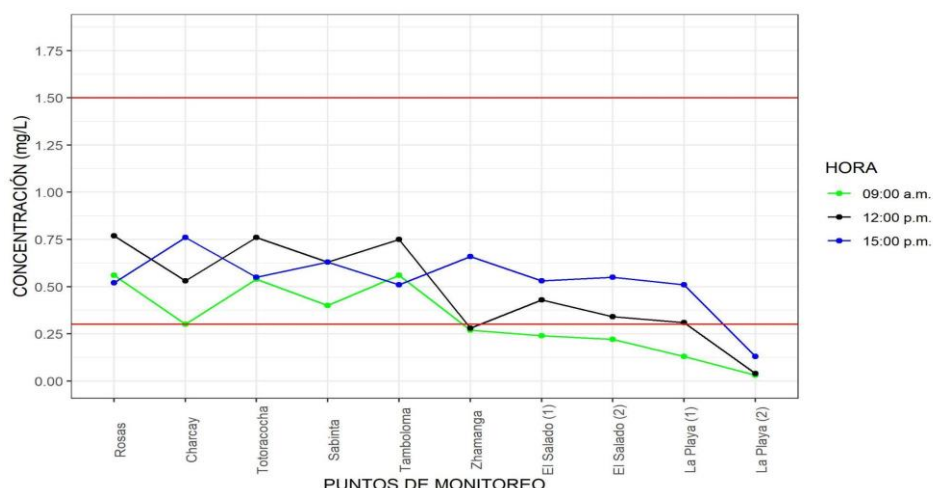


Figura 17. Quinto monitoreo de la concentración de cloro residual en la red de distribución de agua potable (22/07/2022).

Nota: Elaborado por los autores.

4.2 Análisis de datos de parámetros físicos-químicos y microbiológicos de la calidad del agua tratada.

El análisis de la calidad del agua que se realiza luego del proceso de potabilización en la PTAP “La Loma” se describe a través de la evaluación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos establecidos en la normativa INEN 1108. A continuación, en la tabla 16 se presenta un resumen estadístico de los datos proporcionados por el GAD municipal de Nabón que corresponde al agua tratada en la PTAP “La Loma”.

Tabla 16. Valores estadísticos del monitoreo de la calidad del agua tratada.

Parámetro	Min	Max	Media	Desviación estándar	Percentiles	
					75	95
Color	0	36	5	6.836	6.25	20.6
Turbidez	0.06	0.63	0.21	0.137	0.2475	0.6045
pH	6.71	7.70	7.10	0.201	7.19	7.5275
TDS	8.3	59.10	16.32	8.122	16	37.295
Conductividad	14.54	99.80	28.31	13.613	28.575	62.94
Cloro libre residual	0.02	2.20	1.13	0.531	1.5	2.1065

Nitratos	2.10	8.60	4.67	1.383	5.625	7.57
Nitritos	0.001	0.11	0.015	0.015	0.0182	0.0259
Fluoruros	0	0.14	0.06	0.031	0.08	0.1245
Sulfatos	0	1	0.02	0.141	0	0
Fósforo	0.001	0.5	0.054	0.066	0.06	0.07
Hierro	0.001	0.06	0.029	0.017	0.04	0.06
Manganeso	0	0.007	0.0009	0.001	0.0012	0.00345
			8			
Alcalinidad	0	18	11.80	4.276	15	16.9
Total						
Dureza Total	7	19	11.90	2.468	13	16.45
Dureza Cálcica	3	9	6.64	0.942	7	8
Dureza Magnésica	2	13	5.22	2.418	6	10
Coliformes Totales	0	3	0.02	0.141	0	0.45
Escherichia Coli	0	0	0	0	0	0

Nota: Elaborado por los autores.

4.2.1 Análisis de la concentración de color

En cuanto al color que presenta el agua potabilizada en la planta, el análisis de datos históricos que abarca monitoreos realizados desde febrero del 2018, demuestra que se está cumpliendo con la normativa en la mayor parte del tiempo, exceptuando los meses de marzo y abril de 2019 y octubre de 2021 en donde se registró niveles superiores a 15 unidades de Pt-Co, sobrepasando el límite máximo permisible (LMP) para agua potable (figura 18). Esto se debe principalmente a que cuando incrementa la precipitación en las zonas de captación se arrastra un mayor contenido de carga orgánica que se mezcla con el agua y, por tanto, aumenta la concentración de color. Anderson et al., (2023) reafirma en su estudio que el incremento en la carga orgánica de las aguas superficiales tiene una relación directa con el

aumento del color. Lo antes dicho se logró corroborar por medio del registro que se lleva del caudal que ingresa a la planta, ya que aquellas muestras donde se obtuvo concentraciones elevadas de color, corresponden a días donde ingreso un caudal superior a los 9 L/s. En la figura 19 se observa que durante los 5 muestreos ejecutados se obtuvieron unidades de Pt-Co por debajo del LMP.

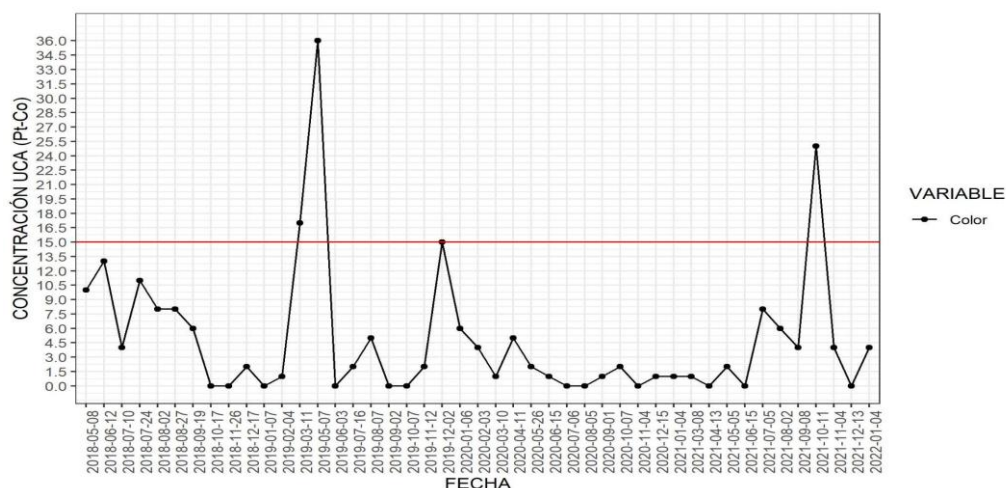


Figura 18. Datos históricos de color del agua potable en la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

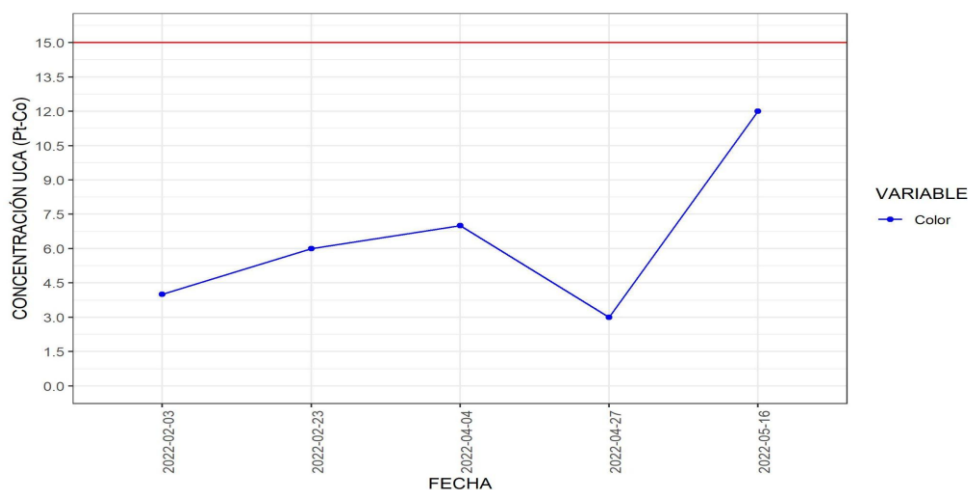


Figura 19. Monitoreo y análisis de color del agua potable en la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

4.2.2 Análisis de la concentración de la turbidez

Los niveles históricos de turbidez registrados desde el 2018 en la planta “La Loma” evidencian un satisfactorio cumplimiento de la normativa, encontrando niveles muy por debajo de 5 NTU, límite máximo permisible para el agua tratada (figura 20). Así mismo, el monitoreo del agua

potable realizado en el presente estudio en 5 fechas distintas, arrojaron valores mínimos y hasta nulos de turbidez, reafirmando la buena calidad del agua de consumo humano resultante de la planta respecto a este parámetro físico (figura 21).

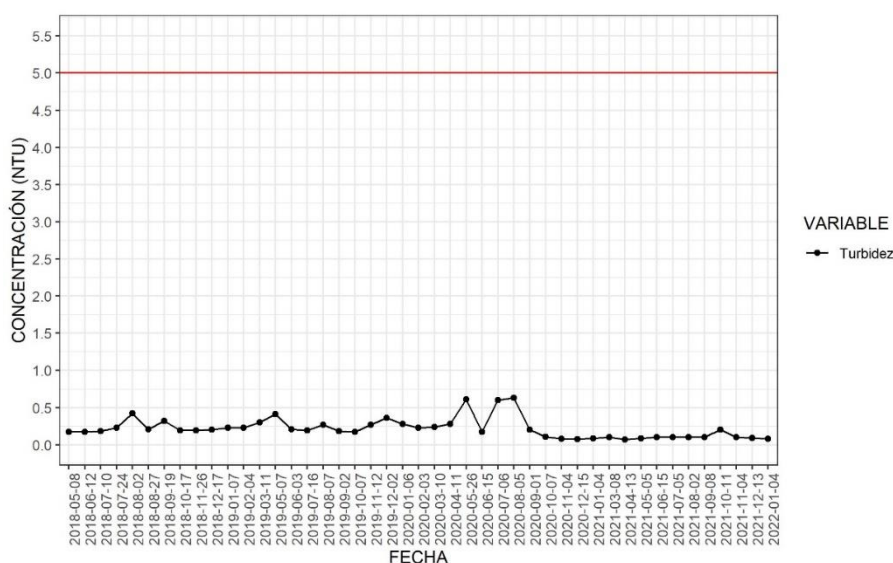


Figura 20. Datos históricos de la turbidez del agua potable en la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

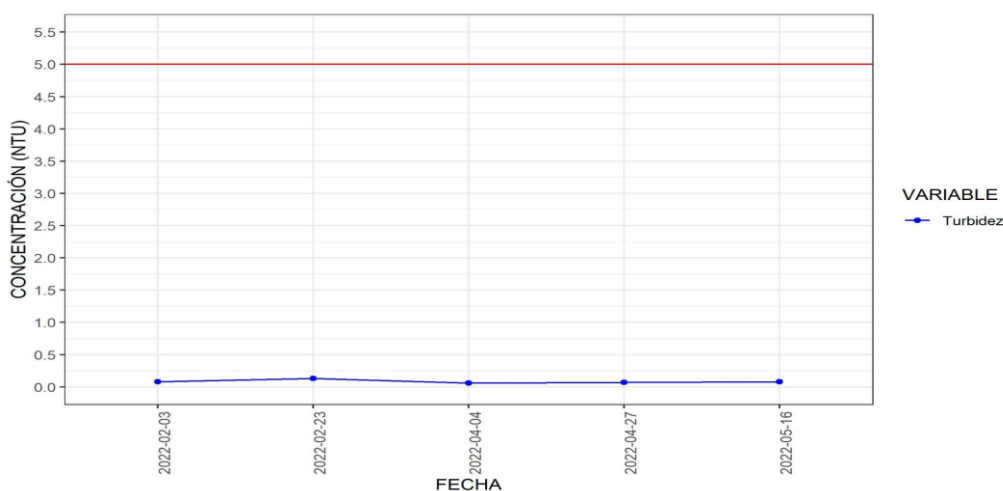


Figura 21. Datos históricos de la turbidez del agua potable en la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

4.2.3 Análisis de la concentración de pH

En cuanto al análisis del pH del agua, los datos históricos registrados en la planta reportan valores entre los 6.5 y 8, encontrándose dentro límites establecidos en la normativa para agua potable (figura 22). Igualmente, el análisis de las muestras tomadas para el objetivo de este estudio, arrojaron valores de pH que oscilan los límites permisibles, incluso se puede observar

una tendencia constante en los valores de este parámetro, pudiendo calificar al agua tratada con un estado de pH neutro (figura 23).

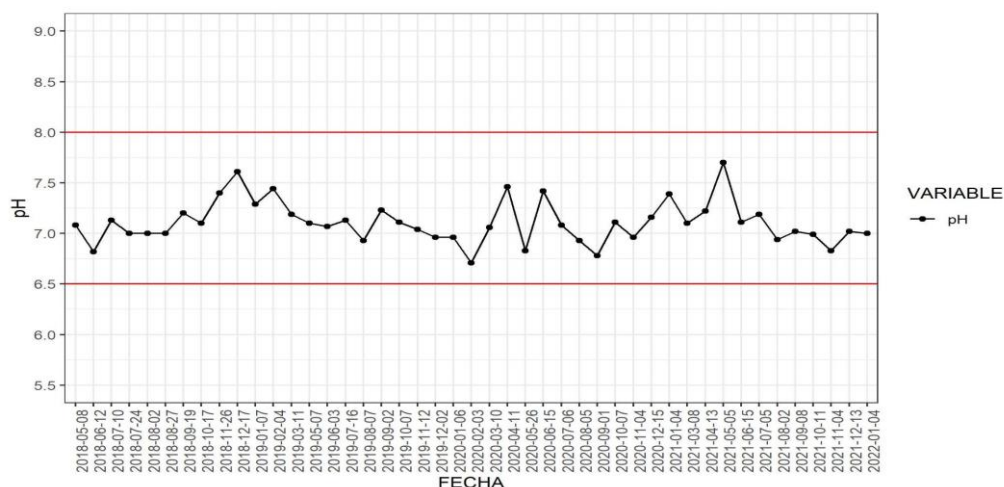


Figura 22. Datos históricos del pH del agua potable en la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

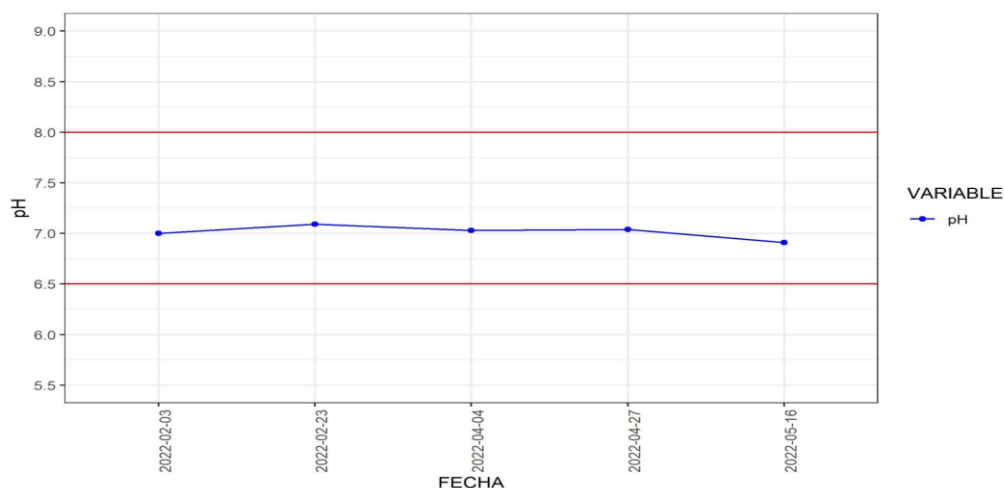


Figura 23. Monitoreo y análisis del pH del agua potable en la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

4.2.4 Análisis de la concentración de TDS

La concentración de Sólidos Disueltos Totales (TDS) monitoreada en el agua de la planta desde el 2018, reporta niveles muy bajos que están lejos del LMP establecido en 1000 mg/L para este parámetro, cumpliendo por ende los estándares de calidad del agua potable (figura 24). De igual modo con el análisis realizado a través de 5 muestreos durante el año 2022, se logró corroborar el cumplimiento de la normativa para TDS, puesto que los niveles se encontraron debajo del LMP (figura 25).

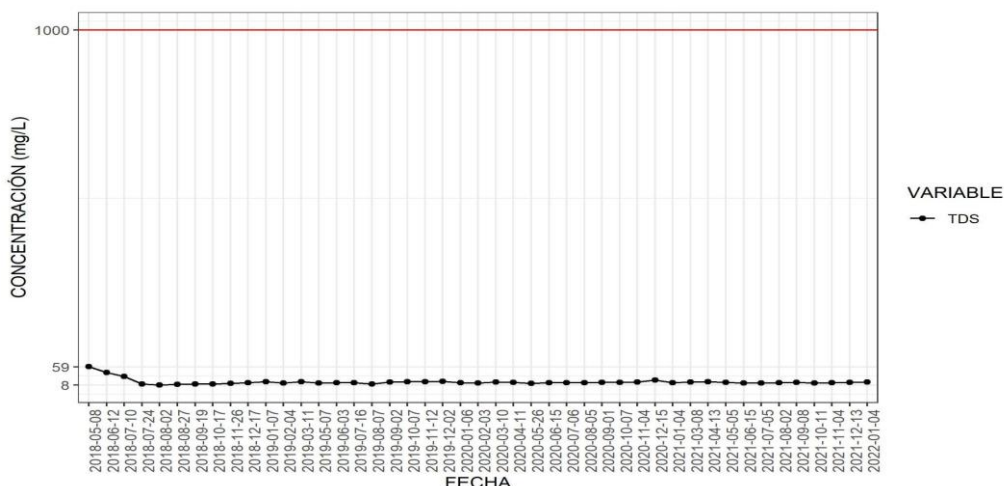


Figura 24. Datos históricos de TDS en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

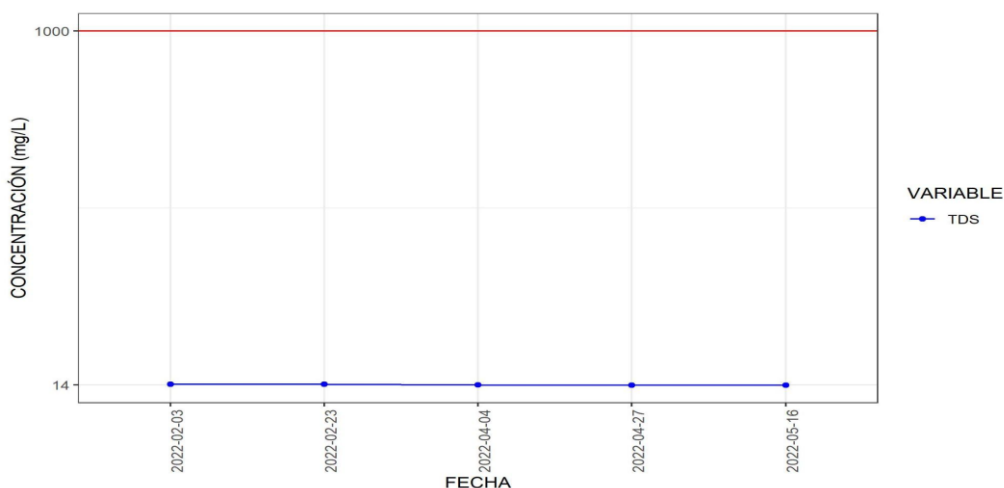


Figura 25. Monitoreo y análisis del TDS del agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

4.2.5 Análisis de la concentración de conductividad

La conductividad del agua es otro de los parámetros monitoreados en el agua potable de la planta “La Loma”, e históricamente se ha reportado niveles bajos que no alcanzan el LMP establecido en la normativa (figura 26). Además, se observa una tendencia muy similar en la conductividad del agua reportada en la planta de potabilización desde el 2018 y los niveles históricos de TDS antes presentados (figura 22), lo que evidencia la relación directa que existe entre estos parámetros y ayuda a verificar la fiabilidad y coherencia de los datos. Por otro lado, los muestreos ejecutados por objetivo de este estudio, también corroboraron los bajos niveles de conductividad en el agua potable que permite establecer un cumplimiento de la normativa (figura 27).

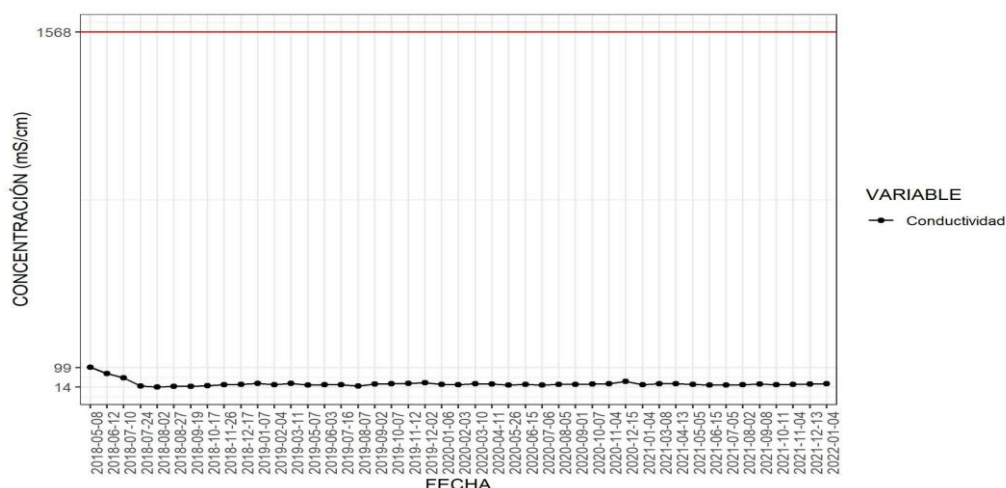


Figura 26. Datos históricos de Conductividad en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

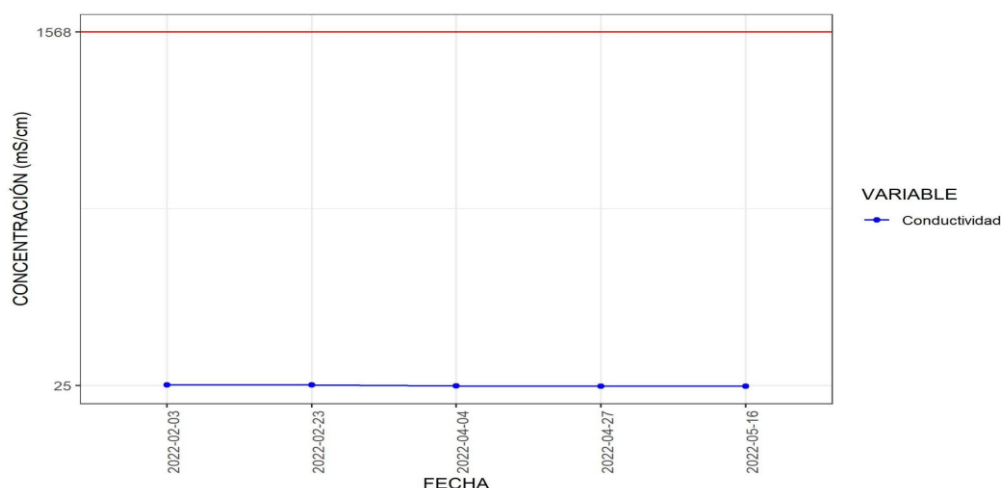


Figura 27. Monitoreo y análisis de Conductividad del agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

4.2.6 Análisis de la concentración de nitratos

El reporte histórico de la concentración de nitratos en el agua potable de la planta registra valores menores a los 10 mg/L, quedando muy lejos del LMP establecido para este parámetro en el agua potable (figura 28). Así mismo, el análisis realizado en el presente trabajo se encontró niveles de nitratos menores al LMP lo que demuestra el cumplimiento de la normativa para este parámetro (figura 29).

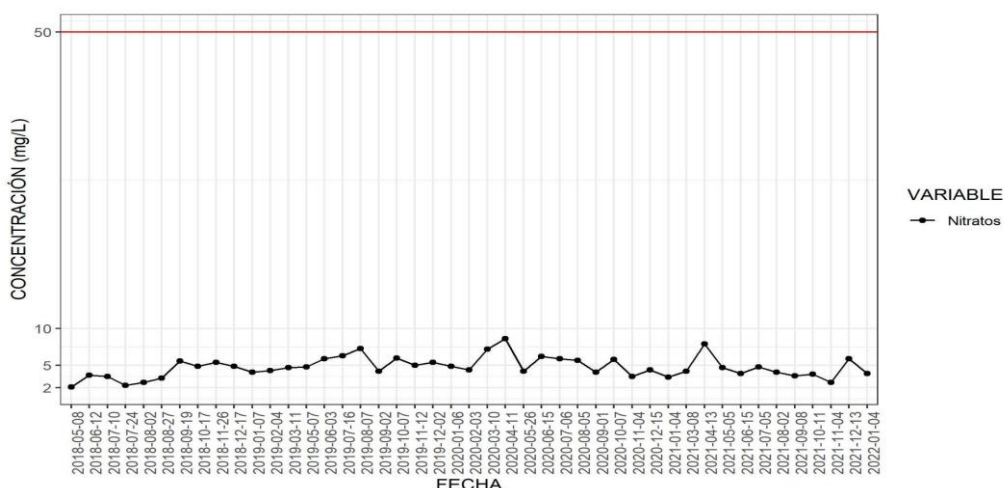


Figura 28. Datos históricos de Nitratos en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

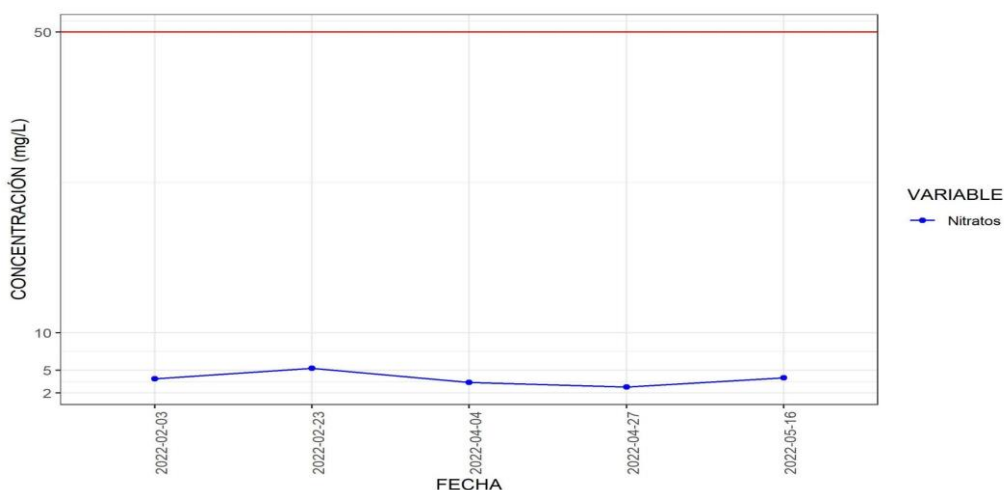


Figura 29. Monitoreo y análisis de Nitratos del agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

4.2.7 Análisis de la concentración de nitritos

Como se puede observar en la figura 30 el monitoreo histórico de nitritos en el agua potable de la planta no tiene una variación considerable a lo largo del periodo de análisis, y los niveles registrados no sobrepasan los 0.2 mg/L, establecido como el límite máximo permisible. Así mismo, las concentraciones registradas a través de los monitoreos realizados para el fin de este estudio, son muy bajas y no sobrepasan el LMP, por ende, se cumple con la normativa vigente para agua potable (figura 31).

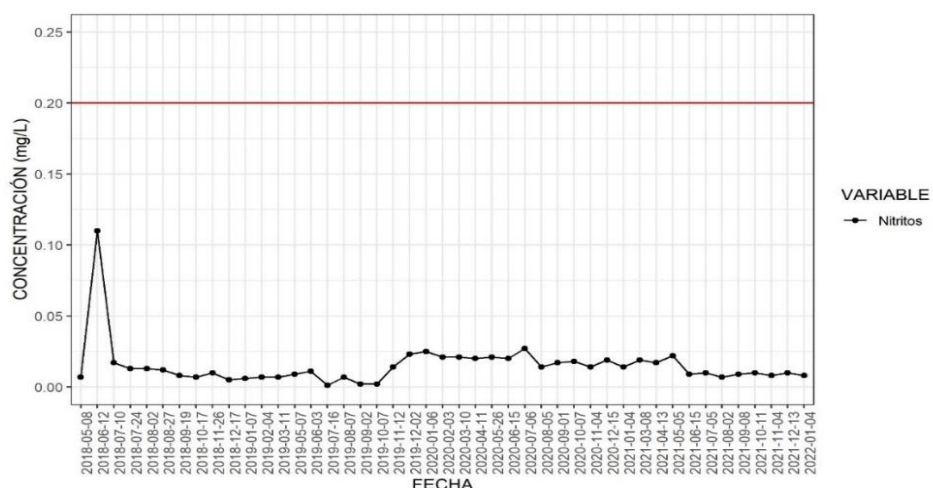


Figura 30. Monitoreo y análisis de Nitritos del agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

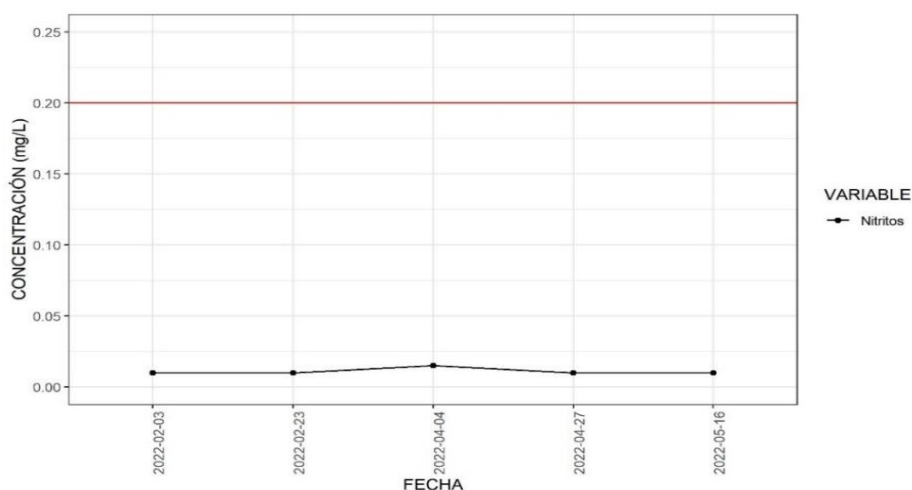


Figura 31. Monitoreo y análisis de Nitritos del agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

4.2.8 Análisis de la concentración de fluoruros

En cuanto a la concentración de fluoruros que presenta el agua potabilizada en la planta “La Loma”, el análisis de datos históricos que abarca monitoreos desde 2018, demuestra que se está cumpliendo con la normativa puesto que los niveles encontrados no sobrepasan los 0.15 mg/L, quedando lejos del LMP (figura 32). Al comparar con los datos resultantes del análisis y muestreos realizados en 5 fechas distintas en 2022, se puede observar una similitud en la concentración de fluoruros del agua tratada, debido a que estos niveles tampoco sobrepasan el límite establecido en la normativa (figura 33).

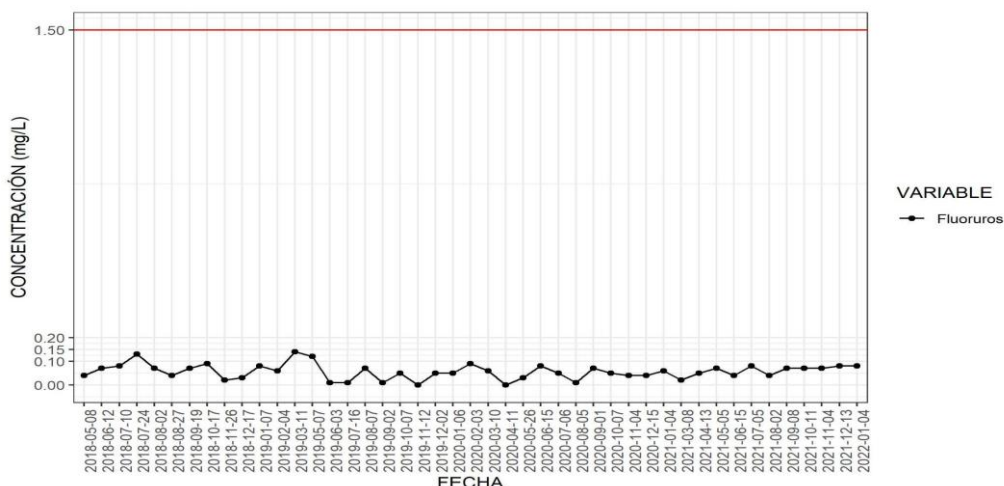


Figura 32. Datos históricos de Fluoruros en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

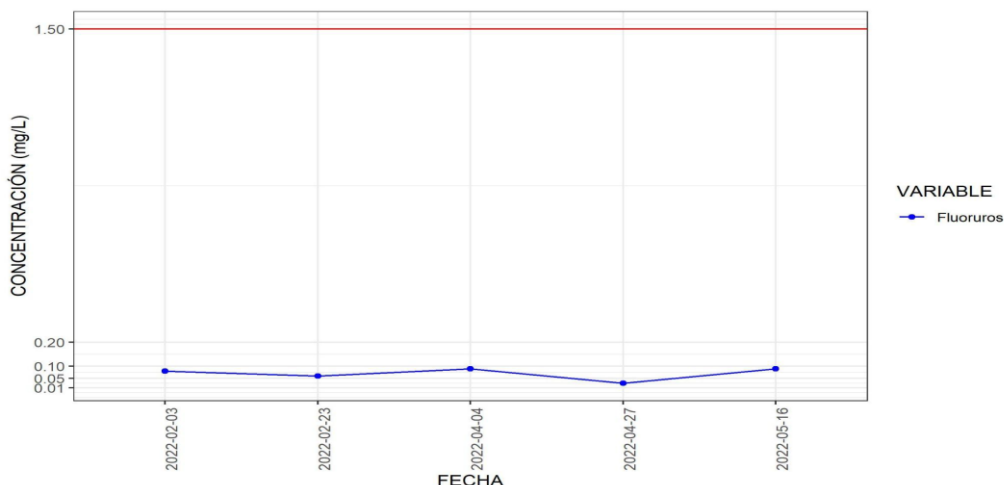


Figura 33. Monitoreo y análisis de fluoruros en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

4.2.9 Análisis de la concentración de fósforo

Los niveles de fósforo registrados de forma periódica desde 2018 en la planta “La Loma” reportan un cumplimiento de la normativa vigente durante todo el periodo de análisis, puesto que su concentración se ubica debajo de 0.1 mg/L (figura 34). Así mismo, al realizar el monitoreo de este parámetro para 2022, se encontró que, en los 5 muestreos ejecutados, la concentración de fósforo estaba por debajo del LMP, por lo que se cumple con la norma INEN 1108 (figura 35).

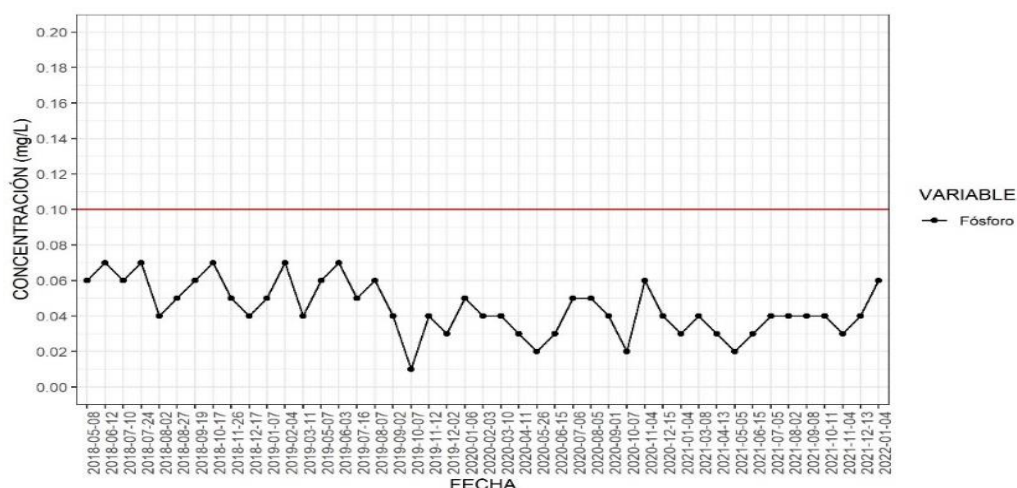


Figura 34. Datos históricos de la concentración de fósforo en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

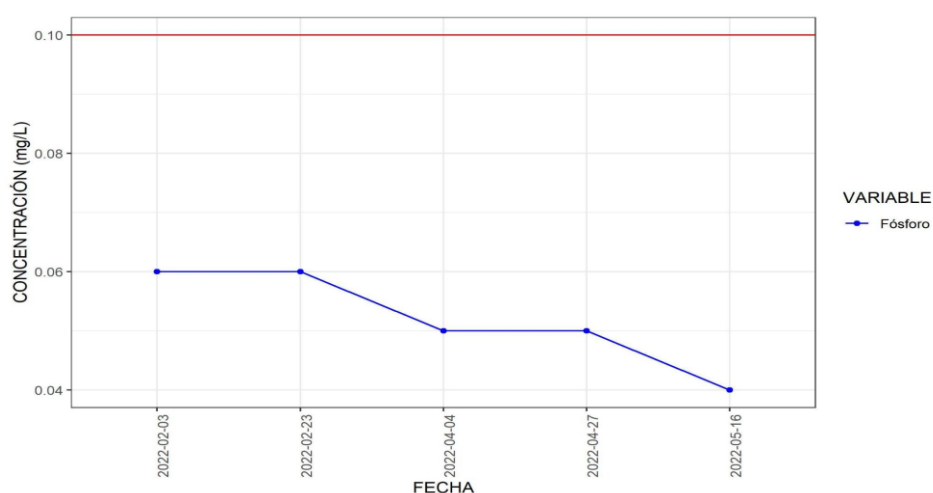


Figura 35. Monitoreo y análisis de la concentración de fósforo en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

4.2.10 Análisis de la concentración de hierro

El análisis histórico de la concentración de hierro en el agua tratada en la planta “La Loma” ha demostrado que el tratamiento de potabilización es eficiente al mantener los niveles de este elemento por debajo de LMP de 0.3 mg/L (figura 36). Lo antes dicho se corroboró al realizar los monitoreos representados en la figura 37, que, aunque demostraban una tendencia de aumento al ir realizando los análisis, no llegaron a sobrepasar el LMP establecido en la normativa.

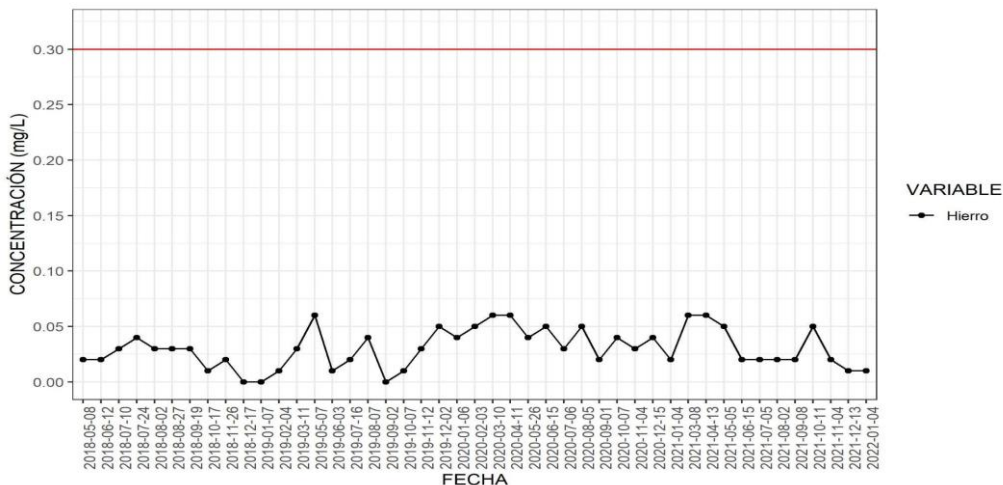


Figura 36. Datos históricos de Hierro en el agua potable en la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

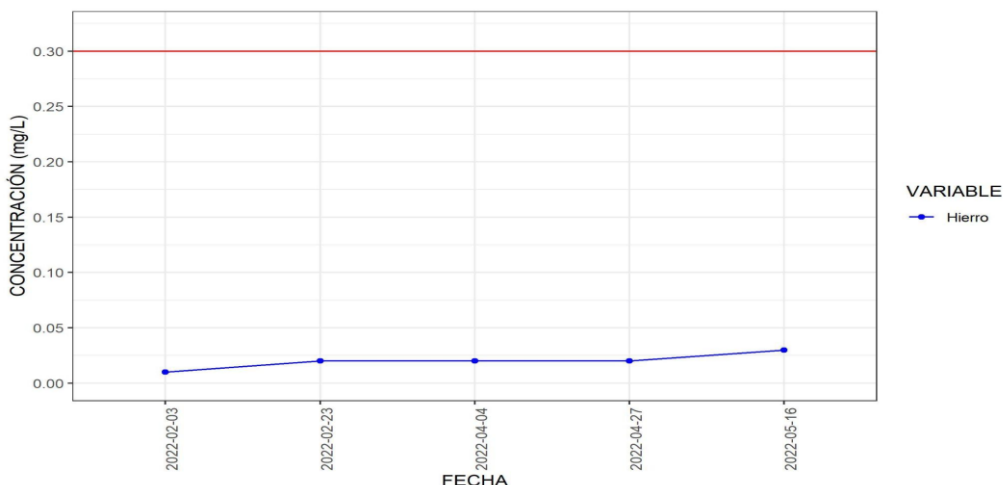


Figura 37. Monitoreo y análisis del Hierro en el agua potable en la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

4.2.11 Análisis de la concentración de manganeso

El reporte histórico del manganeso presente en el agua tratada de la planta “La Loma” muestra resultados similares a los de otros metales analizados periódicamente en la planta. Como se observa en la figura 38 las concentraciones de manganeso registradas desde 2018 son mínimas e incluso nulas en algunos monitoreos, por lo que no sobrepasan el LMP y se encuentran muy alejadas del mismo. Con los muestreos y análisis realizados para la presente investigación se encontró resultados parecidos, en los que los niveles de manganeso estaban muy cercanos a 0 mg/L, cumpliendo con la normativa correspondiente (figura 39).

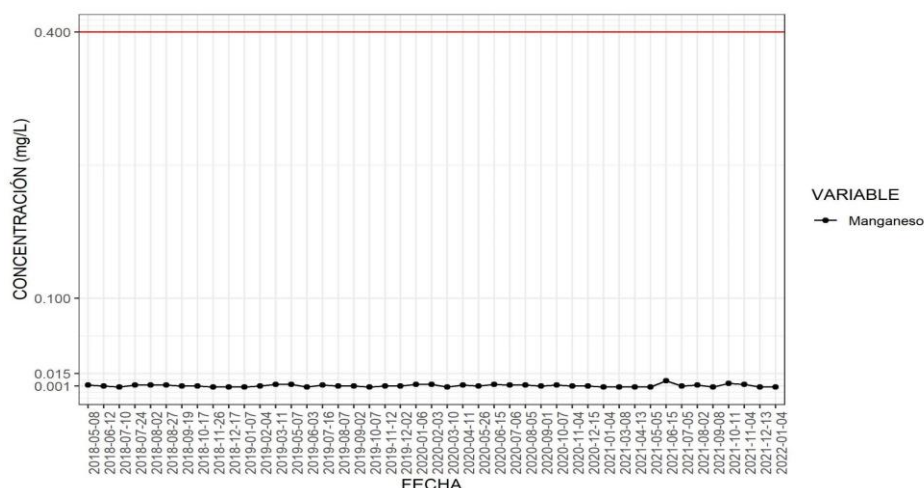


Figura 38. Datos históricos de concentración de manganeso en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

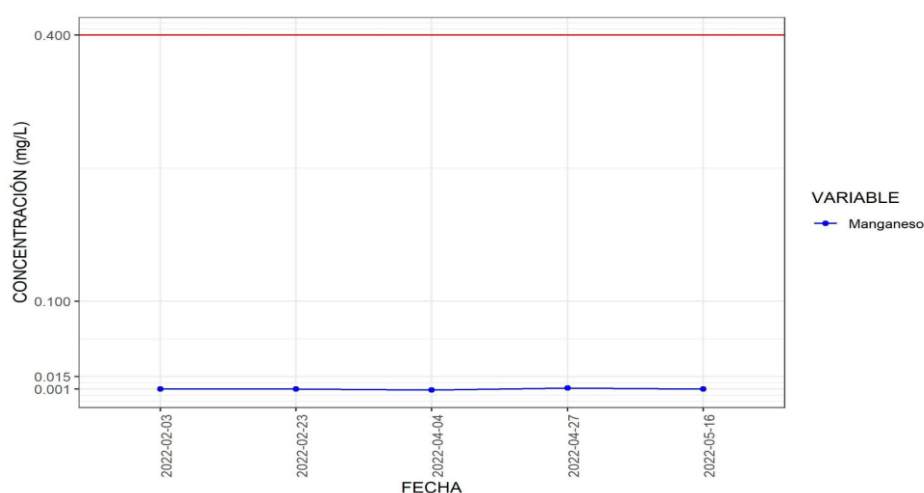


Figura 39. Monitoreo y análisis de la concentración de manganeso en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

4.2.12 Análisis de la concentración de sulfatos

En cuanto a la concentración de sulfatos reportada desde el 2018, se puede evidenciar una ausencia de estos compuestos en el agua tratada en la planta “La Loma” (figura 40). Lo mismo que se logró constatar con los monitoreos y análisis realizados en 2022, en donde los niveles de sulfatos dieron 0 mg/L en los 5 muestreos realizados al agua potabilizada (figura 41).

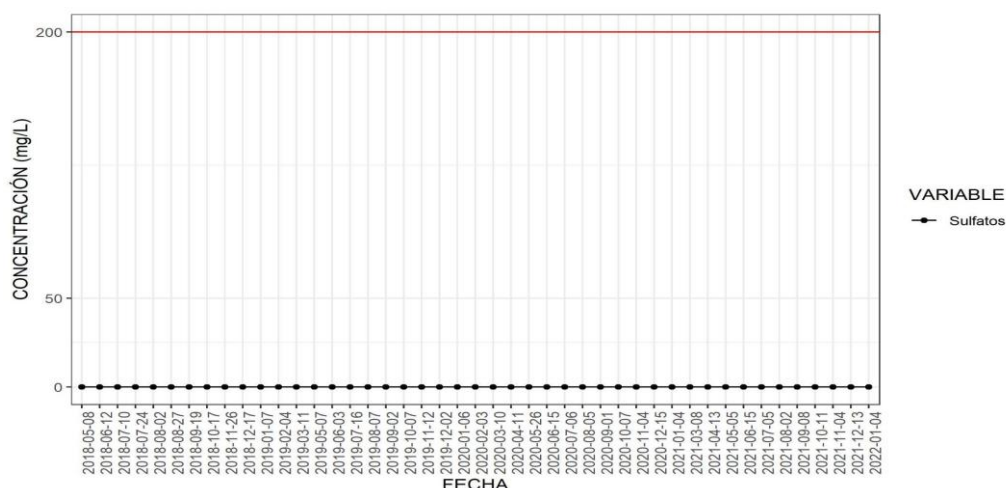


Figura 40. Datos históricos de concentración de sulfatos en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

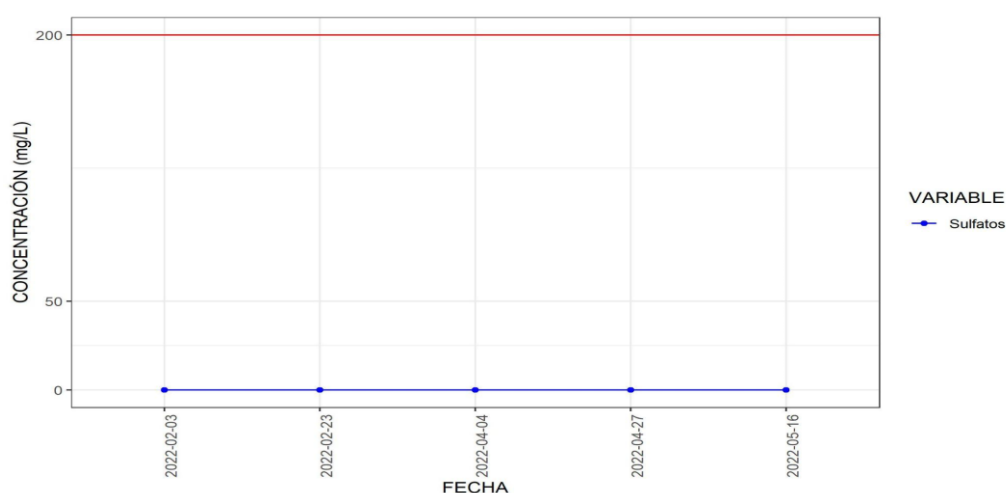


Figura 41. Monitoreo y análisis de la concentración de sulfatos en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

4.2.13 Análisis de la concentración de alcalinidad Total

Los niveles de alcalinidad total registrados históricamente desde 2018 en la planta indican un cumplimiento de la normativa al encontrarse concentraciones muy por debajo del límite máximo permisible establecido en 370 mg/L para este parámetro (figura 42). De la misma forma, con los monitoreos y análisis realizados para los objetivos de este estudio se detectaron niveles muy bajos de alcalinidad total en el agua, concentraciones iguales o menores a los 20 mg/L que quedan debajo del LMP (figura 43).

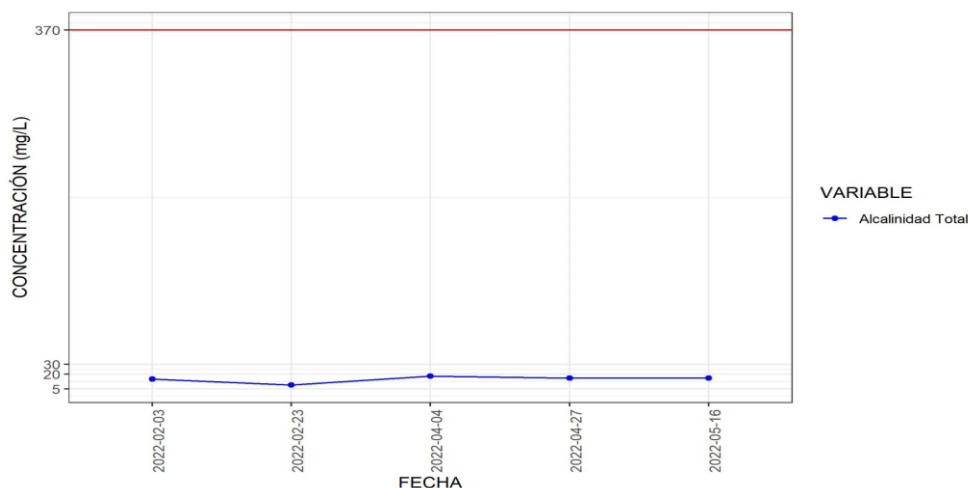


Figura 42. Datos históricos de Alcalinidad Total en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

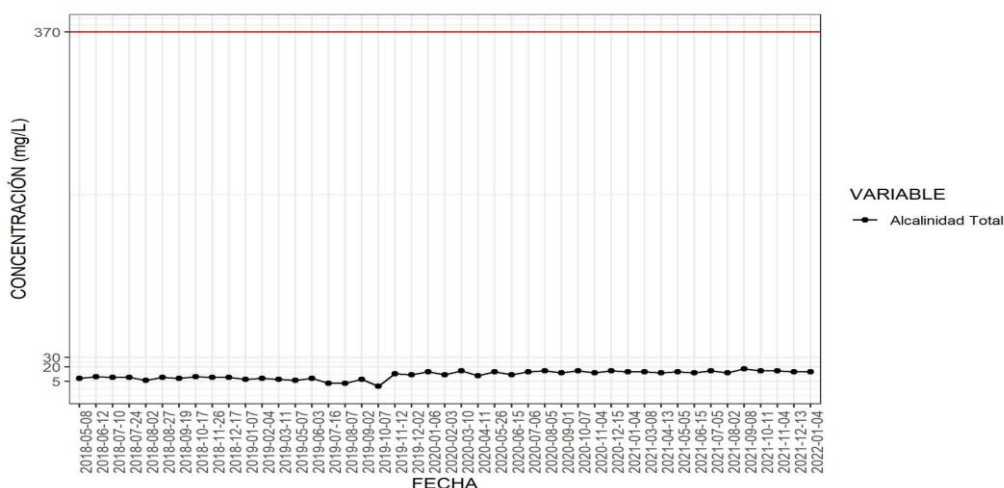


Figura 43. Monitoreo y análisis de Alcalinidad Total en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

4.2.14 Análisis de la concentración de dureza Total

La dureza total, en la que se incluye la dureza cálcica y magnésica del agua, es otro de los parámetros que ha sido monitoreado históricamente en el agua tratada de la planta “La Loma”. Como se puede observar en la figura 44 los registros desde el 2018 no han reportado un incumplimiento de la normativa para este parámetro y, por ende, tanto los niveles de dureza cálcica como de dureza magnésica tampoco sobrepasan los LMP permisibles establecidos. Este cumplimiento de la normativa se reafirmó al realizar el análisis de las muestras tomadas para este estudio, en donde la dureza total no sobrepasaba los 20 mg/L cumpliendo a cabalidad con la normativa (figura 45).

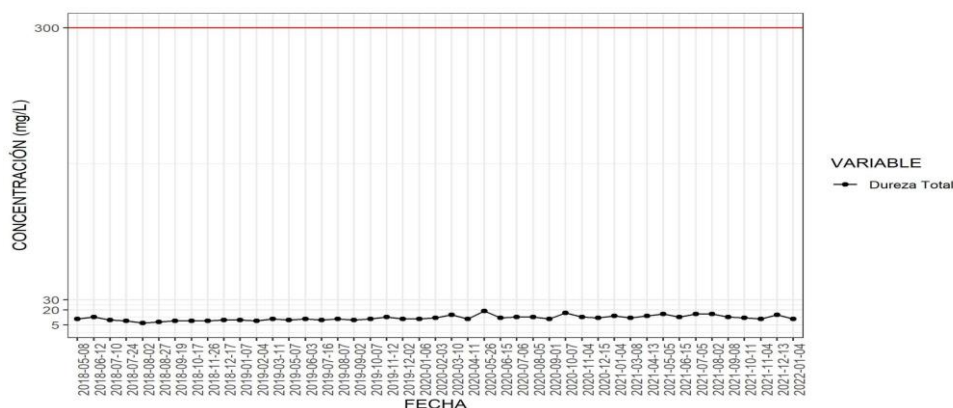


Figura 44. Datos históricos de Dureza Total en el agua potable de la planta “La Loma”

Nota: Elaborado por los autores.

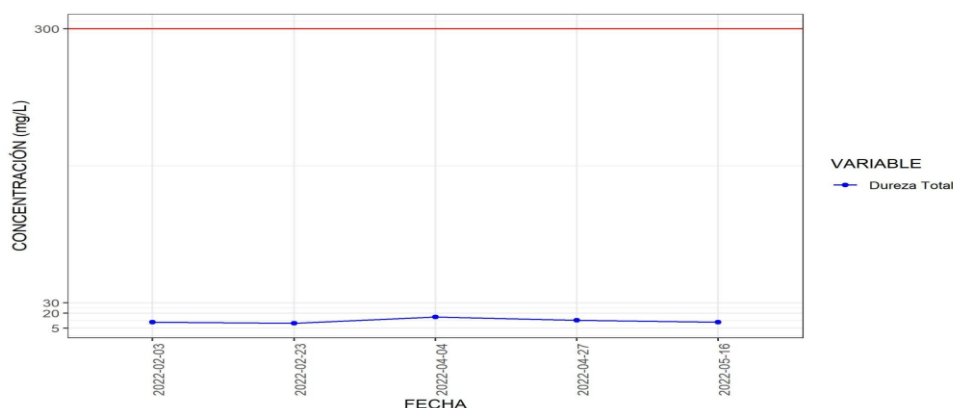


Figura 45. Monitoreo y análisis de Dureza Total en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

4.2.15 Análisis de la concentración de coliformes Totales

En la planta “La Loma” la presencia de coliformes totales históricamente ha sido reportada como nula en el agua potabilizada cumpliendo con la normativa ambiental, a excepción del mes de agosto de 2018 en donde se reporta la presencia de 3 UFC/100ml (figura 46). Así mismo, al comprobar la información a través de los muestreos realizados con fines de este estudio, también se identificó un incumplimiento de la normativa al encontrar presencia de UFC de coliformes totales en el muestreo realizado en mayo de 2022 (figura 47), cuando la normativa establece una ausencia de coliformes totales para estar apta para el consumo humano.

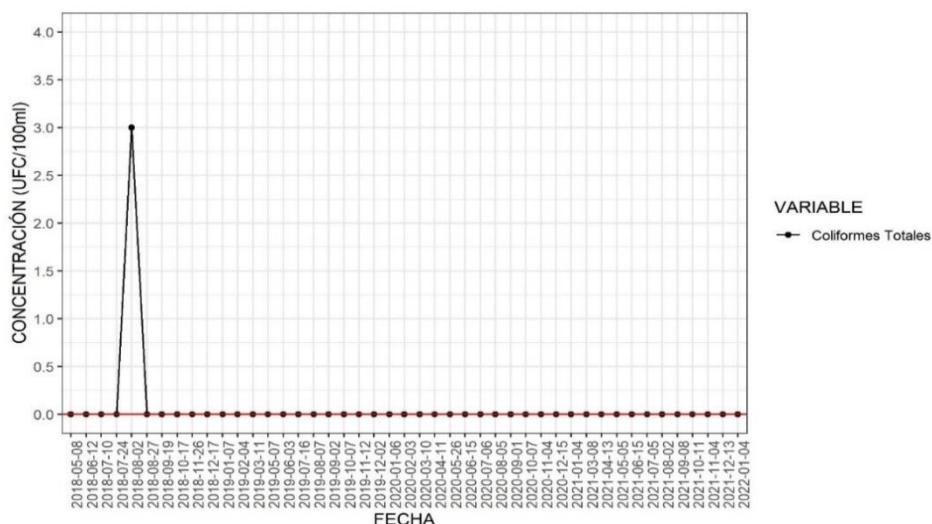


Figura 46. Datos históricos de Coliformes Totales en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

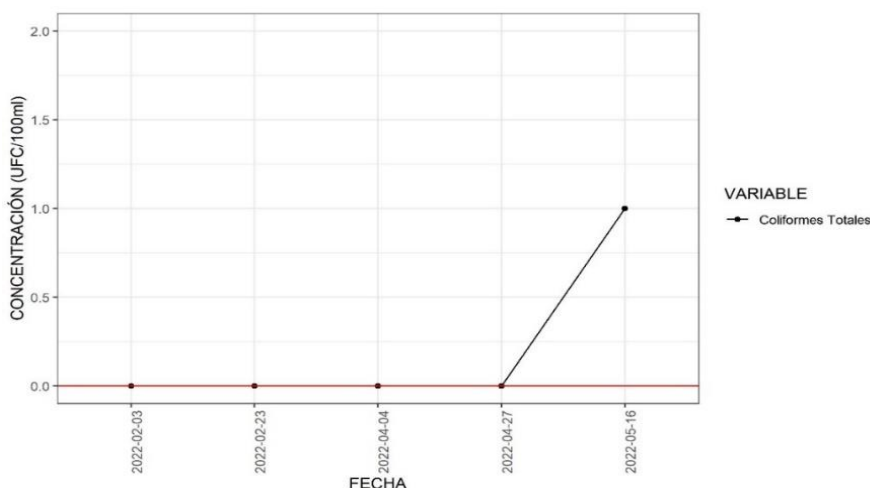


Figura 47. Monitoreo y análisis de Coliformes Totales en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

4.2.16 Análisis de la concentración de coliformes Fecales (Escherichia Coli)

Finalmente, según los monitoreos y registros históricos la presencia de coliformes fecales en el agua tratada en la planta “La Loma” ha sido nula desde el año 2018 (figura 48). Así mismo, los monitoreos realizados en 2022 reportaron la ausencia de UFC de Escherichia Coli en el agua potabilizada, lo que permite establecer un cumplimiento de la normativa basada en el análisis de este parámetro microbiológico (figura 49).

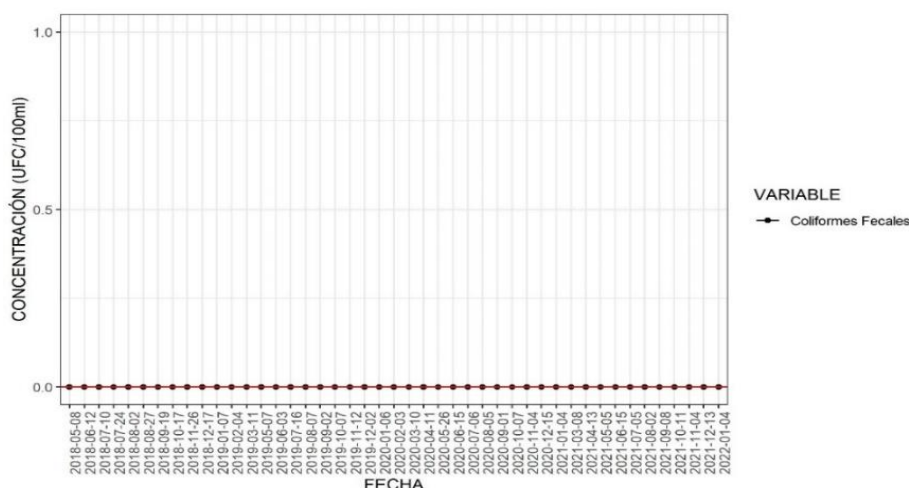


Figura 48. Datos históricos de Coliformes Fecales en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

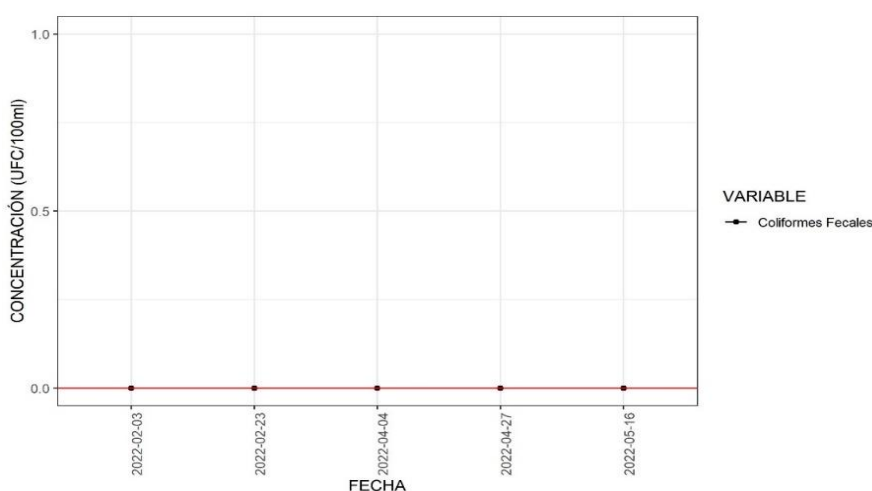


Figura 49. Monitoreo y análisis de Coliformes Fecales en el agua potable de la planta “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

4.3 Eficiencia de las unidades de tratamiento

En la figura 50 se puede observar los resultados del cálculo de la eficiencia del tratamiento que se lleva a cabo en la planta “La Loma” para remover la concentración de los distintos parámetros objeto de estudio, se ha omitido los coliformes fecales y los sulfatos, debido a que su concentración en todo el tiempo desde el ingreso a la planta hasta la llegada al reservorio se ha mantenido en cero, por lo cual no se puede evaluar la capacidad de filtros y la cloración para remover estos parámetros.

Los resultados reflejan que la planta tiene la capacidad de remover entre el 12.5% al 50% del color presente en el agua, siendo un valor considerable ya que de acuerdo con Galvis Castaño & Latorreo Montero, (1999) una planta de filtración lenta remueve alrededor del 30% de este parámetro. En el caso de la turbidez la planta tiene efectividad regular para disminuir la concentración de este parámetro alcanzando eficiencias entre 30% a 70% lo cual se encuentra cercano a lo establecido por Galvis Castaño & Latorreo Montero, (1999) quienes mencionan que la remoción de la turbidez debe encontrarse entre un 69% a 88%. Otro parámetro que la planta logra tratar con gran efectividad son los coliformes totales, ya que su concentración disminuye en un 100% tal como menciona Romero Rojas, (1999) quien sugiere que la remoción de este parámetro debe ser superior al 95% en la filtración lenta y alcanzando un valor del 100% luego de la cloración. Por otro lado, parámetros como el manganeso y hierro también logran ser tratados en la planta alcanzando eficiencias entre 67 a 100% y 34 a 67% respectivamente, cumpliendo con lo mencionado por Galvis Castaño & Latorreo Montero, (1999) quienes sugieren que durante la prefiltración y filtración lenta se logra disminuir entre un 30% a 90% de estos parámetros presentes en el agua. Un parámetro que igualmente logra ser tratado en la planta y disminuye su concentración es la dureza magnésica, existiendo una disminución de su concentración entre 20% a 30%. Al contrario que los casos anteriores en la figura 50 se puede observar que parámetros como la dureza cálcica, fluoruros, fosforo, nitritos, nitratos y sólidos disueltos totales no obtuvieron un tratamiento efectivo por parte de la planta, ya que durante algunos monitoreos su concentración se mantuvo igual o aumento, por lo cual se debería estudiar a más detalle la razón por la cual ocurre este fenómeno; sin embargo, debido a que la calidad del agua cruda es muy buena la concentración de estos parámetros es baja y no representa ningún riesgo para la salud de los consumidores. Autores como Suarez Ruiz, (2012) y Torres & Villanueva, (2014) atribuyen el aumento de la concentración de ciertos parámetros al mantenimiento inadecuado de los filtros.

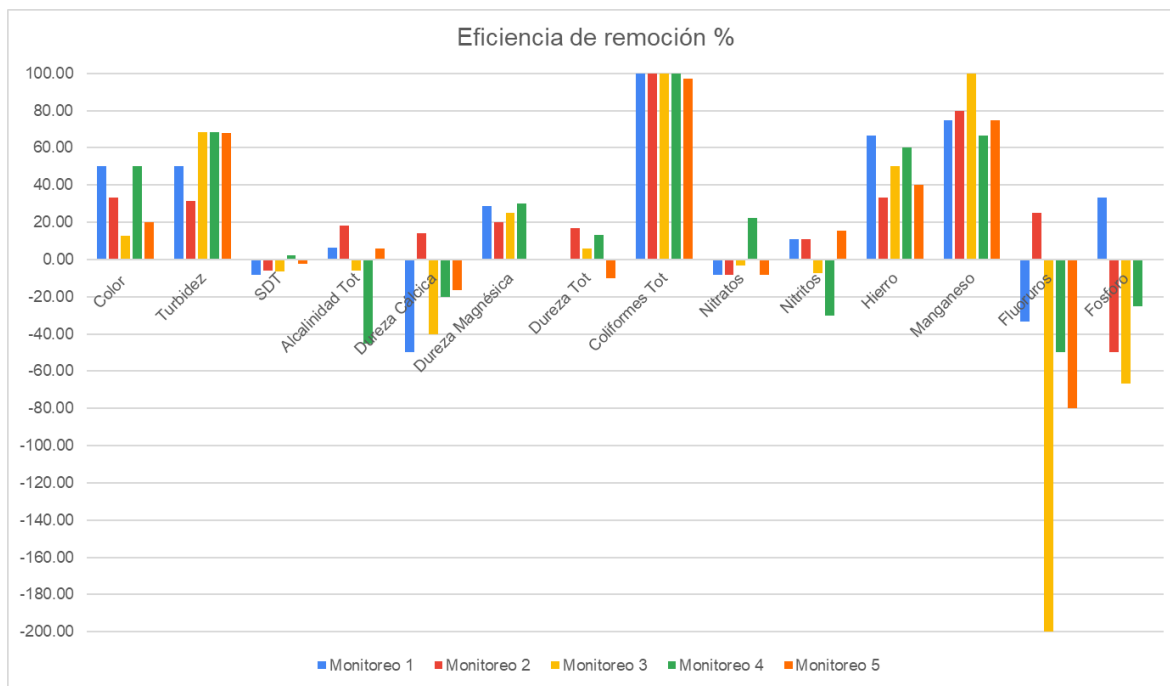


Figura 50. Eficiencia de la remoción de los parámetros de estudio en la PTAP “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

4.4 Análisis de datos del caudal de agua que ingresa a la planta

El análisis de los datos históricos del caudal que ingresó a la PTAP “La Loma”, reflejó una media equivalente a 6.74 L/s y desviación estándar de 1.2, es decir que, en base a la desviación estándar calculada los datos se encuentran relativamente cercanos respecto a su media, con un caudal mínimo 2.24 L/s registrado el año 2022 y un máximo de 10 L/s en los años 2019, 2021 y 2022. En la figura 51 se puede apreciar como el caudal se encuentra la mayor parte del tiempo entre un rango de 4 a 9 L/s, obteniéndose los picos más altos en los meses de julio, agosto y noviembre, que corresponde a la época lluviosa de la zona donde se realiza la captación (quebrada de Aurín), mientras los picos más bajos se observan en los meses de enero, febrero y diciembre, que corresponde a la época de estiaje.

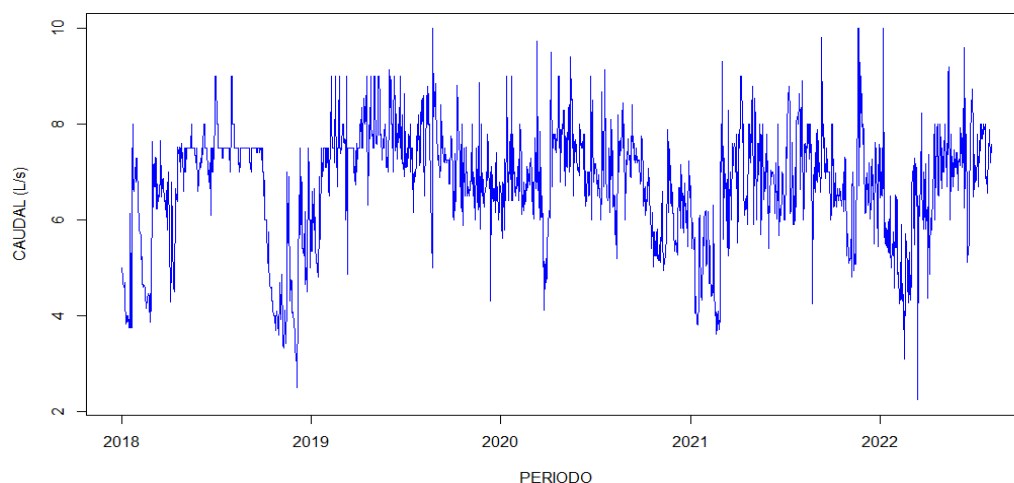


Figura 51. Datos históricos del caudal que ha ingresado a la PTAP “La Loma”.

Nota: Elaborado por los autores.

En la figura 52 se muestran los resultados de los 5 monitoreos que se realizó del caudal que ingresó a la planta en conjunto con el monitoreo de los parámetros físicos químicos y microbiológicos. Los resultados reflejan que el caudal se mantuvo en un rango entre 4.28 a 9.19 L/s, constatando resultados similares al análisis de los datos históricos. Según los resultados, el caudal que ingresa a la planta no es suficiente para abastecer a la población de estudio durante épocas no lluviosas ya que, de acuerdo con información proporcionada por el GADM de Nabón, la planta de “Jully” trata en meses como febrero alrededor de 2.5 L/s, por lo cual en conjunto ambas plantas no alcanzan a tratar los 10 L/s que deben ser destinados para cubrir el abastecimiento de toda la población.

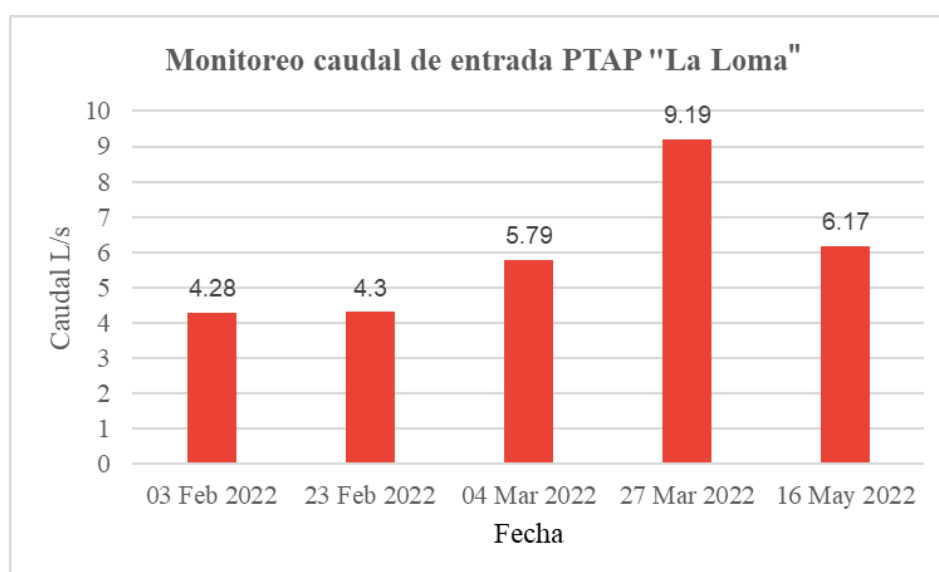


Figura 52. Monitoreo del caudal de agua que ingresa a la planta.

Nota: Elaborado por los autores.

4.5 Determinación del déficit de caudal en la planta

Como se puede observar en la tabla 17, el año en cual se registró un menor caudal de agua que ingresó fue 2018, con un promedio de 6.22 L/s. Por otro lado, el mes que menor caudal registró fue febrero, con un valor promedio de 5.62 L/s, siendo el actual año 2022 donde se obtuvo el menor promedio mensual de 4.8 L/s. Es por ello, que se propone como el mes de mayor estiaje a febrero y se utiliza para determinar el déficit de caudal que ingresa a la planta en comparación con la capacidad de diseño que tiene actualmente y la cual fue proyectada a 20 años.

Tabla 17. Caudal promedio mensual que ha ingresado a la PTAP “La Loma” en los años de estudio.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
2018	5.19	4.85	-	6.3	7.33	7.32	7.62	7.63	7.43	4.84	4.47	5.33	6.22
2019	6.29	7.57	7.39	7.86	7.84	7.94	7.37	7.82	-	7.02	6.76	6.66	7.32
2020	6.9	6.87	6.22	7.62	7.63	7.25	7.04	7.01	-	-	-	-	7.07
2021	5.07	4.81	6.83	7.46	7.02	6.58	7.39	7.17	7.22	6.28	7.38	6.75	6.66
2022	5.71	4.8	6.31	6.81	7.4	7.28	7.38	-	-	-	-	-	6.55
Arca	5.07	4.83	6.83	7.47	6.57	6.56	6.92	6.94	6.91	6.07	6.18	6.3	6.39
Prom	5.71	5.62	6.72	7.25	7.30	7.16	7.29	7.31	7.19	6.05	6.20	6.26	

Nota: Elaborado por los autores. Los valores se encuentran en L/s.

4.5.1 Déficit de agua para el caudal de diseño actual

Para calcular este déficit se utiliza el caudal de diseño actual de la PTAP “La Loma” el cual es 10 L/s.

$$Dfa = \frac{(Qa - Qprom)}{Qa} \times 100 \%$$

$$Dfa = \frac{\left(10 \frac{L}{s} - 5.62 \frac{L}{s}\right)}{10 \frac{L}{s}} \times 100 \%$$

$$Dfa = 43.78 \%$$

Ecuación 59

Para contrarrestar el déficit de 43.78% de caudal que ingresa a la planta actualmente, se debería captar un caudal adicional de alrededor de 4.5 L/s

4.5.2 Déficit de agua para el caudal de diseño proyectado

Para obtener este déficit se utiliza el caudal de agua proyectado para la repotenciación de la PTAP “La Loma” a 20 años, el cual es de 12.08 L/s.

$$Dfp = \frac{(Qp - Qprom)}{Qp} \times 100 \%$$

$$Dfp = \frac{\left(12.08 \frac{L}{s} - 5.62 \frac{L}{s}\right)}{12.08 \frac{L}{s}} \times 100 \%$$

$$Dfp = 53.746 \%$$

Ecuación 60

Para mantener un abastecimiento continuo del servicio de agua potable que ofrece la planta en un lapso de 20 años, se debería captar un caudal adicional de alrededor de 6.5 L/s.

4.6 Determinación de la pérdida de caudal en la planta de tratamiento.

Existe una pérdida considerable de caudal que se da a través de las grietas en las paredes de los prefiltros y filtros y de los accesorios como válvulas que cierran o abren el paso del flujo de agua hacia las tuberías de desfogue. En la tabla 18 se puede apreciar que el caudal que se está perdiendo debido a estas imperfecciones alcanza el 26.79% del total de agua que ingresa a la planta, y como se observa en la figura 53 la mayor pérdida de caudal se da en los prefiltros, ya que estas unidades son las que se encuentran en peores condiciones y necesitan un mayor mantenimiento.

Tabla 18. Pérdida de caudal en la PTAP “La Loma”.

Parámetro	Unidad
Caudal que ingresó a la planta (L/s)	7.79
Caudal que salió de los prefiltros (L/s)	6.05
Caudal que salió de los filtros (L/s)	5.7
Pérdida de caudal (L/s)	2.09
Pérdida de caudal %	26.79

Nota: Elaborado por los autores.

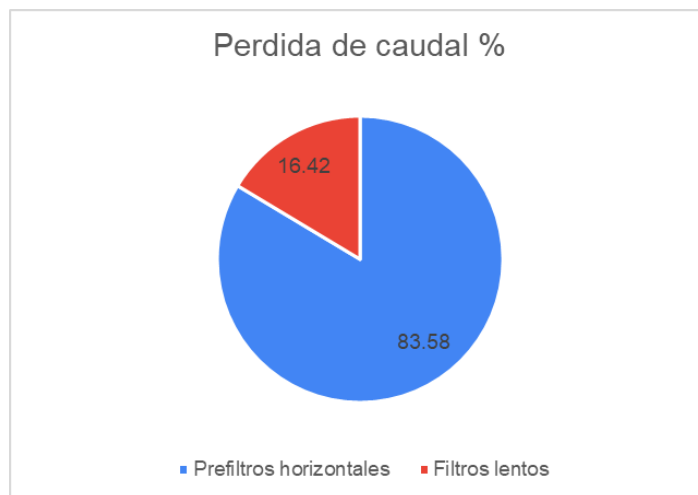


Figura 53. Porcentaje de pérdida de caudal de los filtros y prefiltros.

Nota: Elaborado por los autores.

4.7 Velocidad de filtración

Como se puede observar en la figura 54, los 4 filtros presentes en la planta están trabajando en condiciones normales como menciona la norma CPE INEN 005-9-1, la cual establece que deben mantener una velocidad de filtración entre 0.1 y 0.2 m/h, por lo cual se puede decir que los filtros no se encuentran saturados y pueden continuar funcionando normalmente con los mantenimientos periódicos que se los da. Otra razón por la cual la tasa de filtración es normal puede ser debido a que no operan bajo la capacidad hidráulica a la cual están diseñados, además de estar sobredimensionados esto provoca que la carrera del filtro sea más larga.

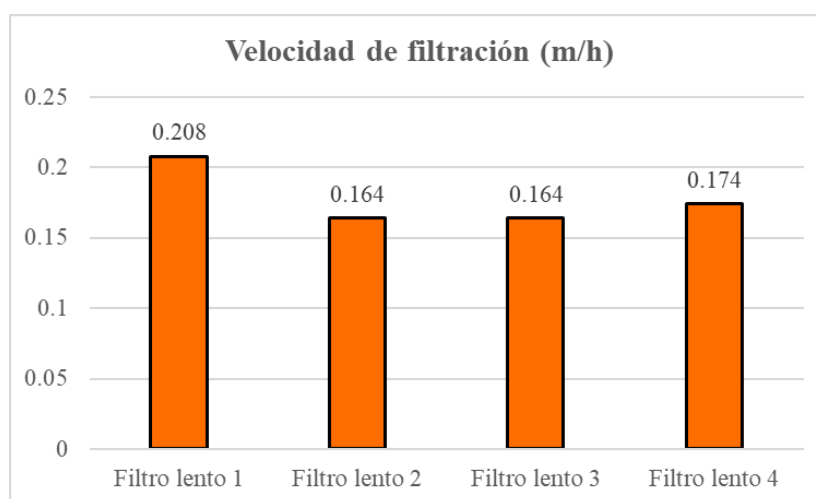


Figura 54. Velocidad de filtración de los filtros lentos de arena en la PTAP "La Loma".

Nota: Elaborado por los autores.

4.8 Determinación del tamaño de partículas y coeficiente de uniformidad del lecho filtrante en los filtros.

A continuación, se presentan los resultados del análisis del ensayo granulométrico correspondientes a los filtros de arena 2 y 4, respectivamente.

Tabla 19. *Determinación de D60, D10 y Cu correspondientes al filtro de arena #2.*

D60	D10	Cu
1.357 mm	0.412 mm	3.291

Nota: Elaborado por los autores.

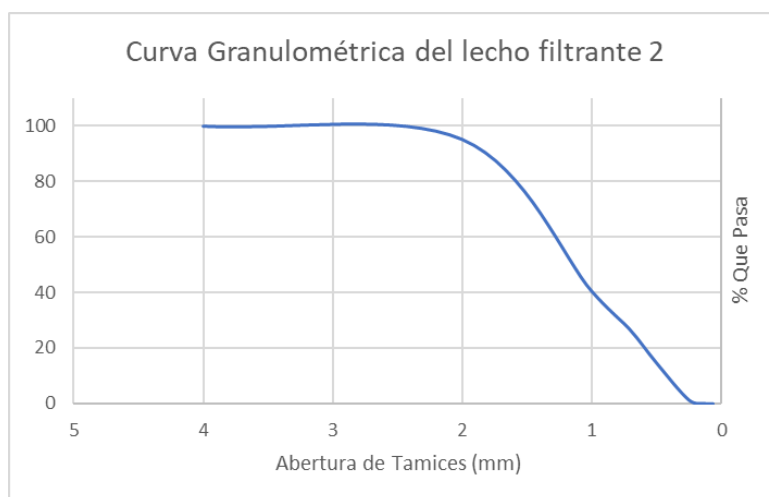


Figura 55. *Curva Granulométrica correspondiente al lecho filtrante 2.*

Nota: Elaborado por los autores

Tabla 20. *Determinación de D60, D10 y Cu correspondientes al filtro de arena #4.*

D60	D10	Cu
1.340 mm	0.402 mm	3.326

Nota: Elaborado por los autores.

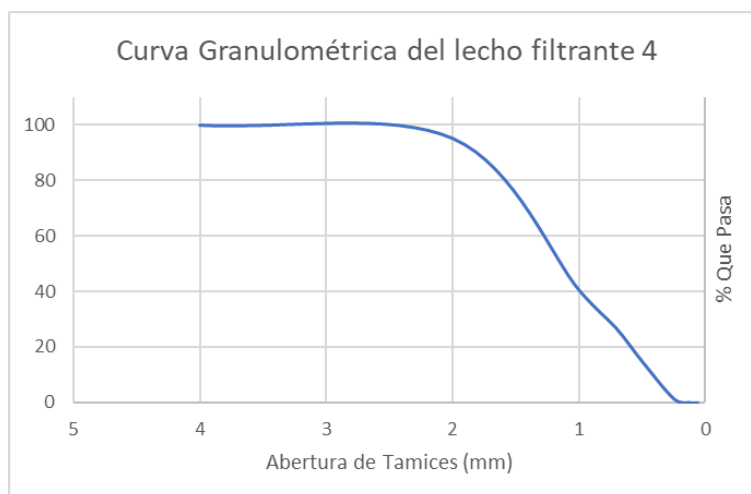


Figura 56. Curva Granulométrica correspondiente al lecho filtrante 4.





Nota: Elaborado por los autores.

En efecto, como se aprecia en la figura 55 y 56 la granulometría de los filtros de arena presenta resultados muy similares; sin embargo, los resultados obtenidos del ensayo reflejan el incumplimiento con lo establecido en la norma CPE INEN 005-9-1, al tener la arena de los filtros un diámetro efectivo superior a los 0.35 mm que se sugiere igualmente un coeficiente de uniformidad superior a 3. Sin embargo, no se ve que esto afecte de manera considerable la operación de los filtros ya que el diámetro efectivo de la arena no supera en gran medida a lo establecido en la norma y se encuentra dentro del rango sugerido por autores como Suarez Ruiz, (2012) quienes mencionan el uso de una arena con un diámetro efectivo entre 0.25 a 0.4 mm.

4.9 Estado actual de la planta

En la tabla 21 se puede observar algunas evidencias de daños en las estructuras y fallos en la operación que fueron encontrados en la PTAP “La Loma”.

Tabla 21. Identificación del estado de las unidades de tratamiento en la PTAP “La Loma”.

Observación	Evidencia
Cajón de aforo	
<p>La pintura del cajón de aforo se encuentra deteriorada y el hormigón corroído. Existen algunas fisuras en las paredes y filos rotos.</p>	
<p>En algunas ocasiones se observó una formación considerable de algas en el cajón de aforo debido a la falta de limpieza.</p>	
Prefiltros	
<p>La pintura de los prefiltros se encuentra en mal estado, se puede observar que el hormigón se encuentra corroído y por tanto existen algunas fisuras en las paredes y filos rotos. Las paredes de los prefiltros presentan humedad, lo que indica que existe fuga de agua a través de ellas.</p>	
<p>En algunas ocasiones se observó al segundo prefiltro inundado, lo que indica que pueda estar colmatado debido a la falta de mantenimiento.</p>	

En la cámara de salida del prefiltro se puede observar la presencia de algas, debido a la escasa limpieza que se les da.



Una de las válvulas de desagüe de los prefiltros se encuentra aislada, lo que provoca que no pueda cerrarse completamente y exista una fuga continua de agua a través de ella.



Filtros lentos

Se puede observar que la pintura de los filtros lentos se encuentra en mal estado y el hormigón parece estar corroído, debido a esto las paredes también presentan pequeñas grietas y fisuras. Al igual que en los prefiltros, las paredes de los filtros presentan humedad, lo cual puede ser un indicativo de una mala impermeabilización o fuga de agua a través de las grietas.



Al vaciar los filtros, se pudo constatar que las fisuras inician desde adentro, he incluso se puede observar la formación de fisuras horizontales, que en algunas ocasiones suponen un peligro para las estructuras, estas ocasionadas probablemente por un exceso de humedad en las paredes o un mal asentamiento de la estructura.



En algunas ocasiones se pudo observar que a más de la capa de schmutzdecke, existe una formación considerablemente grande de algas, debido a los largos periodos sin un mantenimiento adecuado de los filtros.



En los vertederos de los filtros se pudo observar el mayor problema, debido a que existe una fuga considerablemente grande de agua a través de las tuberías, paredes y válvulas, que ocasiona que el suelo permanezca permanentemente inundado. Debido a la humedad que existe en esta área, se puede observar la formación de moho en las paredes y la presencia de algunos insectos como mosquitos y zancudos.



Durante la limpieza del filtro 4 se logró observar que la capa del lecho filtrante se encuentra muy delgada, ya que al excavar una profundidad de alrededor de 30 cm para tomar muestras de arena se llegó hasta la capa de grava.



Tanque de contacto

El tanque de contacto se encuentra aparentemente en buen estado; sin embargo, se pudo observar que se cuenta con un dosificador de cloro gas el cual se encuentra dañado y por este motivo se ha optado por realizar la cloración manual con hipoclorito de calcio granular, el cual no dispone de un lugar específico para ser embodegado.



Reservorio

Al igual que en los prefiltros y los filtros, se puede observar que la pintura del reservorio se encuentra en mal estado; sin embargo, a pesar de presentar una pequeña corrosión el hormigón, en este caso no se observa fisuras en las paredes, debido a esto se puede considerar que no existen fugas en esta unidad.



Nota: Elaborado por los autores.

4.10 Dimensionamiento real de las unidades de tratamiento presentes en la planta con respecto a los estudios de diseño.

4.10.1 Dimensionamiento del cajón de aforo

Como se observa en la tabla 22, las dimensiones del cajón de aforo no coinciden con lo establecido en el estudio de diseño de la planta, el principal problema se presenta en la longitud del cajón el cual es muy inferior a lo establecido en el diseño, esto provoca que el agua que ingresa a través de este no tenga una zona de quietamiento la cual ayuda a la medición del caudal y además al contar con un menor volumen provoca que los tiempos de retención sean inferiores.

Tabla 22. *Dimensionamiento real del cajón de aforo vs. dimensionamiento establecido en los estudios previos a la construcción de la planta.*

	Medido	Estudio
Largo (m)	0.5	1.1
Ancho (m)	1.15	1
Profundidad (m)	0.95	0.6

Nota: Elaborado por los autores.

4.10.2 Dimensionamiento del vertedero

Al igual que el caso anterior el diseño del vertedero no coincide con lo establecido en la memoria técnica de la planta, en la tabla 23 se puede apreciar que el alto y ancho vario un poco; sin embargo, esto puede deberse a un pequeño error en la medición o a una pérdida de material en las paredes, lo cual no representa un problema. Por otro lado, la diferencia de

altura que existe en la carga (altura entre la cresta del vertedero y el borde de la lámina) del vertedero si presenta un problema, ya que esto puede provocar errores en la medición del caudal o en la distribución del mismo hacia los prefiltros. Esto puede ser, debido a que en la memoria técnica se estableció el diseño de un solo vertedero y en la planta existe la presencia de dos vertederos, por tanto, la distribución de agua es dividida a través de estos.

Tabla 23. *Dimensionamiento real del vertedero vs. dimensionamiento establecido en los estudios previos a la construcción de la planta.*

	Medido	Estudio
Alto (cm)	29.5	30
Ancho (cm)	33	30
Carga (cm)	11.5	14

Nota: Elaborado por los autores.

4.10.3 Dimensionamiento de los prefiltros

La tabla 24 muestra que el dimensionamiento de los prefiltros varía en pocos centímetros entre lo establecido en el estudio de diseño de la planta y lo ejecutado en la realidad, por lo cual, al tener solo una pequeña variación de la superficie filtrante, los prefiltros pueden operar normalmente bajo la capacidad que fueron diseñados.

Tabla 24. *Dimensionamiento real de los prefiltros vs. dimensionamiento establecido en los estudios previos a la construcción de la planta.*

	Medido	Estudio
Profundidad (m)	1.8	1.8
Ancho de cada compartimento x 2 (m)	2.35	2.5
Longitud primer compartimento (m)	2.9	3
Longitud segundo compartimento (m)	2.85	3
Longitud tercer compartimento (m)	2.15	2

Nota: Elaborado por los autores.

4.10.4 Dimensionamiento de los filtros

Como se observa en la tabla 25, los filtros lentos fueron construidos con un sobredimensionamiento a comparación de lo especificado en el estudio de diseño; sin embargo, esto no sugiere un problema más que un costo adicional durante la construcción de estas unidades de tratamiento. En realidad, esto provoca que los filtros sean capaces de tratar un mayor caudal al que fueron previstos. Al momento de hacer este análisis se debe considerar que la altura del lecho filtrante y la altura disponible para la carga de agua no coinciden debido a la pérdida de algunos centímetros de la capa de arena provocada durante cada limpieza.

Tabla 25. *Dimensionamiento real de los filtros lentos vs. dimensionamiento establecido en los estudios previos a la construcción de la planta.*

	Medido	Estudio
Diámetro (m)	6.3	5.7
Altura total (m)	2.6	2.2
Altura para la carga de agua (m)	1.5	1
Borde de seguridad (m)	0.3	0.2
Altura lecho filtrante + lecho soportante (m)	0.8	1

Nota: Elaborado por los autores.

4.10.5 Dimensionamiento del tanque de contacto

Como se puede observar en la tabla 26, las dimensiones del tanque de contacto de cloro que fueron medidas no coincide con lo establecido en el estudio de diseño de la PTAP “La Loma”, ya que durante el estudio se propuso un tanque rectangular con un volumen de 3.7 m³; mientras en la realidad se cuenta con un tanque circular cuyo volumen es de 0.57 m³, esto provoca en el tiempo de retención del cloro en el tanque sea menor al establecido y por tanto exista el riesgo que no se ejerza una correcta desinfección del agua. Tanto en la norma CPE INEN 005-9-1 y lo establecido por diferentes autores como De Vargas (2004), Amaya Gómez (1991) y Quíros (2005) sugieren que se debe mantener un tiempo de retención superior a los 20 minutos para obtener una buena desinfección del agua, en este caso se tiene un tiempo de contacto de tan solo 10 minutos.

Tabla 26. Dimensionamiento real del tanque de contacto de cloro vs. dimensionamiento establecido en los estudios previos a la construcción de la planta.

	Medido		Estudio
Diámetro (m)	0.9	Largo (m)	1.5
Profundidad (m)	0.9	Ancho (m)	1.3
		Profundidad (m)	1.9

Nota: Elaborado por los autores.

4.10.6 Dimensionamiento del reservorio

La tabla 27 refleja como el diámetro y la altura del reservorio de agua potable tiene una pequeña variación entre lo medido y lo descrito en el estudio de diseño de la PTAP “La Loma”; sin embargo, esto no significa un problema ya que puede ser un simple error de medición y en caso de no serlo, la diferencia que existe no influye en el volumen de agua que logra almacenar el reservorio.

Tabla 27. Dimensionamiento real del reservorio vs. dimensionamiento establecido en los estudios previos a la construcción de la planta.

	Medido	Estudio
Diámetro (m)	7.4	7.3
Altura (m)	2.35	2.5

Nota: Elaborado por los autores.

4.11 Cumplimiento de los parámetros de diseño de la planta de tratamiento con respecto a la norma CPE INEN 005-9-1.

De la tabla 28 a la tabla 33 podemos observar el cumplimiento o incumplimiento de los criterios establecidos en la norma CPE INEN 005-9-1 para el diseño de las unidades de tratamiento presentes en la PTAP “La Loma”.

4.11.1 Aspectos generales de la planta

En la tabla 28 se puede apreciar que existen ciertos criterios que no cumplen la norma CPE INEN 005-9-1, entre ellos esta que el caudal que es capaz de transportar las tuberías de la planta es el mismo del caudal de diseño y no un 50% superior, por tanto, cuando esta trabaje al 100% de su capacidad puede provocar que la presión del agua sea muy alta y se rompan las tuberías. Otro criterio que se puede observar es que no se cumple las condiciones para precautelar la seguridad del personal, ya que estos no utilizan ningún equipo de seguridad como cascos o gafas y no existir una zona segura para acceder a revisar el reservorio; sin

embargo, no es realmente un gran problema ya que la planta se encuentra en un espacio abierto y plano y no se maneja muchos productos químicos. Finalmente, un criterio que si debe ser tomado muy en cuenta es que no se cuenta con un espacio para la disposición de lodos proveniente del lavado de filtros y a pesar que se producen en pequeñas cantidades, al ser simplemente desechados a través de un canal pueden provocar la contaminación de las aguas abajo, por tanto, sería de gran utilidad realizar el diseño de un espacio en la planta donde se puedan depositar estos lodos y ser tratados a través de procesos aerobios o anaerobios.

Tabla 28. *Cumplimiento de los criterios generales de diseño de plantas de tratamiento en la PTAP “La Loma”.*

Criterios establecidos por el INEN	Cumplimiento
Filtración lenta con pretratamiento:	
Turbiedad media < 50 UNT	Cumple
NMP < 1000 col/100 ml	Cumple
Percentil 95 de los valores medidos en la planta:	
Turbiedad < 2 UNT	Cumple
Color < 5 Pt-Co	Cumple
Periodo de diseño > 15 años.	Cumple
Vida útil equipos complementarios > 10 años.	Cumple
Caudal de diseño = Caudal máximo diario al final del periodo de diseño + 10%	Cumple
Capacidad hidráulica de la planta = Caudal de diseño + 10 a 25%	Cumple
Caudal de las tuberías = Caudal de diseño + 50%	No cumple
Funcionamiento 24 horas los 365 días del año.	Cumple
Priorizar la energía hidráulica en el diseño	Cumple

de las unidades de tratamiento.	
Obras civiles sujetas a la Norma Ecuatoriana de Construcción.	Cumple
Minimizar la utilización de equipos mecánicos en las unidades de tratamiento.	Cumple
Condiciones de seguridad para precautelar la integridad física del personal de operación.	No cumple
Fácil acceso en cualquier época del año.	No cumple
Contar con acceso a energía y facilidades para la evacuación del agua de proceso y lodos.	No cumple
Presentar características de estabilidad y facilidades constructivas.	Cumple
Tener espacio suficiente para permitir ampliaciones futuras.	Cumple
Contar con un espacio previsto para la disposición de lodos.	No cumple

Nota: Elaborado por los autores.

4.11.2 Parámetros de diseño de la estructura de llegada y repartición de caudales

En la tabla 29 se puede observar que el único criterio que no se cumple en este caso es la instalación de un limnígrafo o medidor de caudal en la estructura de llegada de la planta (cajón de aforo), esto complica la medición del caudal ya que se debe recurrir a métodos que no suelen ser muy precisos, por tanto se recomienda la instalación de un caudalímetro para evitar errores en los valores medidos y gracias esto mejorar también la cloración del agua y el registro histórico que se lleva del caudal que ingresa a la planta.

Tabla 29. *Cumplimiento de los criterios de diseño para estructuras de llegada y repartición de caudales en la PTAP “La Loma”.*

Criterios establecidos por el INEN	Cumplimiento
Dimensionado para el caudal máximo instantáneo del interceptor	Cumple

Cajón de llegada del interceptor con facilidades para romper la presión y uniformizar velocidades	Cumple
Facilidades de bypass de la planta ubicadas después del cajón de llegada	Cumple
Instalación de un medidor de caudal con facilidades para la instalación de un limnógrafo, en una caseta debidamente protegido.	No cumple
La repartición de caudal debe permitir la distribución de los caudales en varias partes, sin permitir la acumulación de arena	Cumple
Diseño de las facilidades ajustando a condiciones de caudal máximo, comprobando su funcionamiento para las condiciones de caudal mínimo al inicio de la operación.	Cumple

Nota: Elaborado por los autores.

4.11.3 Parámetros de diseño de los filtros horizontales gruesos

Como se puede observar en la tabla 30 la mayoría de criterios no cumplen lo establecido en la norma CPE INEN 005-9-1, esto se debe a que en el estudio de diseño de la PTAP “La Loma” los parámetros en que se basaron para diseñar los prefiltros fueron obtenidos de un estudio elaborado por Wegelin, (1986) un autor que analizo a fondo este tipo de tratamiento y recomienda los valores utilizados en esta caso para el tratamiento de aguas con bajos niveles de turbiedad, mientras en el caso de la norma CPE INEN 005-9-1 describen los parámetros a seguir de forma muy general.

Tabla 30. *Cumplimiento de los criterios de diseño para prefiltros horizontales gruesos en la PTAP “La Loma”.*

Criterios establecidos por el INEN	Cumplimiento
Turbiedad < 250 UTN	Cumple
Caudales pequeños	Cumple

Tasa de filtración = 0.5 m/h	No cumple
Número de compartimentos = 3	Cumple
Características de los compartimentos de grava:	
Compartimento #1:	
Longitud = 1 m	No cumple
Diámetro grava: 25 - 80 mm	No cumple
Compartimento #: 2	
Longitud = 4.5 m	No cumple
Diámetro grava: 30 - 70 mm	No cumple
Compartimento #: 3	
Longitud = 4.5 m	No cumple
Diámetro grava: 5 - 12 mm	Cumple

Nota: Elaborado por los autores.

4.11.4 Parámetros de diseño de los filtros lentos

Al igual que el caso anterior, en la tabla 31 se puede observar varios criterios que no cumplen lo recomendado en la norma CPE INEN 005-9-1, ya que el diseño de estos filtros se realizó con base a lo recomendado en libros elaborados por autores como Romero Rojas (1999), Arboleda Valencia, (2000) y CINARA, (1992). Debido a esto no se puede aludir que el diseño de los filtros sea incorrecto, ya que por medio de la evaluación que se ha realizado se observa que operan normalmente; sin embargo, al momento de realizar el diseño de un proyecto es muy importante cumplir los estándares establecidos en la normativa de cada país para no tener problemas legales a futuro en caso que existiera fallas en la operación de la unidad de tratamiento.

Tabla 31. *Cumplimiento de los criterios de diseño para filtros lentos de arena en la PTAP “La Loma”.*

Criterios establecidos por el INEN	Cumplimiento
Características del lecho filtrante:	
Altura = 1 – 1.4 m	No cumple

Tamaño efectivo = 0.15 – 0.35 mm	No cumple
Coefficiente de uniformidad = 1.5 - 3	No cumple
Área máxima del lecho filtrante = 25 m ²	Cumple
Características de la grava:	
Capa #1:	
Longitud = 0.1 m	No cumple
Diámetro grava: 1 – 1.4 mm	Cumple
Capa #: 2	
Longitud = 0.1 m	No cumple
Diámetro grava: 4 – 5.6 mm	Cumple
Capa #: 3	
Longitud = 0.15 m	Cumple
Diámetro grava: 16 - 23 mm	Cumple
Altura de capa de agua sobrenadante = 1 – 1.5 m	Cumple
Borde libre entre la capa de agua sobrenadante y el desfogue = 0.2 – 0.3 m	Cumple
Velocidad de filtración = 0.1 – 0.2 m/h	Cumple
Mínimo de 2 unidades	Cumple
Características del sistema de drenaje:	
Construidos por losetas prefabricadas de hormigón, ladrillos y bloques de hormigón poroso, por tubos perforados y por grava gruesa.	Cumple
Velocidad a través de la tubería < 0.3 m/s	
Espaciamiento entre laterales = 1 - 2 m	Cumple
Diámetro orificios = 1 - 4 mm	No cumple
Espesor capa grava = 0.15 m	No cumple
	No cumple

Diámetro partículas grava = 25 - 50 mm	No cumple
Diseño correcto de la estructura de entrada y salida del flujo de agua	Cumple
Instalación de tuberías de interconexión entre filtros	Cumple

Nota: Elaborado por los autores.

4.11.5 Parámetros de diseño de la unidad de desinfección

En la tabla 32 se puede observar que existen solo dos criterios que no cumple el diseño de la unidad de desinfección con lo establecido en la norma CPE INEN 005-9-1, el primer criterio que no cumple tiene que ver con la adicción del cloro en un punto de resalto hidráulico que permita la mezcla rápida con el agua, este proceso se realiza de manera directa a través de la dilución del cloro en un balde de agua y la adición manual al tanque de contacto, esto provoca que si no se tiene una buena agitación manual no se produzca una correcta mezcla y por tanto, el cloro no actúe al 100% sobre los microorganismos presentes en el agua. El segundo criterio que no cumple consiste en que no se utiliza tanques con tabiques que permitan un tiempo de retención entre 20 min. a 30 min y gradientes de velocidad cercanos a 40 s^{-1} , esto provoca que al no contar con un sistema que permita la agitación constante de la mezcla de agua y cloro, este compuesto pueda sedimentarse en el fondo de tanque y sumado a que no se cumple con el tiempo de retención recomendado, existe el riesgo que el cloro pierda gran parte de su potencial de desinfección y no elimine todos los microorganismos presentes en el agua. Debido a esto sería importante la construcción de un tanque de contacto cuyas dimensiones sean más grandes y se cuente con un sistema que permita la dosificación automática del cloro y una agitación constante.

Tabla 32. *Cumplimiento de los criterios de diseño para las unidades de desinfección en la PTAP “La Loma”.*

Criterios establecidos por el INEN	Cumplimiento
Uso de hipoclorito de sodio o calcio en agua deficiente de alcalinidad y dureza.	Cumple
Dosificación de hipoclorito de sodio o calcio en pequeños tanques prefabricados que dispongan de un sistema de orificio calibrado con carga constante.	Cumple

Dosificación de la solución de hipoclorito de sodio o calcio una o dos veces al día, de acuerdo a la dosis de cloro adoptada y el caudal de la planta.	Cumple
Tanque de solución diseñado con una capacidad mínima de operación de 12 h, en función de la capacidad de la planta, la dosis de cloro aceptada y la concentración de la solución.	Cumple
Diseño del tanque de dosificación con la capacidad de permitir la agitación manual o mecánica de la solución.	Cumple
Concentración máxima del hipoclorito de sodio o calcio en solución = 10%	Cumple
Aplicar el hipoclorito de sodio o calcio en solución en un punto de resalto hidráulico que permita la mezcla rápida con el agua.	No cumple
Uso de tanques con tabiques, similares a los floculadores hidráulicos, que permitan un tiempo de retención entre 20 min. a 30 min y gradientes de velocidad cercanos a 40 s^{-1} .	No cumple

Nota: Elaborado por los autores.

4.11.6 Parámetros de diseño del reservorio

En la tabla 33 se puede apreciar que 3 criterios de los descritos por la norma CPE INEN 005-9-1 no se cumplen en el diseño del reservorio. El primer punto que no cumple está relacionado con la inexistencia de una tubería de desagüe al fondo del tanque lo que provoca que en caso de llenarse hasta el tope no se pueda redireccionar hacia otro lado el agua en exceso y termine derramándose a través de la boca de visita. El segundo punto se trata de que no se cuenta con tubería una tubería de entrada provista de una válvula de compuerta, únicamente la tubería de salida cuenta con este sistema para controlar la distribución de agua cuando se presenta un desabastecimiento de agua y se requiere llenar el tanque. El tercer y último punto se trata de que no se cuenta con un indicador del nivel de agua, por tanto, es muy difícil para los operadores conocer el volumen de agua que se tiene almacenado. En este caso lo más

importante y lo más sencillo sería la instalación de un dispositivo que permita medir el nivel de agua en el reservorio para que los operadores puedan tener un mejor control del mismo, por consiguiente, se debería analizar la posibilidad de integrar una tubería de desagüe en el reservorio que conduzca hacia otro almacenamiento o hacia algún canal.

Tabla 33. *Cumplimiento de los criterios de diseño para las estructuras de almacenamiento de agua en la PTAP “La Loma”.*

Criterios establecidos por el INEN	Cumplimiento
Correcta ubicación del tanque.	Cumple
Tuberías de entrada y salida del tanque de almacenamiento ubicadas en sentidos opuestos.	Cumple
Disposición de un paso directo (by pass)	Cumple
Tanque cubierto y provisto de una boca de visita con su respectiva tapa con cerradura y llave.	Cumple
Tubería de rebose con un diámetro mayor o igual a la tubería de entrada.	Cumple
Tubería de desagüe con un diámetro suficiente para vaciar el tanque en un tiempo no mayor a seis horas.	Cumple
Provisión de un sumidero en el fondo del tanque del cual parten las tuberías de salida y de desagüe.	No cumple
Tuberías de entrada y salida provistas de válvulas de compuerta.	No cumple
Altura mínima del tanque = 2.5 m. Borde libre = 0.3 m.	Cumple
Tanque provisto de accesorios como: escaleras, respiraderos, indicadores de nivel, etc.	No cumple

Nota: Elaborado por los autores.

4.12 Evaluación operativa de la planta de tratamiento

4.12.1 Regulación y mantenimiento de válvulas en la PTAP “La Loma”

El personal realiza el debido mantenimiento de las válvulas y accesorios de la planta de tratamiento y red de distribución por medio de la inspección de fugas, sellado y lubricación de estas. La regulación de válvulas se ejecuta mediante un número específico de vueltas para cada una, de modo que el caudal se distribuya de manera uniforme a cada unidad de tratamiento y sector al que abastece la planta. Mediante la inspección realizada se determinó una falla por parte de los operadores, al no identificar y remplazar una válvula de desagüe ubicada en el segundo prefiltro que se encuentra aislada y mantiene una fuga constante de agua. De acuerdo con Lahlou & Wilson, (2009) las pérdidas de agua mayores a un 20% deben ser atendidas urgentemente, debido a que no solo se desperdicia este valioso recurso, sino que se ve reflejado en considerables pérdidas económicas para la institución que gestiona la distribución del servicio de agua potable.

4.12.2 Mantenimiento y limpieza de los prefiltros de grava gruesa y filtros lentos de arena.

A. Mantenimiento y limpieza de los prefiltros

Una vez observado el manejo y mantenimiento de los prefiltros por parte de los operadores a cargo de la planta, se comprobó que existen ciertos errores que se están cometiendo. Se debe llenar el filtro entre 30 a 40 cm sobre el nivel del vertedero del efluente y controlar que la pérdida de carga al final de la carrera del filtro no exceda los 20 cm (Wegelin, 1986), este es una acción que los operadores de la planta no ejecutan para mantener un correcto funcionamiento del prefiltro y solo controlan que el nivel de agua no se desborde, por lo cual la tasa de filtración puede verse alterada. De igual manera, Wegelin, (1996) establece que para obtener una limpieza efectiva de los prefiltros se debe permitir una velocidad de drenaje entre 60 a 90 m/h y un llenado lento y progresivo de los mismos, acción que tampoco ocurre debido a que la velocidad de drenaje en operación de los prefiltros se encuentra alrededor de los 20 m/h un valor muy por debajo del recomendado. Debido a esto se recomienda realizar algunas pruebas por medio del manejo de válvulas para comprobar la velocidad máxima de desagüe que se puede alcanzar; sin embargo, se cree que el diseño de los prefiltros no permite alcanzar dichos valores recomendados por Wegelin y esto puede provocar que los prefiltros se saturen con mayor rapidez al no obtener una limpieza efectiva de los mismos.

B. Mantenimiento y limpieza de los filtros

Durante la inspección del manejo, mantenimiento y limpieza de los filtros por parte de los operadores de la planta, se evidencio que ciertos aspectos no se están realizando correctamente. Sánchez et al., (2006) menciona que, durante la limpieza de los filtros, la

arena que es raspada y retirada debe ser lavada y almacenada, debido a que luego de algunos mantenimientos se pierde parte de la profundidad del lecho filtrante, por lo cual se puede utilizar esa arena almacenada para ser colocada nuevamente en el filtro, por debajo de la capa existente. Esto es una acción que no se realiza en la planta, debido a que la arena que se raspa es desechada. Por otro lado, Romero Rojas, (1999) comenta que es importante controlar la pérdida de carga en los filtros, para evitar que se vea alterada la tasa de filtración, menciona que, al inicio de la carrera del filtro este tiene una pérdida de carga igual a 0.6 m y al final de la carrera de 1.2 m, por tanto, es necesario regular la válvula al ingreso o a la salida del filtro para controlar la pérdida de carga y conocer cuando se requiere realizar el mantenimiento. Igualmente, esta es una acción que no se lleva a cabo en la planta por parte de los operadores, quienes no tienen conocimiento sobre la pérdida de carga que deben tener los filtros durante su carrera y solo realizan los mantenimientos empíricamente cada cierto tiempo o al observar que existe una capa excesiva de algas o schmutzdecke.

4.12.3 Drenaje y limpieza de cajones y vertederos

El drenaje y limpieza de cajones y vertederos no es un proceso complejo, por lo cual los operadores de la planta pueden realizarlo de manera rápida y efectiva, por medio del vaciado del agua, raspado y lavado de las paredes, también se verifica que no exista sedimento en la base de los cajones o vertederos y en el caso que se halle sedimento este es retirado. De igual manera, se comprueba que la lámina del vertedero no se encuentre oxidada ni rota y que las válvulas se encuentren funcionando de manera correcta.

4.12.4 Medición del caudal y dosificación de cloro

Los operadores de turno realizan la medición del caudal que ingresa a la PTAP “La Loma” utilizando el método volumétrico. Este método resulta ser confiable a partir de los 20 segundos de tiempo de llenado (Ramón et al., 2007); sin embargo, los operadores utilizan un recipiente de 8 L, el cual tiene un tiempo de llenado de aproximadamente 3 a 4 segundos. A partir del dato calculado del caudal se aplica la dosificación de cloro por medio del conocimiento empírico que se tiene (4 Oz/L). Esto conlleva a una dosificación incorrecta, puesto que al usar un recipiente pequeño cuyo tiempo de llenado es corto los datos obtenidos del método volumétrico no son confiables, además que al no considerar ningún cálculo que ayude a una dosificación más precisa ocasiona que la dosificación se vea aún más afectada, ya que es necesario que al diluir previamente el cloro con agua se obtenga una solución con una concentración manejable del 1% o 2% (Valdiviezo Sanchez, 2013). Por ello, se recomienda el uso de los vertederos triangulares y las regletas de aluminio colocadas para medir el caudal por medio de la altura del agua. Al tener un dato más exacto del caudal y

aplicando las ecuaciones utilizadas en este estudio se puede obtener una dosificación del cloro mucho más precisa.

4.12.5 Análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para determinar la calidad del agua en la planta de tratamiento

La laboratorista del departamento de agua potable y saneamiento del GADM de Nabón, es la persona responsable de realizar un monitoreo mensual de la calidad del agua que se trata en la planta, para ello toma muestras de agua en tres puntos: Al ingreso de la planta, a la salida de los filtros lentos, y en el reservorio, esta actividad cumple con lo establecido en la norma INEN 1108 que nos dice que para poblaciones menores a 5000 habitantes es necesario realizar al menos 12 análisis al año de la calidad del agua tratada en la planta. En la tabla 10, 11 y 12 se puede apreciar que los métodos utilizados en el laboratorio del GADM de Nabón para analizar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua potable son los recomendados por parte de la empresa HACH, mientras en el anexo 2 se puede observar que los métodos recomendados por la norma INEN 1108, son los establecidos en la última edición del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater publicada por la APHA, AWWA y WEF. En cuanto al método utilizado para la toma y conservación de muestras de agua en la planta, la laboratorista del GADM de Nabón sigue correctamente los criterios establecidos por la norma INEN 2169 para los análisis de tipo físico y químico, mientras en el caso de aquellas muestras para análisis microbiológico sigue los criterios establecidos en la norma INEN 1105. Algunos de los parámetros que son analizados ya no se encuentran dentro de la nueva edición de la INEN 1108, por tanto, se recomienda revisar esta nueva edición y evaluar si existe la presencia de algunos metales presentes en el agua como el cobre, arsénico, cadmio, plomo o aluminio.

4.12.6 Medición del cloro residual en el reservorio y en la red de distribución

Con la finalidad de garantizar una buena calidad de agua a los usuarios, los operadores luego de haber clorado el agua miden diariamente el cloro residual en el reservorio de la planta con un equipo marca “Hach POCKET Colorimeter”, comprobando que el cloro residual presente en el agua se encuentre dentro de los límites establecidos por la norma. En el punto 3.1 se evidencio que existe mucha variación en los datos analizados, los cuales se encuentran en un rango que va desde 0 a 2.2 mg/L de concentración de cloro residual en el reservorio. Lo ideal es mantener concentraciones entre 0.5 a 1.5 mg/L en la salida de la planta con la finalidad de obtener una concentración de cloro residual superior a 0.3 mg/L en los puntos más distantes a la PTAP (F. García Ávila et al., 2020) . La laboratorista del GADM de Nabón realiza la medición de cloro residual en el reservorio de manera mensual, no obstante, menciona que desde el inicio de la pandemia de COVID 19 ya no se realizan mediciones de

cloro residual en la red de distribución. La OMS, (2009) recomienda realizar la medición de cloro residual en la red de distribución con una frecuencia semanal para garantizar agua apta para consumo humano. Es por ello, que se recomienda retomar el análisis del cloro residual en la red de distribución ya sea con un periodo semanal o mensual, pero identificando el número y ubicación de puntos estratégicos para obtener un análisis más veraz.

4.12.7 Verificación del funcionamiento de la red de distribución

La red de distribución se encuentra en constantes cambios, puesto que por los deslizamientos del terreno se están produciendo varias roturas de las tuberías en diferentes sectores. La reparación de daños en la red de distribución es una actividad muy frecuente que realizan los operadores en el sistema de agua potable. Es por ello que el personal de turno realiza el respectivo mantenimiento de la red, identificando puntos donde existen fugas de agua que se corrigen por medio del cambio o reparación de válvulas, tuberías, codos, etc; con la finalidad de evitar el desperdicio del agua potable el cual es un líquido vital para satisfacer las necesidades de la población. Castro & Neves, (2003) recomiendan que cuando se tiene constantes daños en una red de distribución es importante realizar un estudio hidráulico de la misma para analizar de manera más profunda las razones por las cuales se están produciendo.

4.12.8 Condiciones de seguridad

La PTAP “La Loma” es una planta pequeña que se encuentra en un sitio plano y no utiliza reactivos químicos, únicamente en la cloración, por lo cual no se requiere de mayores condiciones de seguridad para los operadores. Se identificó solo una zona de riesgo, que consiste en una escalera que cruza a la cubierta del reservorio, debido a que se recorre una distancia de 3 m sin pasamanos a una altura de 2.5 m. Una caída por parte de los operadores en este sitio puede ocasionar que sufran lesiones. Por otro lado, también se observó que no existe un correcto almacenamiento del hipoclorito de calcio debido a que no se tiene un sitio específico donde guardarlo y se encuentra ubicado junto al tanque de contacto. Debido a esto, se recomienda colocar una estructura más apropiada para cruzar hacia la cubierta del reservorio y designar una zona específica que cumpla con las condiciones recomendadas por el fabricante para almacenar el hipoclorito de calcio (HTH).

4.13 Parámetros de diseño de la planta de tratamiento

De la tabla 34 a la tabla 38 se puede apreciar los parámetros de diseño propuestos para la repotenciación de las unidades de tratamiento en la PTAP “La Loma” con una proyección a 20 años y sin contar con el apoyo de la planta de “Jully”. En el caso de los prefiltros y filtros hay que tomar en cuenta que la capacidad hidráulica en la que se basa el diseño de estas

unidades debe ser entre un 15% a 25% superior al caudal de diseño de la planta, puesto que por temas de mantenimiento se suele suspender la operación de uno de los módulos.

Este diseño sirve como guía para tener una idea del dimensionamiento que debe tener una planta potabilizadora para una población de hasta de 4221 habitantes con las características de la zona de estudio. Hay que hacer un énfasis, que al momento de realizar una repotenciación de la PTAP “La Loma” se debe evaluar las unidades que se encuentran en operación y el caudal que son capaces de tratar, para así realizar un nuevo diseño en base al caudal restante que haría falta tratar, que en este caso sería un caudal adicional de 2.08 L/s si se cuenta con el apoyo de la planta de “Jully” y 6.08 L/s en caso que esta planta deje de operar.

4.13.1 Obra de llegada y repartidor de caudales

Tabla 34. *Diseño del cajón de aforo y vertedero.*

Parámetro	Unidad	
Caudal de diseño	0.01208	m ³ /s
Tiempo de retención	164	s
Volumen cajón	1.98	m ³
Largo del cajón	3	m
Ancho del cajón	1.1	m
Profundidad cajón	0.6	m
Altura de la carga del vertedero	0.15	m

Nota: Elaborado por los autores.

4.13.2 Prefiltración

Tabla 35. *Diseño de los prefiltros gruesos de grava.*

Parámetro	Unidad	
Caudal de diseño PTAP	0.01208	m ³ /s
Capacidad hidráulica	0.01449	m ³ /s
Número de unidades	3	
	0.00483	m ³ /s

Caudal de tratamiento de cada unidad	17.4 m ³ /h
Velocidad de filtración	0.5 m/h
Área transversal de cada unidad	34.8 m ²
Número de compartimentos	3
Área transversal de cada compartimento	11.6 m ²
Longitud compartimento #1	1 m
Tamaño de la grava compartimento #1	25 - 80 mm
Longitud compartimento #2	4.5 m
Tamaño de la grava compartimento #2	30 - 70 mm
Longitud compartimento #3	4.5 m
Tamaño de la grava compartimento #3	5 - 12 mm
Longitud del filtro	10 m
Ancho del filtro	9 m
Profundidad del filtro	1.28 m
Largo cámara de entrada	2 m
Ancho cámara de entrada	9 m
Altura cámara de entrada	1.28 m

Nota: Elaborado por los autores.

4.13.3 Filtración

Tabla 36. *Diseño de los filtros lentos de arena.*

Parámetro	Unidad
Capacidad hidráulica	0.01449 m ³ /s
	52.18 m ³ /h

Caudal de diseño de la planta de tratamiento	0.01208 m ³ /s
Número de unidades de filtración	3
Caudal de tratamiento de cada unidad	0.00483 m ³ /s
	17.4 m ³ /h
Velocidad de filtración	0.2 m/h
Superficie filtrante requerida	260.93 m ²
Área de filtración de cada unidad	86.98 m ²
Diámetro del filtro	10.52 m
Lecho filtrante de arena:	
Altura	1.2 m
Tamaño efectivo	0.15 – 0.35 mm
Coeficiente de uniformidad	1.5 - 3
Altura capa de agua sobrenadante	1.2 m
Borde libre	0.25 m
Lecho soportante de grava:	
Altura	0.35 m
Diámetro capa 1	1 – 1.4 mm
Espesor capa 1	0.1 m
Diámetro capa 2	4 – 5.6 mm
Espesor capa 2	0.1 m
Diámetro capa 3	16 – 23 mm
Espesor capa 3	0.15 m
Altura total	3 m
Pérdida de carga	0.3 m
Velocidad tubería de entrada	0.3 m/s
	1080 m/h

Velocidad tubería de salida	0.9 m/s
	3240 m/h
Diámetro de la tubería de entrada	160 mm
Diámetro de la tubería de salida	90 mm
Diámetro orificio laterales	0.008 m
Área de cada orificio	0.00005027 m ²
Velocidad de orificio	0.30 m/s
Caudal que ingresa a cada orificio	0.00001508 m ³ /s
	0.05428685 m ³ /h
Número de laterales	14
Separación entre orificios	0.2 m
Orificios/laterales	68
Número de orificios	952
Área total de orificios	0.04786 m ²
Velocidad óptima de lavado	0.6 m/min
Volumen de agua requerido para el lavado	1565.28 m ³

Nota: Elaborado por los autores.

4.13.4 Desinfección

Tabla 37. *Diseño de la unidad de desinfección.*

Parámetro	Unidad
Caudal de diseño	0.01208 m ³ /s
Tiempo de retención	1200 s
Volumen tanque de contacto	14.5 m ³
Largo tanque de contacto	3.5 m
Ancho tanque de contacto	3 m
Área tanque de contacto	10.50 m ²

Altura tanque de contacto	1.38 m
Volumen de agua diario	1043.7 m ³
Concentración de hipoclorito de calcio requerida	1 mg/L
	1 g/m ³
% concentración de cloro	68 %
Masa de hipoclorito de calcio diaria requerida	1534.87 g
	1.535 Kg

Nota: Elaborado por los autores.

4.13.5 Almacenamiento

Tabla 38. *Diseño del reservorio.*

Parámetro	Unidad
Volumen de regulación	189945.00 L/día
	189.95 m ³ / día
Volumen contra incendios	0.00 m ³
Volumen contra emergencias	0.00 m ³
Volumen tanque de almacenamiento	200.00 m ³
Diámetro tanque de almacenamiento	9.00 m
Área tanque de almacenamiento	63.62 m ²
Altura tanque de almacenamiento	3.14 m

Nota: Elaborado por los autores.

Capítulo V

5.1 Conclusiones

El análisis de la concentración de cloro libre residual luego de la cloración, reveló que el 73.34% del tiempo se encuentra dentro del rango establecido por la norma INEN 1108. La evaluación del comportamiento del cloro libre residual en la red de distribución reflejó una tendencia de disminución de su concentración a medida que aumenta la distancia desde el punto de cloración, provocando que el 17.33% de las mediciones efectuadas se encuentren por debajo del límite mínimo establecido por la normativa ecuatoriana. Por otro lado, está la evaluación también se evidenció que durante las primeras horas de la mañana la concentración del cloro residual se encuentra más baja y a medida que pasa el tiempo la concentración aumenta.

Se determinó que la calidad del agua tratada en la planta “La Loma”, definida por parámetros físicos, químicos y microbiológicos, se encuentra dentro los límites permitidos por la norma INEN 1108, lo que la califica como un agua apta para consumo humano. No obstante, cabe recalcar que la calidad del agua cruda en la mayoría de ocasiones se encontró en buenas condiciones lo que favorece a que no se requiera de complejos tratamientos para cumplir con los estándares establecidos en la normativa ecuatoriana. Uno de los parámetros que en ciertas ocasiones presentó una concentración superior a lo establecido en la normativa fue el color y coincide con lo mencionado por parte de algunos de los usuarios del sistema de agua potable que mencionan que en ciertas ocasiones el agua llega con un color un tanto amarillo.

La evaluación de la eficiencia de la planta para remover los distintos parámetros objeto de estudio demostró que, no existe una buena eficiencia para tratar parámetros como los nitritos, nitratos, alcalinidad total, dureza cálcica, fósforo, fluoruros y sólidos disueltos totales, ya que en ciertas ocasiones su concentración aumentó o se mantuvo neutra, sin embargo; este fenómeno puede atribuirse a la falta de mantenimiento de los filtros. Por otro lado, el tratamiento de parámetros como los coliformes totales, la turbidez, el color, la dureza magnésica, el hierro y el manganeso es eficiente al reducir en gran parte su concentración.

La PTAP “La Loma” actualmente presenta algunos problemas. Durante todo el estudio se pudo evidenciar que gran parte de su estructura se encuentra en malas condiciones, requiriendo un mantenimiento urgente, debido a esto presenta varias fugas por las cuales se pierde gran parte del caudal, afectando aún más el abastecimiento del servicio de agua potable al área de distribución. La granulometría de la arena utilizada en los filtros de acuerdo a lo establecido en la norma CPE INEN 005-9-1 no es la correcta; sin embargo, se constató que la velocidad de filtración es normal. Esto puede ser debido al sobredimensionamiento de los filtros o a que estos pueden operar normalmente bajo criterios establecidos por otros

autores que han estudiado a profundidad este tipo de tratamientos. Algunos de los aspectos considerados en la memoria técnica de la planta no coinciden con lo medido en las unidades de tratamiento; sin embargo, esto parece no afectar en gran medida a la operación de la planta, al tratarse de solo pequeñas diferencias.

Al hacer una comparación entre los criterios propuestos por la norma CPE INEN 005-9-1 para el diseño de plantas potabilizadoras y la memoria técnica de la PTAP “La Loma” se evidenció que existen algunos aspectos que no se cumplen y podrían ser mejorados para que la planta opere con una mayor eficiencia. El manejo de la planta por parte de los operadores y funcionarios a cargo se considera relativamente bueno, ya que cumplen con la mayoría de actividades que manuales de manejo de plantas potabilizadoras mencionan; sin embargo, hay ciertos aspectos que se deben mejorar para que exista una mejor operación de la planta como es la limpieza de los filtros, la medición del caudal, la cloración del agua y la revisión periódica del cloro residual en la red de distribución.

En cuanto a la repotenciación de la PTAP “La Loma” los resultados demuestran que no existirá un incremento alto de la población y, por tanto, el caudal de diseño debería aumentar alrededor de 2 L/s; sin embargo, al no contar con el apoyo de la planta de Jully el caudal de diseño para la unidad de filtración y desinfección debería aumentar en 6 L/s. El terreno en el cual se encuentra emplazada la planta “La Loma” cuenta con un amplio espacio libre donde se pudiera incorporar nuevas unidades de tratamiento en un futuro, para así alcanzar el caudal de diseño deseado, gracias a esto no representa un mayor problema la suspensión de la operación de la planta de “Jully”.

El monitoreo y análisis de los datos registrados del caudal de agua que ha ingresado a la planta desde el año 2018, refleja que la mayor parte del tiempo la planta opera con una capacidad inferior a la cual está diseñada y no logra abastecer a toda la población que le compete. Una de las principales estrategias que se debe considerar para mejorar la operación de la planta y pensar en una ampliación a futuro es la captación de un mayor volumen de agua, que de acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio se requiere un caudal adicional de 6.5 L/s para cubrir la demanda por parte de la población de estudio dentro de 20 años y considerando que existen meses en el año en los cuales se capta muy poco volumen de agua debido a las escasas lluvias en la zona de páramo donde se realizan las captaciones. Otra de las alternativas más importantes para mejorar la operación de la planta consiste en sellar las fugas de las unidades de tratamiento y reemplazar las válvulas que se encuentran dañadas, para de esta manera disminuir en gran medida el porcentaje de caudal que se está perdiendo, el cual se encuentra cerca del 27%.

5.2 Recomendaciones

- Realizar un mantenimiento completo de los prefiltros y filtros. Retirar todo el lecho filtrante de las unidades de tratamiento y realizar una limpieza profunda, impermeabilizar las paredes de las estructuras, corregir fisuras y colocar una nueva capa de pintura. Revisar daños en las válvulas y ser reparadas o reemplazadas. En el caso de los filtros incorporar una nueva capa de material filtrante, ya que la actual tiene una altura muy pequeña que no cumple con lo especificado en la norma CPE INEN 005-9-1.
- Incorporar un nuevo tanque de contacto de dimensiones más grandes, que pueda mantener un tiempo de retención del cloro más prolongado que, permita la agitación manual o mecánica de la solución y la mezcla pueda ser colocada en un punto de resalto hidráulico, cumpliendo de esta manera con los criterios establecidos en la norma CPE INEN 005-9-1.
- Incorporar un sistema de adición de cloro al agua por goteo de manera que se asegure una concentración constante de este compuesto durante todo el día y en conjunto con una agitación automatizada o con mayor regularidad por parte de los operadores se evite la sedimentación del cloro.
- Reparar el dosificador de cloro gas puesto que este método es más preciso para la cloración del agua y puede trabajar con tiempos de retención más bajos, debido a esto el tanque de contacto que se tiene actualmente pudiese continuar operando con normalidad durante algunos años.
- Construir un nuevo cajón de aforo que incluya la instalación de un medidor de caudal y cuyas dimensiones sean más amplias de modo que permitan un mayor tiempo de retención del agua, tomando en cuenta que la longitud del cajón debe ser más larga con el fin de que exista una zona de aquietamiento y precise una medición del caudal más exacto.
- Capacitar a todo personal operativo a cargo de la planta, de manera que puedan tener un conocimiento más profundo sobre los procesos que se llevan a cabo en cada unidad de tratamiento, los requisitos exigidos por la normativa ecuatoriana en cuanto a los sistemas de abastecimiento de agua potable, y el correcto mantenimiento que se debe realizar.
- Aplicar el método para determinar el caudal que ingresa a la planta y ajustar la dosis óptima de cloro recomendado es este estudio, realizar un seguimiento continuo de la concentración del cloro residual a través de diferentes puntos de la red de distribución a distintas horas del día y considerar si es necesario realizar una cloración adicional en el reservorio del sector La Playa.

- Realizar un estudio para la captación de nuevas fuentes de abastecimiento de agua, con la visión de repotenciar la PTAP “La Loma” a futuro y la intención de mantener actualmente un suministro de agua potable continuo.
- Luego de realizar el mantenimiento de los prefiltros y filtros, proceder con el análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua e identificar si aumenta la concentración de nitritos, nitratos, alcalinidad total, dureza cálcica, fósforo, fluoruros y sólidos disueltos totales continúa aumentando.
- Disponer de una zona donde los lodos provenientes de la limpieza de filtros y prefiltros puedan ser tratados a través de lechos de secado y digestores aerobios o anaeróbicos.
- Elaborar un manual operativo de la PTAP “Lo Loma” el cual pueda ser revisado por cualquier operador de la planta.
- Realizar una evaluación del comportamiento hidráulico de la red de distribución de agua potable usando modelos matemáticos que permitan tener un mejor control del cloro residual y seguimiento en la red de distribución.
- Elaborar un plan de emergencia que haga frente a los problemas que actualmente atraviesa el cantón Nabón debido a los deslizamientos que se presentan constantemente, en el cual se incluya planes de mantenimiento preventivo y correctivo ante daños que pueda sufrir la PTAP “La Loma” he incluir la repotenciación de la misma siguiendo los criterios de ampliación propuestos en este estudio.
- Con el fin de mantener el mismo esquema que utiliza la PTAP “La Loma” y reducir costos de construcción al momento de optar por la repotenciación de la planta, se recomienda la construcción de un prefiltro y dos filtros lentos con las mismas dimensiones que tienen los que se encuentran operando actualmente, a diferencia de que estos sean construidos cumpliendo todas las condiciones hidráulicas que se mencionan en la norma CPE INEN 005-9-1, esto dará la posibilidad de aumentar el caudal de diseño de la planta aproximadamente 3 L/s. Para ello, se deberá contar con un reservorio adicional de 100 m³ en caso que los reservorios presentes en la planta de “Jully” dejen de ser empleados.

Referencias

- Alvarado, E. (2017). *Manual de Medición de Caudales*. Instituto Privado de Investigación Sobre el Cambio Climático. <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medición-de-caudales-ICC.pdf>
- Amarilla, J. A., Manera, A. A., Meza, F. de J., Portillo, L. C., Quiñonez, R. M., Silva, C. C., Mereles, E. F., Rolón, C. E., Sosa, G. R., Galeano, S., Samudio, L., & Giménez, A. E. (2018). *Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de agua de consumo en la zona aledaña al cementerio de Minga Guazú, Paraguay, 2018*. (pp. 1–10). Universidad Nacional de Cuyo.
- Amaya Gómez, E. I. (1991). *Manual Ingeniería sanitaria* (Vol. 12, Issue 140).
- Anderson, L. E., DeMont, I., Dunnington, D. D., Bjorndahl, P., Redden, D. J., Brophy, M. J., & Gagnon, G. A. (2023). A review of long-term change in surface water natural organic matter concentration in the northern hemisphere and the implications for drinking water treatment. *Science of the Total Environment*, 858(October 2022), 159699. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159699>
- Arboleda Valencia, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua* (R. Pertuz Molina (ed.); Primera ed). NOMOS S. A.
- Arizaga, J. A. (2016). Evaluación de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Vinces. In *Tesis*. Universidad de Guayaquil.
- Ávila, A. F. (2015). *Optimización de la planta de tratamiento de agua potable de Baños de Agua Santa* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4110/1/96T00288UDCTFC.pdf>
- Benitez, D. D. (2021). *Sistema de cloración automático para la junta administradora de agua potable regional oriental Mulaló José Guango Bajo-Aláquez* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32304/1/t1778ec.pdf>
- Benito, A. C., & Valbuena, Y. Y. (2015). *Evaluación técnica y operativa de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Chocontá, Cundinamarca* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4836/BenitoVelásquezAndreacatalina2015.pdf?sequence=1>
- Cama Luque, D. E., & Huasco Cuchacha, M. G. (2019). *Evaluación de la calidad de agua en la planta de tratamiento de agua potable de Villa Rica – Oxapampa* [Universidad Peruano Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/2942>

- Caraballo Collazo, M., & Montaña Xavier, J. (2012). *Manual de Agua Subterránea*.
- Castro, P., & Neves, M. (2003). Chlorine decay in water distribution systems case study - Lousada network. *Environmental 2010: Situation and Perspectives for the European Union*, 2(2), 1–6.
- Chulluncuy, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería Industrial*, 29, 1–224.
<http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/MANUALI/TOMOI/seis.pdf%5Cnh>
<http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/5/CDAM0000012-5.pdf>
- CINARA. (1992). *FILTRACIÓN LENTA EN ARENA TRATAMIENTO DE AGUA PARA COMUNIDADES: Planeación, diseño, construcción operación y mantenimiento*. International Water and Sanitation Centre.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO* (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (ed.)).
<http://www.cna.gob.mx>
- Contreras, G. I., & Zambrano, J. J. (2017). Automatización e implementación de un sistema de recolección, cloración y monitoreo de niveles de agua, cloro y oxígeno del agua potable del Caserío Mollepamba. [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. In *Electrodisinfection. Applied Engineering*.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7932/1/85T00474.pdf>
- Corral, J. T. (2012). Caracterización granulométrica de las plantas productoras de arena en la República Dominicana, su impacto en la calidad y costo del hormigón. *Ciencia y Sociedad CIENCIA Y SOCIEDAD Volumen XXXVII*, 3, 293–334.
- Corrales, A., & Vasquez, J. (2009). *Diseño de la Planta de tratamiento y red de agua potable de Nabón* (pp. 1–161).
- De Vargas, L. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. In *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias del ambiente: Vol. Tomo I*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Espín, V. L. (2012). *Evaluación de la eficiencia de la planta potabilizadora del cantón Palora, provincia de morona Santiago*. Universidad Estatal Amazonica.
- Fundación Canal. (2013). La captación del agua. *Canal Educa*, 76.
<https://www.fundacioncanal.com/canaleduca/wp-content/uploads/2019/10/La-captacion-del-agua.pdf>

- Galvis Castaño, G., & Latorreo Montero, J. (1999). *Filtración en múltiples etapas: tecnología innovativa para el tratamiento de agua*. Cinara, Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico.
- García Ávila, F. F. (2019). *Modelo de decaimiento de cloro libre en la red de distribución de agua potable en la ciudad de Azogues, Ecuador* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3845>
- García Ávila, F., Sánchez Alvarracín, C., Cadme Galabay, M., Conchado Martínez, J., García Mera, G., & Zhindón Arévalo, C. (2020). Relationship between chlorine decay and temperature in the drinking water. *MethodsX*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.101002>
- HACH COMPANY. (2000). Manual de analisis de agua. *Cell*, 3(970), 1–220. <https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639984469>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1984). *NTE INEN 977: Agua Potable. Derterminación Cloro Residual. Método DPD - Ferroso*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1992). *CPE INEN 005-9-1: Normas Para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores a 1 000 Habitantes*. (Vol. 1). <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.cpe.5.9.1.1992.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *NTE INEN 1108: Agua Potable. Requisitos*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1108.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). *NTE INEN 1105: AGUAS. MUESTREO PARA EXÁMEN MICROBIOLÓGICO*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013a). *NTE INEN 2169: Agua. Calidad de agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras*. <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACIÓN-DE-MUESTRAS.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013b). *NTE INEN 2226 : AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO.:* Vol. First Edit.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2020). Gestion de Agua Potable y Saneamiento. In *Agencia de Regulación y Control del Agua*.
- Lahlou, Z. M., & Wilson, W. (2009). Detección de Fugas y Control de Pérdida de Agua. *The National Environmental Services Center*, 4.
- Marrón, C. (1999). *Plantas de tratamiento por filtracion lenta: Diseño, Operación y*

- Mantenimiento. Intermediaty Technology Development Group.*
https://drive.google.com/file/d/0B8D2_Q6wgqIRMURYTzZCbHRIT2c/view?usp=sharing
- Martínez Orjuela, M. R., Mendoza Coronado, J. Y., Medrano Solís, B. E., Gómez Torres, L. M., & Zafra Mejía, C. A. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 1–24. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n1-2020001>
- Mendizábal Bermúdez, G., & Sedano Padilla, M. G. (2011). El agua potable como derecho fundamental para la vida. *Misión Jurídica*, 1–20. <https://doi.org/10.25058/1794600x.21>
- Molina, E. C., Garciadiego, L. H., Ruíz, H. G., & Cañizares, P. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de La Sociedad Química de México*, 47(001), 88–92.
- Ordóñez, J., & Pesantez, W. (2017). *La filtración gruesa , aplicada al tratamiento de aguas superficiales* [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28488>
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *Agua, Datos y Cifras*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=Como autoridad internacional en materia,normativas relacionadas con la salud.>
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas*. 1–28.
- Organización Panamericana de la Salud, & Organización Mundial de la Salud. (2009). Medición del cloro residual en el agua. *Guías Técnicas Sobre Saneamiento, Agua y Salud*, 1–4. <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/11-CloroResidual.pdf>
- Parra, A., & Herrera, S. (2016). *Diseño y construcción de una planta piloto para el tratamiento de agua potable en el laboratorio de la universidad católica de Colombia* [Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14034/4/Proyecto de grado - Diseño y construcción de una PTAP.pdf>
- Peñuela, E., & Gualí, A. C. (2016). *Evaluación de la calidad del agua en la planta potabilizadora El Dorado (Bogotá D.C.) a través del análisis estadístico de series de tiempo*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Peréz, J. A. (2013). *Tramamiento de aguas* (pp. 1–32). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/47676967/45_-_5_Capi_4-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1646808900&Signature=B2VXD9-

7RRc8FR3lJlRigfGaq~HsfH25GFqgSM92pq8tmC1~C2oL7yXuM2HQ~cc54GXhh-swHPLGdl7eLlxD~BqKcOGzIPazZkQ5JqrWaUMsSwNHnFuDFfGQi6cY0EAPtX1Cv~bYgchFwg

Perez Lopez, J. E. (2010). *Caracterización de la calidad del agua en la planta de tratamiento de agua potable y en la red de distribución de la ciudad de Yopal*. Universidad Industrial de Santander.

Quiros, F. (2005). Desinfección del agua con cloro y cloraminas. *Tecnica Lindustrial*, 55–63. <https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/20/42/a42.pdf>

Ramón, M., Mauriello, F., Delgado, N., & Arteaga, B. (2007). Métodos prácticos para el aforo de pozos de riego. *INIA Divulga. Revista de Difusión de Tecnología Agrícola, Pecuaria, Pesquera y Acuícola*, 48–51. [http://sian.inia.gov.ve/repositorio/revistas_tec/inia_divulga/numero 10/10ramon_m.pdf](http://sian.inia.gov.ve/repositorio/revistas_tec/inia_divulga/numero%2010/10ramon_m.pdf)

Romero Rojas, J. A. (1999). *Potabilización del agua-3ª Edición* (3a Edición). Escuela Colombiana de Ingeniería.

Sacramento, N. G., Armendáriz, C. R., Fernández, Á. J. G., González, G. L., De La Torre, A. H., & Girones, C. R. (2015). El agua de consumo como fuente de exposición crónica a fluoruro en Tenerife; Evaluación del riesgo. *Nutricion Hospitalaria*, 31(4), 1787–1794. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.4.8564>

Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros físicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27, 1–11. <https://www.redalyc.org/pdf/643/64327320.pdf>

Sánchez, L. D., Sánchez, A., Galvis, G., & Latorre, J. (2006). Filtración en Múltiples Etapas. In P. McIntyre (Ed.), *Pneumonologia polska* (Vol. 58, Issues 4–5).

Secretaría Nacional del Agua. (2016). *Normas para estudio y diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable y disposición de aguas residuales, para poblaciones mayores a 1000 habitantes* (Issue 6). http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_disenos.pdf

Suarez Ruiz, M. A. (2012). *Manual de potabilización de aguas*.

Tapia, A. (2009). *Evaluación de la eficiencia operacional de la planta potabilizadora de agua de la parroquia Fátima*. Universidad Estatal Amazónica.

Tijero Prado, C. O. (2019). *Tratamiento por oxidación - filtración y la disminución de los niveles de manganeso en el agua para consumo humano en la residencia Sol de Ica en la ciudad de Ica* [Universidad Nacional de San Luis Gonzala].

- <https://repositorio.unica.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/20.500.13028/3359/Tratamiento por Oxidación - Filtración y la disminución de los niveles de Manganeseo en el Agua para Consumo Humano en la Residencial Sol de Ica en la ciudad de Ica - 2019.pdf?sequen>
- Tinoco, J. (2019). *Niveles de cloro residual libre en la red de distribución de agua potable en una institución de educación superior en la ciudad de Cali en el año 2019*. Universidad Santiago de Cali.
- Torres, C., & Villanueva, S. (2014). El filtro de arena lento: Manual para el armado, instalación y monitoreo. In *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*. Universidad Piloto de Colombia. <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/4457/LFAL16.pdf?sequence=3>
- Toxqui, L., De Piero, A., Courtois, V., Bastida, S., Sánchez-Muniz, F. J., & Vaquero, M. P. (2010). Deficiencia y sobrecarga de hierro; implicaciones en el estado oxidativo y la salud cardiovascular. *Nutricion Hospitalaria*, 25(3), 350–365. <https://doi.org/10.3305/nh.2010.25.3.4583>
- Triana, M. F., & Herrán, A. B. (2017). *Evaluación técnica y operativa de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Anolaima* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <file:///D:/Desktop/Tesis/Documentos/HerránVásquezArgenisBarbiel2018.pdf>
- Tzatchkov, V., Alcocer Yamanaka, V. H., & Arreguin Cortes, F. I. (2004). Decaimiento del cloro por reacción con el agua en redes de distribución. *Ingenieria Hidraulica En Mexico*, 19(1), 41–51.
- Valdiviezo Sanchez, P. S. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento para la potabilización del agua en la parroquia San Andrés del cantón Guano, provincia de Chimborazo* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3220/1/96T00224.pdf>
- Vitoria, I., Maraver, F., Sánchez Valverde, F., & Armijo, F. (2015). Nitrate concentrations in tap water in Spain. *Gaceta Sanitaria*, 29(3), 217–220. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2014.12.007>
- Wegelin, M. (1986). Horizontal-flow roughing filtration (HRF) a design, construction and operation manual. *IRCWD Report*, 0. <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IscScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=115773&indexSearch=ID%0Ahttps://www.ircwash.org/sites/default/files/255.4-86HO-3030.pdf>

Wegelin, M. (1996). Surface water treatment by roughing filters. *International Reference Centre for Waste Disposal*, 10, 1–180. <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=51240&indexSearch=ID>

Anexos

Anexo A. Criterios establecidos por la norma CPE INEN 005-9-1 para el diseño de una planta de tratamiento de agua potable.

Criterios generales de diseño
1. El percentil 95 de los valores medidos en el efluente de la planta durante su operación, no deben superar el límite para la turbiedad de 2 NTU; y, para el color verdadero de 5 Pt-Co.
2. El período de diseño del sistema de tratamiento es, mínimo, de 15 años.
3. La vida útil de los equipos complementarios debe ser superior a 10 años. Los accesorios y las unidades de tratamiento deben durar, bajo las condiciones de mantenimiento señaladas por el fabricante, como mínimo 20 años.
4. El caudal de diseño o capacidad nominal de la planta de tratamiento debe ser el máximo diario al final del período o etapa de diseño más el 10%.
5. La capacidad hidráulica de la planta debe ser entre el 10% al 25% mayor que la capacidad nominal, para este efecto, se debe proceder con este caudal a verificar el diseño hidráulico, a efectos de garantizar el cumplimiento de los criterios de diseño de los procesos unitarios seleccionados.
6. Las tuberías serán diseñadas para transportar por lo menos el 50% más que el caudal de diseño, evitando alterar los parámetros de diseño, tales como gradientes de velocidad, requeridos para el tratamiento.
7. Las tuberías deben ser diseñadas para transportar la capacidad hidráulica de la planta.
8. El diseño debe realizarse considerando un funcionamiento de la planta de 24 horas diarias, 365 días al año.
9. Se debe priorizar la energía hidráulica en el diseño de todos los procesos unitarios de tratamiento, excepto en los casos que, por razones técnicamente justificadas, sea necesario utilizar energía eléctrica.
10. Las obras civiles deben sujetarse a la Norma Ecuatoriana de la Construcción. En el caso de las unidades de tratamiento construidas en acero, se puede aplicar las especificaciones para estructuras metálicas de la AISC (American Institute of Steel Construction).

<p>11. Los diseños eléctricos deben satisfacer los códigos nacionales y las regulaciones locales existentes, y todos los sistemas deben ser protegidos contra rayos y descargas eléctricas.</p>
<p>12. Los diseños mecánicos deben adoptar el criterio de minimizar la utilización de equipos mecánicos en las unidades de tratamiento.</p>
<p>13. A fin de precautelar la integridad física del personal de operación se debe contemplar andenes de circulación y gradas de acceso con superficie antideslizante, provistas de pasamanos, contemplando las regulaciones locales de seguridad.</p>
<p>14. La instrumentación de la planta de tratamiento se debe adoptar en base al criterio del mayor grado de simplicidad, y acorde a la capacidad y nivel socio-económico de la comunidad a la que va a servir. Entre las variables de operación de la planta se debe controlar: caudal, nivel, presión, intensidad de agitación; y, entre las variables de calidad del agua, se podrá controlar en diferentes puntos de la línea de procesos de la planta de tratamiento. Las características físicas y químicas del agua. Los instrumentos que se pueden utilizar son: vertederos, piezómetros de tubos plásticos transparentes o regletas, medidores de caudal, sensores de nivel, transductores de presión, variadores de frecuencia, turbidímetros, sensores de pH de cloro libre y combinado. La operación de los procesos en la planta potabilizadora se debe realizar manualmente y se evitará la automatización de los procesos.</p>
<p>Ubicación de la planta</p>
<p>1. Fácil acceso en cualquier época del año.</p>
<p>2. En el caso de estar cerca de un río, debe ubicarse sobre el nivel de crecientes máximas, en un trecho recto del río o en la parte convexa de un trecho curvo.</p>
<p>3. Contar con abastecimiento de energía, facilidades para evacuación de aguas de proceso y lodos.</p>
<p>4. Presentar características de estabilidad y facilidades constructivas.</p>
<p>5. Tener área suficiente para la implantación de la planta de tratamiento y estructuras complementarias, y preferiblemente para permitir ampliaciones futuras. La casa del operador y la zona prevista para la disposición de lodos pueden encontrarse en terrenos diferentes pero cercanos al de la planta.</p>

Obras de llegada y repartición de caudales
1. Estas obras deben dimensionarse para el caudal máximo instantáneo del interceptor y comprobarse para que no exista septicidad en condiciones de funcionamiento correspondiente a los caudales mínimos del primer año de operación.
2. Se deberá proyectar un cajón de llegada del interceptor con facilidades para romper la presión de llegada y uniformizar velocidades.
3. Inmediatamente después del cajón de llegada se ubicarán las facilidades de bypass de la planta.
4. El fondo del canal de las obras de llegada es generalmente de 10 cm a 15 cm más bajo que la solera del emisario.
5. Se debe incluir en forma obligatoria un medidor de caudal con el propósito de proveer datos históricos sobre el caudal y sus variaciones, para desarrollar criterios de diseño para futuras ampliaciones y para evaluación del funcionamiento de los procesos de tratamiento. No se recomienda la instalación de vertederos, ya que se llenan de arena y obstruyen con material flotante.
6. El medidor de caudal debe incluir facilidades para la instalación de un limnógrafo, recomendándose el de acción mecánica, con cuerda o mecanismo de relojería. Este mecanismo debe estar instalado en una caseta debidamente protegido.
7. Las estructuras de repartición de caudal deben permitir la distribución de los caudales en varias partes, en el caso de tratamiento convencional. En general estas facilidades no deben permitir la acumulación de arena.
8. Para las facilidades antes indicadas se procederá al diseño para condiciones de caudal máximo, comprobando su funcionamiento para las condiciones de caudal mínimo al inicio de la operación.
Tuberías de entrada, salida y sistema de drenaje de los filtros
1. Los filtros lentos pueden operarse a tasa constante o a tasa variable. Para este efecto deberán diseñarse las estructuras de entrada y de salida de modo que permitan operar el filtro en cualquiera de las dos modalidades.
2. La estructura de entrada se diseñará de modo que se cumplan las siguientes condiciones:

<p>A. Se produzca una distribución uniforme del líquido sobre toda la superficie del filtro;</p> <p>B. Se impida la destrucción de la capa biológica;</p> <p>C. Se pueda drenar rápidamente la capa de agua sobrenadante, cuando se desee hacer la limpieza del filtro;</p> <p>D. Se pueda interrumpir totalmente la entrada de agua al filtro.</p>
<p>3. La estructura de salida se diseñará de modo que se cumplan las siguientes condiciones:</p> <p>A. Se impida la posibilidad de presiones negativas en el lecho filtrante;</p> <p>B. Se pueda medir el caudal producido por el filtro;</p> <p>C. Se pueda controlar la tasa de filtración si así se desea;</p> <p>D. Se pueda cerrar el filtro y drenarlo.</p>
<p>4. Para facilitar la operación y mantenimiento de la unidad, se preverá la instalación de tuberías de interconexión entre filtros; la construcción de un bordillo perimetral para evitar cortocircuitos; y, el uso de cubiertas en climas rigurosos para evitar el crecimiento de algas.</p>
<p>5. Los sistemas de drenaje podrán estar constituidos por losetas prefabricadas de hormigón, ladrillos y bloques de hormigón poroso, por tubos perforados y por grava gruesa. En caso de utilizarse tuberías con perforaciones, la velocidad del líquido dentro de ellas no excederá 0.3 m/s; el espaciamiento entre laterales será de 1 m a 2 m; el diámetro de los orificios será tal que permita la entrada del caudal correspondiente al caudal de servicio de cada lateral y generalmente oscilará entre 2 mm y 4 mm; el espaciamiento entre los orificios generalmente variará entre 0.1 m y 0.3 m. Las tuberías irán embebidas dentro de una capa de grava de 0.15 m de espesor, con partículas de 25 mm a 50 mm de diámetro. Cuando se utiliza grava como sistema de drenaje, la altura de la capa es alrededor de 0.15 m, formada por partículas de 40 mm a 100 mm de diámetro; el área máxima de lecho filtrante servida por un drenaje de grava será de 25 m².</p>
<p>Reservorio</p>
<ul style="list-style-type: none"> • El almacenamiento se ubicará lo más cerca posible de la población y del centro de gravedad de la demanda, en lugares cuya topografía minimice el costo, tanto de la reserva como de la red de distribución.

<ul style="list-style-type: none"> • Cuando la entrada y salida del tanque se deban realizar mediante tuberías separadas, éstas se ubicarán en lados opuestos, con el objeto de permitir la continua renovación del agua.
<ul style="list-style-type: none"> • En caso de diseñarse un solo tanque, debe preverse un paso directo (by pass), que permita mantener el servicio mientras se efectúa el lavado o la reparación del mismo. De ser necesario, se construirán estructuras o se instalarán equipos reductores de presión en este desvío.
<ul style="list-style-type: none"> • Los tanques serán siempre cubiertos y provistos de una boca de visita con su respectiva tapa con cerradura y llave.
<ul style="list-style-type: none"> • Las tuberías de rebose descargarán libremente y tendrán un diámetro igual o mayor al de la tubería de entrada.
<ul style="list-style-type: none"> • En el fondo del tanque se proveerá un sumidero desde el que partirán las tuberías de salida y de desagüe.
<ul style="list-style-type: none"> • Bajo la losa de fondo deberá proyectarse un sistema de drenes para eliminar el agua proveniente de infiltraciones.
<ul style="list-style-type: none"> • Todas las tuberías de entrada y salida del tanque, a excepción de las de rebose, deberán estar provistas de válvulas de compuerta.
<ul style="list-style-type: none"> • En la tubería de entrada, de ser necesario, se instalará una válvula flotadora.
<ul style="list-style-type: none"> • La altura mínima del tanque será de 2.5 m. hasta el nivel máximo de agua, más un borde libre de 0.3 m.
<ul style="list-style-type: none"> • En el tanque se incluirán los accesorios indispensables tales como: escaleras, respiraderos, indicadores de nivel, etc.

Nota: Obtenido de (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992).

Anexo B. Requisitos establecidos por la norma INEN 1108 para el agua potable destinada al consumo humano.

Requisitos de los parámetros físico-químicos en la potabilización del agua.

Parámetro	Unidad	Límite Máximo Permisible
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15

Turbiedad	NTU	5
Olor	—	no objetable
Sabor	—	no objetable
pH	Unidades de pH	6.5 - 8
Inorgánicos		
Antimonio (Sb)	mg/L	0.02
Arsénico (Ar)	mg/L	0.01
Bario (Ba)	mg/L	0.5
Boro (B)	mg/L	0.003
Cadmio (Cd)	mg/L	0.07
Cloro libre residual*	mg/L	0.3 a 0.15
Cobre (Cu)	mg/L	2.0
Cromo (Cr)	mg/L	0.05
Fluoruros	mg/L	1.5
Manganeso (Mn)	mg/L	0.4
Mercurio (Mg)	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 α*	Bq/L	0.1
Radiación total β**	Bq/L	1.0
Selenio (Se)	mg/L	0.01
<p>1) Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.</p> <p>* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: 210Po, 224Ra, 226Ra, 232Th, 234U, 238U, 239Pu.</p>		

** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: 60Co, 89Sr, 90Sr, 129I, 131I, 134Cs, 137Cs, 210Pb, 228Ra.

Nota: Obtenido de (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

Requisitos microbiológicos en la potabilización del agua.

Parámetro	Unidad	Límite Máximo Permissible
Coliformes Fecales		
- Tubo Múltiples	NMP/100ml	<1,1*
- Filtración por membrana	UFC/100ml	<1**
Cryptosporidium	Numero de ooquistes/100 L	Ausencia
Giardia	Número de quistes/100 L	Ausencia
* <1,1 significa que el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm ³ o 10 tubos de 10 cm ³ ninguno es positivo.		
**<1 significa que no se observan colonias.		

Nota: Obtenido de (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

Número de análisis microbiológicos a tomarse de acuerdo a la población servida.

Población	Número total de muestras por año
< 5000	12
5000 – 100000	12 por cada 5000 personas
100000 – 500000	120 más 12 por cada 10000 personas
> 500000	180 más 12 por cada 100000 personas

Nota: Obtenido de (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

Métodos de ensayo para la determinación de parámetros físicos y químicos en agua para consumo humano.

Parámetro	Método de ensayo
Arsénico	NTE INEN-ISO 11969 Standard Methods 3113

	Standard Methods 3120 Standard Methods 3125
Cadmio	Standard Methods 3120 Standard Methods 3125
Cloro residual	NTE INEN-ISO 7393-1
Cobre	Standard Methods 3113 Standard Methods 3120 Standard Methods 3125
Color Aparente	NTE INEN-ISO 7887
Cromo	Standard Methods 3113 Standard Methods 3120 Standard Methods 3125
Fluoruro	NTE INEN-ISO 10304-1 Standard Methods 4110
Mercurio	EPA 245.7 NTE INEN-ISO 17852 Standard Methods 3120 Standard Methods 3125
Nitratos	NTE INEN-ISO 13395 Standard Methods 4110
Nitritos	NTE INEN-ISO 13395 Standard Methods 4110
Plomo	Standard Methods 3125
Turbiedad	NTE INEN-ISO 7027

Nota: Obtenido de (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

Métodos de ensayo para la determinación de parámetros microbiológicos en agua para consumo humano.

Parámetro	Método de ensayo
Coliformes Fecales	Standard Methods 9223 EPA 1103 NTE INEN-ISO 9308-1
Cryptosporidium	EPA 1622 Standard Methods 9711 ISO 15533
Giardia	Standard Methods 9711 ISO 15533

Nota: Obtenido de (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

Anexo C. Resultados del monitoreo de la calidad del agua cruda

Agua Cruda		03/02/2022	23/02/2022	04/04/2022	27/04/2022	16/05/2022
Parámetro	Unidades	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Color	UCA (Pt - Co)	8	9	8	6	15
Turbidez	NTU	0.16	0.19	0.19	0.22	0.25
Conductividad	uS/cm	26.5	27	22.6	23.5	22.3
Temperatura	°C	15.9	16.3	15,1	15	14.1
pH	-	6.77	6.83	6,93	6.83	6.67
TDS	mg/L	14.8	15	12,8	13.4	12.9
Nitratos	mg/L	3.6	4.9	3,3	3.6	3.7
Nitritos	mg/L	0.009	0.009	0.014	0.01	0.013
Fluoruros	mg/L	0.06	0,08	0.03	0.02	0.05
Sulfatos	mg/L	0	0	0	0	0
Fósforo	mg/L	0.09	0.04	0.03	0.04	0.04
Hierro	mg/L	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05
Manganeso	mg/L	0.004	0.005	0.001	0.006	0.004

Alcalinidad total	mg/L	16	11	17	11	17
Dureza total	mg/L	11	12	17	15	10
Dureza cálcica	mg/L	4	7	5	5	6
Dureza magnésica	mg/L	7	5	12	10	4
Coliformes totales	UFC/100 ml	22	23	83	144	35
Coliformes fecales	UFC/100 ml	0	0	0	0	0

Anexo D. Resultados del monitoreo del agua filtrada

Agua Filtrada		03/02/2022	23/02/2022	04/04/2022	27/04/2022	16/05/2022
Parámetro	Unidades	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Color	UCA (Pt - Co)	8	9	6	5	15
Turbidez	NTU	0.08	0.11	0.08	0.09	0.12
Conductividad	uS/cm	30.7	26.3	22.5	24.9	21.7
Temperatura	°C	15	16.1	14.9	14.5	13.5
pH	-	6.84	7	7.05	6.89	6.87
TDS	mg/L	17.6	14.6	12.8	14.3	12.7
Nitratos	mg/L	3.2	4.8	2.5	2.6	3.5
Nitritos	mg/L	0.01	0.006	0.015	0.015	0.012
Fluoruros	mg/L	0.06	0.06	0.08	0.05	0.08
Sulfatos	mg/L	0	0	0	0	0
Fósforo	mg/L	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03
Hierro	mg/L	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Manganeso	mg/L	0.001	0.003	0.0001	0.001	0.001
Alcalinidad total	mg/L	16	11	17	16	16
Dureza total	mg/L	9	11	10	10	10
Dureza cálcica	mg/L	5	7	5	5	7
Dureza magnésica	mg/L	4	4	5	5	3
Coliformes totales	UFC/100 ml	1	3	1	19	1

Coliformes fecales	UFC/100 ml	0	0	0	0	0
--------------------	------------	---	---	---	---	---

Anexo E. Resultados del monitoreo del agua clorada

Agua tratada		03/02/2022	23/02/2022	04/04/2022	27/04/2022	16/05/2022
Parámetro	Unidades	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Color	UCA (Pt - Co)	4	6	7	3	12
Turbidez	NTU	0.08	0.13	0.06	0.07	0.08
Temperatura	°C	15.6	16.5	15.2	14.5	13.9
pH	-	7	7.09	7.03	7.04	6.91
Cloro libre residual	mg/L	1.09	0.61	0.58	0.48	0.02
Nitratos	mg/L	3.9	5.3	3,4	2.8	4
Nitritos	mg/L	0.008	0.008	0.015	0.013	0.011
Fluoruros	mg/L	0.08	0.06	0.09	0.03	0.09
Coliformes totales	UFC/100 ml	0	0	0	0	1
Coliformes fecales	UFC/100 ml	0	0	0	0	0
TDS	mg/L	16	15.9	13.6	13.1	13.2
Conductividad	uS/cm	28.5	28.8	24.1	22.9	22.8
Sulfatos	mg/L	0	0	0	0	0
Fósforo	mg/L	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04
Hierro	mg/L	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Manganeso	mg/L	0.001	0.001	0	0.002	0.001
Alcalinidad total	mg/L	15	9	18	16	16
Dureza total	mg/L	11	10	16	13	11
Dureza cálcica	mg/L	6	6	7	6	7
Dureza magnésica	mg/L	5	4	9	7	4

Anexo F. Ubicación de los puntos de monitoreo del cloro residual

Sector	# de medidor	Coordenadas X	Coordenadas Y
Charcay	99260	714863	9630516
Sabinta	42878	714416	9630089
Rosas	042823	715564	9631073
Totoracocha	914228	715468	9631462
Tamboloma	042776	715236	9631431
Zhamanga	042846	714691	9631752
El Salado (1)	943406	714378	9632341
El Salado (2)	042804	714945	9632713
La Playa (1)	912293	715139	9633471
La Playa (2)	131362	716140	9634796

Anexo G. Resultados del análisis del cloro residual en el reservorio

Fecha	Hora	Concentración Cl2 Reservorio
03/06/2022	05:00 a.m.	1.17
10/06/2022	05:00 a.m.	1.04
08/07/2022	05:00 a.m.	0.99
15/07/2022	05:00 a.m.	1.35
22/07/2022	05:00 a.m.	1.05

Anexo H. Resultados del análisis del cloro residual en la red de distribución

	09:00 a.m.	12:00 p.m.	15:00 p.m.
03/06/2022			
Charcay	1.13	0,76	0,65
Sabinta	1.04	0,68	0,63
Rosas	0.97	0,61	0,57
Totoracocha	1	0,67	0,61
Tamboloma	0.97	0,63	0,62
Zhamanga	1.27	0,98	0,61
El Salado (1)	0.9	0,79	0,69
El Salado (2)	1.18	0,83	0,7
La Playa (1)	1.21	0,84	0,67

La Playa (2)	0.35	1,01	0,9
10/06/2022	09:00 a.m.	12:00 p.m.	15:00 p.m.
Charcay	0.77	1.29	1.59
Sabinta	0.93	1.46	1.81
Rosas	0.84	1.51	1.16
Totoracocha	0.91	1.45	1.63
Tamboloma	0.96	1.61	1.58
Zhamanga	0.72	0.68	0.75
El Salado (1)	0.49	0.73	1.25
El Salado (2)	0.44	0.74	1.47
La Playa (1)	0.4	0.5	1.19
La Playa (2)	0.04	0.44	0.81
08/07/2022	09:00 a.m.	12:00 p.m.	15:00 p.m.
Charcay	0.05	0.16	0.33
Sabinta	0.41	0.67	1.23
Rosas	0.51	0.79	1.21
Totoracocha	0.44	0.72	1.1
Tamboloma	0.29	0.75	1.2
Zhamanga	0.02	0.3	1.17
El Salado (1)	0.08	0.24	0.7
El Salado (2)	0.01	0.23	0.66
La Playa (1)	0.03	0.11	0.49
La Playa (2)	0.04	0.1	0.12
15/07/2022	09:00 a.m.	12:00 p.m.	15:00 p.m.
Charcay	0.83	0.8	1.12
Sabinta	0.98	0.78	0.98
Rosas	0.83	1.04	0.93
Totoracocha	0.86	1.01	1.12
Tamboloma	0.86	1.05	0.97
Zhamanga	0.79	0.92	0.91
El Salado (1)	0.65	0.81	0.89
El Salado (2)	0.69	0.78	0.76

La Playa (1)	0.56	0.75	0.77
La Playa (2)	0.13	0.07	0.66
22/07/2022	09:00 a.m.	12:00 p.m.	15:00 p.m.
Charcay	0.3	0.53	0.76
Sabinta	0.4	0.63	0.63
Rosas	0.56	0.77	0.52
Totoracocha	0.54	0.76	0.55
Tamboloma	0.56	0.75	0.51
Zhamanga	0.27	0.28	0.66
El Salado (1)	0.24	0.43	0.53
El Salado (2)	0.22	0.34	0.55
La Playa (1)	0.13	0.31	0.51
La Playa (2)	0.03	0.04	0.13

Anexo I. Resultados del monitoreo del caudal que ingresó a la planta

Fecha	Caudal
03/02/2022	4.28
23/02/2022	4.3
04/04/2022	5.79
27/04/2022	9.19
16/05/2022	6.17

Anexo J. Resultados de la pérdida de caudal en la planta

		Altura (m)	Caudal (m3/s)	Caudal (L/s)	Caudal total Ingreso a la planta (L/s)	
Ingreso	Cajón de aforo	0.095	0.003894	3.894	7.789	
Prefiltro 1	Vertedero 1	0.072	0.001947	1.947	Caudal total salida prefiltro 1 (L/s)	Caudal total salida de los prefiltros (L/s)
	Vertedero 2	0.067	0.001627	1.627	3.574	

Prefiltro 2	Vertedero 3	0.059	0.001184	1.184	Caudal total salida prefiltro 2 (L/s)	
	Vertedero 4	0.061	0.001287	1.287	2.470	6.045
Filtro lento 1	Vertedero 1	0.062	0.001340	1.340	Caudal total salida filtro 1 y 2 (L/s)	Caudal total salida de los filtros (L/s)
Filtro lento 2	Vertedero 2	0.056	0.001039	1.039	2.379	
Filtro lento 3	Vertedero 3	0.065	0.001508	1.508	Caudal total salida filtro 3 y 4 (L/s)	
Filtro lento 4	Vertedero 4	0.07	0.001815	1.815	3.323	5.702

Anexo K. Resultados de la medición de la velocidad de filtración.

	h (cm); t = 0 min	h (cm); t = 30 min	Diferencia de altura (cm); t = 30 min	Diferencia de altura (m); t = 30 min	Velocidad de filtración (m/h)
Filtro lento 1	41	51.4	10.4	0.104	0.208
Filtro lento 2	46	54.2	8.2	0.082	0.164
Filtro lento 3	5	13.2	8.2	0.082	0.164
Filtro lento 4	42.5	51.2	8.7	0.087	0.174

Anexo L. Consumo de agua potable por parte de la población a la cual distribuye la planta de “Jully” y la planta “La Loma” jurisdicción del GADM de Nabón

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE NABÓN									
DEPARTAMENTO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO									
RUTAS	NOMBRE	NRO. USUARIOS	NRO. USUARIOS NO DOMICILIARIOS	NRO. USUARIOS DOMICILIARIOS	NRO. USUARIOS CONSUMO CERO	NRO. USUARIOS NO DOMICILIARIOS CONSUMO CERO	NRO. USUARIOS DOMICILIARIOS CONSUMO CERO	CONSUMO PROMENSUAL USUARIOS NO DOMICILIARIOS m3	CONSUMO PROMENSUAL USUARIOS DOMICILIARIOS m3
1	CENTRO	229	7	222	50	2	48	384.14	3487.29
2	CRUZLOMA	142	8	134	31	1	30	302.86	2348.57
3	ROSAS	156	2	154	59	2	57	0	1194.29
4	SIGUIR	14	1	13	3	1	2	0	183.71
5	LA PLAYA	97	0	97	20	0	20	0	1170.71
6	SHAMANAGA	68	1	67	21	0	21	39	629.86
7	TAMBLOMA	91	3	88	22	0	22	40.86	1048.57
8	TOTORA COCHA	13	0	13	4	0	4	0	96.43
9	CHACANILLAS	39	0	39	10	0	10	0	353.29
10	GUAGLULA	38	2	36	10	1	9	12.43	439.71
11	SABINTA	110	2	108	26	0	26	110.29	1596.14
12	CHARCAY	13	0	13	4	0	4	0	121.71
TOTAL		1010	26	984	260	8	252	889.58	12670.28

Anexo M. Resultados del cálculo de la eficiencia de tratamiento en la PTAP “La Loma”

Parámetro	Monitoreo 1 %	Monitoreo 2 %	Monitoreo 3 %	Monitoreo 4 %	Monitoreo 5 %
Color	50.00	3333	12.50	50.00	20.00
Turbidez	50.00	31.58	68.42	68.18	68.00
SDT	-8.11	-6.00	-6.25	2.24	-2.33
Alcalinidad Tot	6.25	18.18	-5.88	-45.45	5.88
Dureza Cálctica	-50.00	14.29	-40.00	-20.00	-16.67
Dureza Magnésica	28.57	20.00	25.00	30.00	0.00
Dureza Tot	0.00	16.67	5.88	13.33	-10.00
Coliformes Tot	100.00	100.00	100.00	100.00	97.14
Nitratos	-8.33	-8.16	-3.03	22.22	-8.11
Nitritos	11.11	11.11	-7.14	-30.00	15.38
Hierro	66.67	33.33	50.00	60.00	40.00
Manganeso	75.00	80.00	100.00	66.67	75.00
Fluoruros	-33.33	25.00	-200.00	-50.00	-80.00
Fósforo	33.33	-50.00	-66.67	-25.00	0.00

Anexo N. Resultados del ensayo granulométrico de la arena de los filtros

Granulometría correspondiente al Filtro de Arena 4.

N° Tamiz	Diámetro (mm)	Peso Retenido (g)	%Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
5	4	26.580	2.658%	2.658%	97.342%
10	2	72.386	7.239%	9.897%	90.103%
18	1	455.778	45.578%	55.474%	44.526%
25	0.710	161.630	16.163%	71.637%	28.363%
35	0.500	126.480	12.648%	84.285%	15.715%
60	0.250	146.803	14.680%	98.966%	1.034%
120	0.125	10.071	1.007%	99.973%	0.027%
230	0.063	0.272	0.027%	100%	0%
Fondo		0	0%	100%	0%
Peso inicial de la arena		1000			

Granulometría correspondiente al Filtro de Arena 2.

N° Tamiz	Diámetro (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa
5	4	0.225	0.023%	0.023%	99.978%
10	2	47.756	4.776%	4.798%	95.202%
18	1	547.140	54.714%	59.512%	40.488%
25	0.710	135.277	13.528%	73.040%	26.960%
35	0.500	122.750	12.275%	85.315%	14.685%
60	0.250	133.521	13.352%	98.667%	1.333%
120	0.125	12.883	1.288%	99.955%	0.045%
230	0.063	0.448	0.045%	100%	0%
Fondo		0	0%	100%	0%
Peso inicial de la arena		1000			

Anexo O. Evidencias de los monitoreos realizados de la calidad del agua en la PTAP “LA Loma”







Anexo P. Evidencias de los monitoreos realizados del cloro residual en la red de distribución



