



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

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

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LA COMUNIDAD GAMBOA PERTENECIENTE AL
CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

Autor: Oscar David Galarza Lalama

Tutor: Ing. Fidel Alberto Castro Solórzano, Mg.

AMBATO - ECUADOR

Septiembre - 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD GAMBOA PERTENECIENTE AL CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, elaborado por el Sr. Oscar David Galarza Lalama, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 180521995-1, estudiante de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, septiembre 2023



Ing. Fidel Alberto Castro Solórzano, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Oscar David Galarza Lalama, con C.I. 180521995-1 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente Trabajo Experimental con el tema: **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD GAMBOA PERTENECIENTE AL CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2023



Oscar David Galarza Lalama

C.I. 180521995-1

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, septiembre 2023



Oscar David Galarza Lalama

C.I. 180521995-1

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

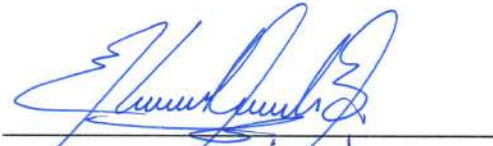
Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Oscar David Galarza Lalama de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD GAMBOA PERTENECIENTE AL CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**.

Ambato, septiembre 2023

Para constancia firman:



Ing. Mayra Alexandra Viscaino Cuzco, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Bolívar Eduardo Paredes Beltrán, Ph.D.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Es mi placer dedicar este trabajo a aquellos que han sido fundamentales en mi trayectoria académica, a mi padre, madre y abuelita quienes con su apoyo, guía y ánimo me han permitido alcanzar este logro. Este homenaje es un testimonio de mi profundo tributo y aprecio por sus contribuciones a mi vida y a mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a aquellos que han contribuido de manera significativa en la realización de este proyecto. Sus valiosas aportaciones, consejos y apoyo incondicional han sido fundamentales para alcanzar los objetivos propuestos.

A mi abuelita Piedad, que con amor, esmero y paciencia ha sido mi guía en mi desarrollo y formación personal. Tu sacrificio y entrega para que yo pudiera tener una educación y alcanzar mis sueños son invaluableles. Durante toda mi vida, has estado a mi lado, guiándome, aconsejándome y apoyándome en cada paso del camino. Tu amor incondicional me ha dado la fuerza para superar los obstáculos y perseverar en los momentos difíciles.

A mi madre Elvia, una mujer luchadora que nunca se ha rendido y siempre me ha brindado su confianza y me ha inspirado a seguir adelante en momentos de dificultad. Quiero agradecerte de todo corazón por ser mi apoyo incondicional en la vida. Siempre has trabajado incansablemente para proporcionar a nuestra familia lo mejor y no te ha importado sacrificar tus propios sueños por el bienestar de los demás. Tu ejemplo me ha enseñado que, con determinación y trabajo duro, se pueden superar cualquier obstáculo en la vida. Espero poder ser tan fuerte y valiente como tú algún día.

A mi padre Oscar, mi mentor y amigo. Gracias por ser mi guía y mi apoyo constante en la vida. Desde temprana edad, siempre me inspiraste con tu amor y pasión por la ingeniería civil, y gracias a ti, encontré mi camino en este campo emocionante. Tu conocimiento y sabiduría me han inspirado a perseguir mis sueños, y gracias a tu guía, estoy a punto de graduarme como ingeniero civil.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	1
1.1.1. Antecedentes.....	1
1.1.2. Justificación.....	6
1.1.3. Hipótesis.....	7
Hipótesis de Trabajo.....	7
Hipótesis Nula.....	7
Variables de la hipótesis.....	7
1.2. OBJETIVOS.....	8
1.2.1. Objetivo General.....	8
1.2.2. Objetivos Específicos.....	8
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.....	9
2.1. MATERIALES.....	9
2.1.1. Materiales y equipo necesarios para alcanzar el objetivo 1.....	9
2.1.2. Materiales y equipo necesarios para alcanzar el objetivo 2.....	10
2.1.3. Materiales y equipo necesarios para alcanzar el objetivo 3.....	12
2.1.4. Materiales y equipo necesarios para alcanzar el objetivo 4.....	12

2.2.	MÉTODOS.....	13
2.2.1.	Etapa I.- Levantamiento de información de la planta de tratamiento	13
2.2.2.	Etapa II.- Investigación de campo.....	13
2.2.3.	Etapa III.- Análisis de laboratorio de las características fisicoquímicas del afluente y efluente	14
2.2.4.	Etapa IV.- Análisis y verificación del funcionamiento de la planta de tratamiento.....	16
2.2.5.	Etapa V.- Propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento.....	16
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN		17
3.1.	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	17
3.1.1.	Descripción de la zona de estudio	17
	Demografía.....	17
	Clima.....	18
	Estructura de depuración.....	18
	Observaciones in situ de la PTAR.....	19
	Identificación de la población servida.....	23
	Encuestas realizadas.....	25
3.1.2.	Unidades que conforman el tratamiento	29
	Diagrama de flujo de la línea de tratamiento del agua residual	29
	Tanque repartidor de caudales.....	29
	Tanque séptico.....	30
	Filtro biológico (FAFA)	32
	Filtro descendente	33
	Caja de cloración.....	34
	Lecho de secado de lodos.....	34
3.2.	MEDICIÓN DE CAUDALES	35
3.2.1.	Caudales a la entrada de la PTAR	36
3.2.2.	Caudales a la salida de la PTAR.....	45
3.2.3.	Caudal de alcantarillado.....	54
3.3.	ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL DE LA PTAR	56
3.3.1.	Análisis del afluente	57
3.3.2.	Análisis del efluente.....	59

3.4.	EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO	60
3.5.	VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	62
3.6.	PROPUESTA DE MEJORA Y OPERACIÓN DE LA PTAR.....	62
3.6.1.	Propuesta de mejora	62
	Reposición de tapas de hormigón armado y adición de tiraderas	62
	Solución al bypass obstruido.....	62
	Diseño de cubierta.....	63
3.6.2.	Manual de operación y mantenimiento	64
	Procedimiento de operación del Tanque Repartidor de Caudales.....	64
	Procedimiento de operación del Tanque Séptico	65
	Procedimiento de operación del Filtro Biológico (FAFA).....	65
	Procedimiento de operación del Filtro Descendente.....	65
	Procedimiento de operación del Sistema de Dosificación de Cloro	66
	Procedimiento de operación del Lecho de Secado de Lodos.....	66
	Procedimiento de gestión de jardines.....	66
	Resumen de actividades de mantenimiento	66
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		68
4.1.	CONCLUSIONES	68
4.2.	RECOMENDACIONES.....	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		71
ANEXOS.....		76
ANEXO N° 1:	FOTOGRAFÍAS	77
ANEXO N° 2:	FORMATO DE LA ENCUESTA	84
ANEXO N° 3:	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL DE LA PTAR GAMBOA	86
ANEXO N° 4:	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	89
ANEXO N° 5:	CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA	99
ANEXO N° 6:	PLANOS	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales y equipos empleados para alcanzar el objetivo 1 (continua).....	9
Tabla 2. Materiales y equipos empleados para alcanzar el objetivo 1 (continua).....	10
Tabla 3. Materiales y equipos empleados para alcanzar el objetivo 2.	10
Tabla 4. Materiales y equipos empleados para alcanzar el objetivo 2 (continua).....	11
Tabla 5. Materiales y equipos empleados para alcanzar el objetivo 2 (continua).....	12
Tabla 6. Materiales y equipos empleados para alcanzar el objetivo 3.	12
Tabla 7. Materiales y equipos empleados para alcanzar el objetivo 4.	12
Tabla 8. Estadísticas demográficas y de servicio.	24
Tabla 9. Proyección lineal de la población servida al año 2023.	25
Tabla 10. Datos tabulados de la pregunta 1.....	26
Tabla 11. Datos tabulados de la pregunta 2.....	27
Tabla 12. Datos tabulados de la pregunta 3.....	27
Tabla 13. Datos tabulados de la pregunta 4.....	27
Tabla 14. Datos tabulados de la pregunta 5.....	28
Tabla 15. Datos tabulados de la pregunta 6.....	28
Tabla 16. Medición de caudales de ingreso PTAR - Gamboa, primera semana.	37
Tabla 17. Resumen de medias diarias de caudales de ingreso, primera semana.....	37
Tabla 18. Estadística descriptiva de medias de caudales de ingreso, primera semana.	37
Tabla 19. Medición de caudales de ingreso PTAR - Gamboa, segunda semana.....	38
Tabla 20. Resumen de medias diarias de caudales de ingreso, segunda semana.	39
Tabla 21. Estadística descriptiva de medias de caudales de ingreso, segunda semana.	39
Tabla 22. Medición de caudales de ingreso PTAR - Gamboa, tercera semana.....	40
Tabla 23. Resumen de medias diarias de caudales de ingreso, tercera semana.	40
Tabla 24. Estadística descriptiva de medias de caudales de ingreso, tercera semana.	40
Tabla 25. Medición de caudales de ingreso PTAR - Gamboa, cuarta semana.	41
Tabla 26. Resumen de medias diarias de caudales de ingreso, cuarta semana.	42
Tabla 27. Estadística descriptiva de medias de caudales de ingreso, cuarta semana.	42
Tabla 28. Medición de caudales de ingreso PTAR - Gamboa, quinta semana.....	43
Tabla 29. Resumen de medias diarias de caudales, quinta semana.....	43
Tabla 30. Estadística descriptiva de medias de caudales, quinta semana.	43

Tabla 31. Resumen de caudales mensuales de ingreso a la PTAR.....	44
Tabla 32. Estadística descriptiva general de los caudales de ingreso a la PTAR.	45
Tabla 33. Medición de caudales de salida PTAR - Gamboa, primera semana.....	46
Tabla 34. Resumen de medias diarias de caudales de salida, primera semana.	46
Tabla 35. Estadística descriptiva de medias de caudales de salida, primera semana.	46
Tabla 36. Medición de caudales de salida PTAR - Gamboa, segunda semana.....	47
Tabla 37. Resumen de medias diarias de caudales de salida, segunda semana.....	48
Tabla 38. Estadística descriptiva de medias de caudales de salida, segunda semana.	48
Tabla 39. Medición de caudales de salida PTAR - Gamboa, tercera semana.	49
Tabla 40. Resumen de medias diarias de caudales de salida, tercera semana.....	49
Tabla 41. Estadística descriptiva de medias de caudales de salida, tercera semana. .	49
Tabla 42. Medición de caudales de salida PTAR - Gamboa, cuarta semana.	50
Tabla 43. Resumen de medias diarias de caudales de salida, cuarta semana.	51
Tabla 44. Estadística descriptiva de medias de caudales de salida, cuarta semana. ..	51
Tabla 45. Medición de caudales de salida PTAR - Gamboa, quinta semana.	52
Tabla 46. Resumen de medias diarias de caudales de salida, quinta semana.....	52
Tabla 47. Estadística descriptiva de medias de caudales de salida, quinta semana. ..	52
Tabla 48. Resumen de caudales mensuales de salida de la PTAR.	53
Tabla 49. Estadística descriptiva general de los caudales de salida de la PTAR.....	54
Tabla 50. Resumen de datos para el caudal del alcantarillado.	55
Tabla 51. Comparación de parámetros del afluente con los parámetros del Anexo 1 de la TULSMA (continua).....	57
Tabla 52. Comparación de parámetros del afluente con los parámetros del Anexo 1 de la TULSMA (continua).....	58
Tabla 53. Comparación de parámetros del efluente con los parámetros del Anexo 1 de la TULSMA.	59
Tabla 54. Comparación de resultados de análisis en la entrada y salida.....	61
Tabla 55. Resumen de actividades de mantenimiento.	66
Tabla 56. Resumen de actividades de mantenimiento (continua).....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Encuesta a morador de la zona donde se encuentra la PTAR.....	13
Figura 2. Dimensionamiento de los componentes de la PTAR.....	14
Figura 3. Recolección de muestras de agua residual de la PTAR.....	15
Figura 4. Muestras del agua a la entrada y salida de la PTAR conservadas en hielo.	16
Figura 5. Parroquia San Pedro de Pelileo cabecera cantonal del cantón Pelileo.	17
Figura 6. Cultivos permanentes de mandarina.....	18
Figura 7. Ubicación de la PTAR Gamboa.	19
Figura 8. Solución de la administración de la PTAR a la obstrucción del bypass. ...	19
Figura 9. Deterioro en las tapas de hormigón armado.	20
Figura 10. Acumulación de suciedad en el tanque clorador.....	20
Figura 11. Deterioro de la pintura en las estructuras de la PTAR.	21
Figura 12. Evidencia de plantas en el medio filtrante del lecho de secado de lodos.	21
Figura 13. Material fino sobre el material de soporte en el filtro biológico.	22
Figura 14. Acumulación de agua en la cubierta de la caseta del operador.....	22
Figura 15. Ubicación de la señalización de las estructuras de depuración de la PTAR.	23
Figura 16. Proyección lineal de la población a la que sirve la PTAR de Gamboa. ..	25
Figura 17. Diagrama de flujo de la línea de tratamiento del agua residual.....	29
Figura 18. Vista en planta tanque repartidor de caudales.....	30
Figura 19. Corte transversal tanque repartidor.....	30
Figura 20. Vista en planta tanque séptico.....	31
Figura 21. Corte longitudinal tanque séptico.	31
Figura 22. Vista en planta filtro biológico.....	32
Figura 23. Corte filtro bilógico.	32
Figura 24. Vista en planta filtro descendente.	33
Figura 25. Corte longitudinal filtro descendente.....	33
Figura 26. Vista en planta caja de cloración.....	34
Figura 27. Corte caja de cloración.	34
Figura 28. Vista en planta lecho de secado de lodos.	35
Figura 29. Corte longitudinal lecho de secado de lodos.	35
Figura 30. Curva de comportamiento semanal flujo de ingreso, primera semana. ...	38
Figura 31. Curva de comportamiento semanal flujo de ingreso, segunda semana. ..	39

Figura 32. Curva de comportamiento semanal flujo de ingreso, tercera semana.	41
Figura 33. Curva de comportamiento semanal flujo de ingreso, cuarta semana.....	42
Figura 34. Curva de comportamiento semanal flujo de ingreso, quinta semana.	44
Figura 35. Comportamiento semanal promedio del agua residual en la entrada de la PTAR.....	45
Figura 36. Curva de comportamiento semanal flujo de salida, primera semana.	47
Figura 37. Curva de comportamiento semanal flujo de salida, segunda semana.....	48
Figura 38. Curva de comportamiento semanal flujo de salida, tercera semana.....	50
Figura 39. Curva de comportamiento semanal flujo de salida, cuarta semana.	51
Figura 40. Curva de comportamiento semanal flujo de salida, quinta semana.....	53
Figura 41. Comportamiento semanal promedio del agua residual en la salida de la PTAR.....	54
Figura 42. Comparación de parámetros analizados en la entrada y salida de la PTAR.	61
Figura 43. Planta de la cubierta propuesta sobre el lecho de secado de lodos.	63
Figura 44. Corte transversal de la cubierta propuesta.	64
Figura 45. Falta de mantenimiento en el tanque hipo clorador.	78
Figura 46. Ausencia en el mantenimiento del lecho de secado de lodos.	78
Figura 47. Deterioro en las tapas de hormigón armado de las cajas de válvulas y cajas de revisión.	78
Figura 48. Dimensionamiento de la unidad FAFA con distanciómetro laser.	79
Figura 49. Medición de caudales mediante el método volumétrico en la caja de revisión de ingreso de agua residual.	79
Figura 50. Medición de caudales mediante el método volumétrico en la caja de revisión de salida de agua tratada.....	80
Figura 51. Recolección de alícuota para muestras compuestas en la caja de ingreso de agua residual de la PTAR.	80
Figura 52. Recolección de alícuota para muestras compuestas en la caja de salida de agua tratada de la PTAR.	81
Figura 53. Conservación de muestra compuesta.	81
Figura 54. Descarga de aguas tratadas al cauce del Río Patate.	82
Figura 55. Vista frontal del tanque séptico se denota la maleza a su alrededor.....	82
Figura 56. Vista lateral del filtro biológico se denota la maleza a su alrededor.	83

Figura 57. Vista lateral del filtro descendente.	83
Figura 58. Vista lateral del lecho de secado de lodos se denota la maleza a su alrededor.	83

RESUMEN EJECUTIVO

El emplazamiento del sistema de purificación de aguas residuales en la zona turística de Gamboa, en el cantón de Pelileo de la provincia de Tungurahua, ha despertado inquietudes sobre la salvaguarda de la salud pública y la preservación del medio ambiente. Así, se realizó un examen con el propósito de comprobar si los procedimientos de limpieza estaban funcionando correctamente y cumplían con su cometido de purificar el agua residual.

Para efectuar este examen, se realizó un estudio topográfico que facilitó la medición de las unidades funcionales de la planta de tratamiento y la elaboración de un diseño general de la edificación con planos "as-built". Se recopilaron también datos de los flujos de entrada y salida utilizando el método volumétrico para determinar el flujo máximo y llevar a cabo el análisis de laboratorio a partir de una muestra mixta para evaluar los parámetros fisicoquímicos del agua residual sin tratar (afluente) y el agua residual tratada (efluente), contrastando los valores obtenidos con los establecidos por la normativa TULSMA 2015.

El análisis corroboró que la eficacia operacional del sistema de tratamiento de aguas residuales estaba dentro de los límites aceptables. No obstante, se identificó una oportunidad para mejorar la eficiencia en el tratamiento de lodos, lo que conllevó la necesidad de instalar una cubierta que facilitará la correcta deshidratación de los residuos sólidos producidos en el tanque séptico. Como añadido, se elaboró un manual de operación y mantenimiento con el objetivo de garantizar el rendimiento óptimo de la planta a largo plazo y asegurar la vida útil de la infraestructura hidráulica.

Palabras clave: planta de tratamiento, aguas residuales, protección del ambiente, procesos de depuración, salud pública.

ABSTRACT

The location of the wastewater purification system in the tourist area of Gamboa, in the Pelileo canton of Tungurahua province, has raised concerns about public health safeguards and environmental preservation. Thus, an examination was conducted to verify whether the cleaning procedures were functioning properly and fulfilling their purpose of purifying the wastewater.

To carry out this examination, a topographic study was conducted to facilitate the measurement of the functional units of the treatment plant and the development of a general building design with "as-built" plans. Data on inflow and outflow rates were also collected using the volumetric method to determine the maximum flow and perform laboratory analysis based on a composite sample to evaluate the physicochemical parameters of the untreated wastewater (influent) and the treated wastewater (effluent), comparing the obtained values with those established by the TULSMA 2015 regulations.

The analysis confirmed that the operational effectiveness of the wastewater treatment system was within acceptable limits. However, an opportunity to improve the efficiency of sludge treatment was identified, leading to the need to install a cover to facilitate proper dehydration of the solid waste produced in the septic tank. Additionally, an operation and maintenance manual was developed to ensure the long-term optimal performance of the plant and secure the service life of the hydraulic infrastructure.

Keywords: treatment plant, wastewater, environmental protection, purification processes, public health.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Antecedentes

Desde el inicio de las sociedades organizadas, el tratamiento inadecuado del agua servida ha sido un problema que ha afectado a la salud pública y al medio ambiente. La liberación de aguas negras por parte de las comunidades humanas ha generado la liberación de sólidos, minerales, metales y patógenos al ambiente circundante [1]. En la actualidad, las PTAR juegan un papel crucial en la protección del medio ambiente y la salud pública. Estas instalaciones permiten que las aguas residuales sean tratadas antes de descargarse en cuerpos de agua, reduciendo así la cantidad de contaminantes que ingresan en los ecosistemas acuáticos. Además, el tratamiento de aguas residuales también previene la propagación de enfermedades transmitidas por el agua, ya que elimina los patógenos y los agentes infecciosos presentes en las aguas residuales [2].

En los países desarrollados, la baja incidencia de enfermedades relacionadas con el agua se atribuye a la presencia de sistemas de abastecimiento de agua y tratamiento de aguas residuales eficientes. Sin embargo, según [3] en los países en desarrollo, alrededor de 2000 millones de personas carecen de acceso a agua potable segura y saneamiento adecuado, lo que resulta en una alta prevalencia de enfermedades relacionadas con el agua.

En la actualidad, la atención se centra en la necesidad de eliminar los contaminantes presentes en el agua residual, ya que estos pueden tener efectos negativos a largo plazo en la salud humana y en el medio ambiente. Por lo tanto, es esencial entender la relación entre la calidad del agua residual y su impacto en la salud humana y ambiental, a fin de proteger a las poblaciones y al medio ambiente de los riesgos asociados con la exposición a estas impurezas [4]. La creciente necesidad de soluciones para el tratamiento de aguas residuales sigue en aumento, y en la actualidad, existe una preocupación particular por los micro contaminantes que pueden provocar efectos adversos como la interrupción o alteración endocrina, y que tienen la capacidad de acumularse en el ciclo hidrológico o afectar los ecosistemas [5].

Las aguas residuales son aquellas que se han utilizado en hogares, instituciones, oficinas e industrias, que pueden mezclarse con agua de lluvia, aguas subterráneas o aguas superficiales. Si estas aguas no son tratadas antes de descargarse en los cuerpos receptores, su continua liberación puede causar efectos negativos sobre el medio ambiente circundante como la emisión de olores desagradables, la disminución del oxígeno disuelto y la liberación de contaminantes tóxicos y patógenos [5], [6]. Por lo tanto, es importante implementar procesos físicos, químicos y biológicos para tratar las aguas residuales y reducir los posibles impactos de su descarga en el medio ambiente [7].

Además, el tratamiento puede permitir la recuperación de recursos valiosos, como el agua misma, nutrientes y biosólidos. La combinación de procesos físicos (como cribado, sedimentación y filtración), químicos (como la coagulación y oxidación), térmicos (como el secado y la incineración) y biológicos (en sistemas de biomasa suspendida o fija) es una opción para lograr el tratamiento efectivo de las aguas residuales [5].

De acuerdo con la UNESCO en [8], más del 80% de las aguas residuales a nivel global no son recogidas ni tratadas, siendo los asentamientos urbanos la principal fuente de contaminación. Consecuentemente la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha estimado que sólo alrededor del 66% de la población mundial tiene acceso a sistemas de alcantarillado, con una conexión del 77% en áreas urbanas y solo el 18% en áreas rurales. Asimismo, solo se trata entre el 30% y el 40% del agua residual captada, aunque no se tiene certeza sobre la calidad del agua descargada o si cumple con las regulaciones establecidas. Este bajo porcentaje es alarmante dadas las tasas de ingreso y urbanización de la región y tiene graves implicaciones en términos de salud pública, sostenibilidad ambiental y equidad social [9].

En el 2022, el INEC en [10] informó que Ecuador contaba con 221 Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM). Entre ellos, 108 municipios disponían alcantarillado combinado, que incluye alcantarillado sanitario y pluvial, mientras que 7 carecían de alcantarillado. Aunque es alentador saber que 164 GADM contaban con una o más Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), lo que representa una mejora significativa y demuestra el avance en la gestión de aguas

residuales en el país, en ese año aun 50 GADM no disponían de una planta de tratamiento. Esto plantea un desafío para la salud pública y la sostenibilidad ambiental. Igualmente, es alarmante que solo el 22,3 % del agua distribuida a nivel nacional ingrese a las PTAR, siendo aún más bajo en la sierra con solo el 17,5 %. Es importante destacar que el 43,5% de las PTAR en Ecuador han vertido el agua tratada en los ríos, mientras que el 33,6% lo ha descargado en quebradas. Esta situación indica claramente que aún se debe trabajar arduamente para lograr una gestión adecuada de las aguas residuales en el país.

En Ecuador la normativa TULSMA, se ha creado con el propósito de establecer políticas básicas ambientales en el país que permitan minimizar los impactos negativos en el medio ambiente y mantener las oportunidades sociales y económicas del desarrollo sostenible. Esta normativa se ha diseñado para proteger la calidad del recurso hídrico, garantizando su uso adecuado y la integridad tanto de las personas como de los ecosistemas y el ambiente en general. En este sentido, su objetivo es preservar y salvaguardar los usos asignados al agua, así como las interrelaciones existentes entre los diferentes componentes del ecosistema, minimizando los impactos adversos que pudieran derivarse de su uso inadecuado o de la descarga de aguas residuales sin tratamiento previo [11].

Para evaluar la eficiencia de una PTAR y verificar el cumplimiento de las normativas ambientales, es esencial analizar el afluente y efluente. Para ello, se debe recolectar una muestra compuesta mezclando varias muestras individuales tomadas en diferentes momentos del día. De esta forma, se obtiene una muestra representativa del proceso de tratamiento en su conjunto [12].

Además, es importante tener en cuenta que el análisis inmediato de las muestras, es crucial para evitar errores causados por el deterioro de estas. Para una correcta preservación de las muestras y para minimizar los errores, se pueden utilizar técnicas como el almacenamiento y enfriamiento a 4°C y la acidificación de las muestras. Es recomendable homogeneizar las muestras y utilizar instrumentos y botellas especializadas para minimizar la degradación de la calidad de la muestra que se está obteniendo [13].

Con el análisis de la muestra compuesta, se determina la calidad del afluente y efluente de la planta de tratamiento mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Estos análisis pueden incluir la medición de parámetros como pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales, turbiedad, sólidos disueltos totales, Nitrógeno y fósforo, entre otros [3].

Debido a que las plantas de tratamiento de aguas residuales han sido concebidas con procesos obsoletos que, si bien en su época cumplían con las normativas vigentes, hoy en día se han vuelto insuficientes para hacer frente a los nuevos parámetros ambientales de vertido, los cuales se han vuelto más rigurosos debido a la alta contaminación generada por los desechos [14]. Por lo tanto, es necesario implementar tecnologías innovadoras que brinden a la planta una mayor eficiencia para controlar los efluentes y ajustarse a los estándares requeridos en la actualidad.

La evaluación de las PTAR en Ecuador es un tema de gran relevancia en la actualidad, motivado por diversos factores, entre los cuales se incluyen la preocupación de las autoridades ambientales, el cumplimiento de la vida útil de las estructuras y la necesidad de mejorar la calidad del agua tratada.

Como resultado, se han realizado diversos estudios a nivel nacional y provincial con el fin de buscar soluciones a los problemas que presentan las estructuras y mejorar la calidad de los efluentes.

La Universidad Técnica de Machala llevó a cabo un estudio de evaluación de las aguas residuales del estero y manglar "El Macho" en la ciudad de Machala. El análisis arrojó la presencia de mal olor y color en el agua en dos áreas específicas, y se encontró que los parámetros fisicoquímicos, como la conductividad, dureza, turbidez, sólidos suspendidos, DBO₅ y DQO, superaron los límites permitidos según las regulaciones del TULSMA. Asimismo, se detectó Plomo fuera de los límites permitidos en tres de los quince puntos estudiados. La sedimentación diaria del canal resulta en una disminución de calado de 0.14 mm por día (50.83 mm por año), y el fenómeno de sedimentación no es constante debido a la obstrucción del cauce por maleza, arrastre de lechuguines, construcciones y refluo de la marea [15].

En este contexto, Arellano en [16] afirma que las PTAR del sector El Tambo, presentan una eficiencia baja debido a la falta de mantenimiento en las unidades y a la carencia

de un pretratamiento que evite la entrada de sólidos gruesos a las unidades posteriores. Además, señala que una de las PTAR evaluadas se encuentra próxima al límite de su capacidad, lo cual requiere la realización de estudios para mejorar la calidad del efluente.

Arellano, en su análisis, recomienda que las autoridades ambientales ejerzan un mayor control y supervisión en las descargas directas tanto a los ríos como al sistema de alcantarillado público. También sugiere la necesidad de llevar a cabo investigaciones y programas de monitoreo continuo para mejorar la calidad del agua en los ríos [16].

Por otro lado, en un estudio realizado en Ambato, Guerrero en [17] propone una posible solución al problema de la PTAR en la parroquia Pilahuín, a través de la repotenciación del sistema mediante la adición de un segundo filtro y el diseño de un nuevo sistema de depuración que pueda soportar el exceso de caudal. Se espera que este proceso opere con una eficiencia teórica del 70% en la remoción de contaminantes, lo que contribuirá significativamente al cuidado y preservación de los cuerpos de agua y a cumplir con los estándares ambientales establecidos por las autoridades.

Realizando estos análisis se busca garantizar que la planta de tratamiento cumpla con los requisitos necesarios para el desarrollo ambiental sostenible de la zona, y reducir el impacto negativo que las aguas residuales mal tratadas podrían tener en la salud humana y la biodiversidad. Es importante mencionar que el aumento de la capacidad de la planta debe evaluarse con base en las necesidades actuales y futuras de la comunidad, para asegurar la adecuada utilización de los recursos y una gestión ambiental efectiva y responsable [9].

1.1.2. Justificación

Los efluentes de mala calidad ejercen un efecto adverso en las aguas superficiales, manifestándose en una eutrofización acelerada y una contaminación generalizada de los ríos debido a la presencia de macronutrientes como el Nitrógeno, fósforo y potasio. Estos impactos negativos inciden de manera perjudicial en la biodiversidad y la funcionalidad de los sistemas acuáticos [18], [19].

Además, la presencia de agentes patógenos en los efluentes constituye un riesgo epidemiológico considerable, en particular para colectivos vulnerables. Por ende, resulta imperativo implementar un tratamiento eficiente de los efluentes con el objetivo de proteger la salud comunitaria y la integridad de los biotopos acuáticos [19].

Por consiguiente, la administración de la PTAR ha reconocido la importancia de evitar potenciales incidentes que puedan perjudicar la salud pública, el turismo y la diversidad biológica de la región. Dado que existe la posibilidad de fallas en el diseño, construcción o mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, ha solicitado una evaluación detallada de su funcionamiento. Mediante esta evaluación, se buscará identificar posibles deficiencias y tomar las medidas necesarias para prevenir futuros contratiempos.

En este sentido, en las visitas de campo realizadas, se evidenció un notable descuido general en las instalaciones de la PTAR, lo que genera una mayor preocupación. Además, la falta de recopilación de información suficiente sobre la operación de la PTAR hasta la fecha, resalta la necesidad imperante de evaluar su estado de funcionamiento. Es crucial asegurar que la PTAR opere de manera eficaz y eficiente, cumpliendo con los parámetros ambientales establecidos para el agua tratada, con el fin de salvaguardar la salud pública y preservar la biodiversidad en la región.

1.1.3. Hipótesis

En la sección actual se exponen dos tipos de hipótesis: una hipótesis nula y una hipótesis de trabajo, las cuales se someterán a prueba en los siguientes capítulos para determinar la validez del experimento.

Hipótesis de Trabajo

La planta de tratamiento de aguas residuales del sector Gamboa, perteneciente al cantón Pelileo, provincia de Tungurahua no está funcionando adecuadamente en sus condiciones actuales.

Hipótesis Nula

La planta de tratamiento de aguas residuales del sector Gamboa, perteneciente al cantón Pelileo, provincia de Tungurahua está funcionando adecuadamente en sus condiciones actuales.

Variables de la hipótesis

- **Variable Independiente:** Planta de tratamiento de aguas residuales del sector Gamboa, perteneciente al Pelileo.
- **Variable Dependiente:** La evaluación del funcionamiento en sus condiciones actuales.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad Gamboa perteneciente al cantón Pelileo, provincia de Tungurahua.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar un levantamiento topográfico georreferenciado y llevar a cabo la implantación general de la planta de tratamiento de aguas residuales y sus unidades.
- Analizar el afluente y efluente de la planta de tratamiento en cuestión mediante la recolección de una muestra compuesta.
- Examinar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en base a la normativa vigente.
- Proponer un mejoramiento para la planta de tratamiento de aguas residuales, detallando el funcionamiento y mantenimiento de la planta de tratamiento mediante la generación de un manual de operación.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

La ejecución correcta de este estudio requirió la implementación de cinco etapas, las cuales desempeñaron un papel fundamental en la obtención de resultados confiables y en la evaluación precisa de la planta de tratamiento de aguas residuales.

2.1. Materiales

Para llevar a cabo la ejecución correcta del proyecto, se requirieron los siguientes materiales y equipos que se detallan a continuación:

2.1.1. Materiales y equipo necesarios para alcanzar el objetivo 1

Objetivo 1: *Realizar un levantamiento topográfico georreferenciado y llevar a cabo la implantación general de la planta de tratamiento de aguas residuales y sus unidades.*

Tabla 1. Materiales y equipos empleados para alcanzar el objetivo 1 (continua).

Equipo: GPS	
Descripción: Se empleó para obtener puntos georreferenciados y elevaciones.	- Marca: Garmin - Modelo: Oregon 700 - Cantidad: 1
Equipo: Cinta Métrica	
Descripción: Se utilizó para medir longitudes y dimensiones de las estructuras que compone la PTAR.	- Marca: Truper - Modelo: 20m - Cantidad: 1
Equipo: Flexómetro	
Descripción: Se utilizó para tomar dimensiones a detalle de cada estructura.	- Marca: Truper - Modelo: Gripper 5m - Cantidad: 1
Equipo: Distanciómetro	
Descripción: Se empleó para tomar medidas donde la utilización de la cinta y el flexómetro resultaba complicada de manejar.	- Marca: Bosch - Modelo: GLM20 - Cantidad: 1

Fuente: Autor

Tabla 2. Materiales y equipos empleados para alcanzar el objetivo 1 (continua).

Equipo: Dron	
Descripción: Se empleó para tomar imágenes aéreas de la planta de tratamiento de aguas residuales.	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: Autel - Modelo: EVO Lite - Cantidad: 1
Equipo: Teléfono Celular	
Descripción: Se utilizó como cámara fotográfica.	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: Xiaomi - Modelo: Mi 11 lite - Cantidad: 1
Equipo: Computadora Portátil	
Descripción: Se utilizó para realizar el procesamiento de información correspondiente al objetivo 1.	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: Asus - Modelo: ROG Strix Scar 15 - Cantidad: 1
Equipo: Estación Total	
Descripción: Se empleó para obtener la topografía de la PTAR.	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: Trimble - Modelo: M3 - Cantidad: 1

Fuente: Autor

2.1.2. Materiales y equipo necesarios para alcanzar el objetivo 2

Objetivo 2: *Analizar el afluente y efluente de la planta de tratamiento en cuestión mediante la recolección de una muestra compuesta.*

Tabla 3. Materiales y equipos empleados para alcanzar el objetivo 2.

Equipo: Balde	
Descripción: Se utilizó para medir la cantidad de agua mediante el método volumétrico.	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: Eco - Modelo: 10 litros - Cantidad: 1
Equipo: Teléfono Celular	
Descripción: Se utilizó como cámara fotográfica y cronometro.	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: Xiaomi - Modelo: Mi 11 lite - Cantidad: 1

Fuente: Autor

Tabla 4. Materiales y equipos empleados para alcanzar el objetivo 2 (continua).

Equipo: Botella de vidrio color ámbar 1 litro	
Descripción: Se utilizó para recolectar las muestras compuestas correspondientes a los análisis de laboratorio.	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: -- - Modelo: ámbar 1 litro - Cantidad: 4
Equipo: Probeta Graduada 100 ml	
Descripción: Se utilizó para medir la cantidad de muestra para almacenar en las botellas.	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: -- - Modelo: 100 ml - Cantidad: 2
Equipo: Hielera	
Descripción: Se utilizó para mantener las la cadena de frio de las muestras mediante el empleo de hielo.	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: -- - Modelo: Termo Espuma Flex - Cantidad: 1
Equipo: Computadora Portátil	
Descripción: Se utilizó para realizar el procesamiento de información correspondiente al objetivo 2.	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: Asus - Modelo: ROG Strix Scar 15 - Cantidad: 1
Equipo: Guantes	
Descripción: Se empleó como protección para las manos.	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: Master - Modelo: -- - Cantidad: 3 pares
Equipo: Impermeable	
Descripción: Se utilizó para la protección contra salpicaduras y la lluvia.	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: Protezione - Modelo: -- - Cantidad: 1
Equipo: Mascarillas	
Descripción: Se utilizó como protección contra agentes contaminantes presentes en el aire.	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: Prakti - Modelo: -- - Cantidad: 1

Fuente: Autor

Tabla 5. Materiales y equipos empleados para alcanzar el objetivo 2 (continua).

Equipo: Zapatos de seguridad	
Descripción: Se empleó como protección contra agentes que puedan lastimar los pies.	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: Westland - Modelo: -- - Cantidad: 1 par
Equipo: Mandil	
Descripción: Se utilizó como protección personal extra.	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: -- - Modelo: -- - Cantidad: 1

Fuente: Autor

2.1.3. Materiales y equipo necesarios para alcanzar el objetivo 3

Objetivo 3: *Examinar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en base a la normativa vigente.*

Tabla 6. Materiales y equipos empleados para alcanzar el objetivo 3.

Equipo: Computadora Portátil	
Descripción: Se utilizó para comparar la información correspondiente al análisis de muestras.	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: Asus - Modelo: ROG Strix Scar 15 - Cantidad: 1

Fuente: Autor

2.1.4. Materiales y equipo necesarios para alcanzar el objetivo 4

Objetivo 4: *Proponer un mejoramiento para la planta de tratamiento de aguas residuales, detallando el funcionamiento y mantenimiento de la planta de tratamiento mediante la generación de un manual de operación.*

Tabla 7. Materiales y equipos empleados para alcanzar el objetivo 4.

Equipo: Computadora Portátil	
Descripción: Se utilizó para planear el mejoramiento mediante software especializado.	<ul style="list-style-type: none"> - Marca: Asus - Modelo: ROG Strix Scar 15 - Cantidad: 1

Fuente: Autor

2.2. Métodos

Con el objetivo de evaluar la planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en la comunidad de Gamboa perteneciente al cantón Pelileo en la provincia de Tungurahua se llevó a cabo una investigación empleando metodologías cualitativas y cuantitativas.

El despliegue de la metodología empleada se encuentra detalladamente explicado en cada una de las etapas siguientes:

2.2.1. Etapa I.- Levantamiento de información de la planta de tratamiento

En esta etapa del estudio, se utilizó una metodología basada en la investigación documental para recopilar información relevante sobre la PTAR y evaluar las actividades socioeconómicas y características climáticas de la zona de estudio, mediante un análisis de diversas fuentes bibliográficas. Para enriquecer el análisis, se procedió a realizar encuestas (ver ANEXO N° 2: FORMATO DE LA ENCUESTA) a los residentes locales observable en la Figura 1, quienes brindaron información adicional acerca de la construcción y el funcionamiento de las estructuras.



Figura 1. Encuesta a morador de la zona donde se encuentra la PTAR

Fuente: Autor

2.2.2. Etapa II.- Investigación de campo

Para esta etapa, empleó un método investigativo riguroso que permitió realizar mediciones precisas de las dimensiones de las unidades de la PTAR. Mediante este enfoque, se llevaron a cabo mediciones detalladas para determinar con exactitud las dimensiones de las unidades de la PTAR, utilizando instrumentos y técnicas de medición especializados Figura 2.



Figura 2. Dimensionamiento de los componentes de la PTAR.

Fuente: Autor

Estos procedimientos aseguraron la obtención de datos confiables y precisos sobre las dimensiones de las unidades de la PTAR, lo cual resultó fundamental para el posterior análisis y evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales.

2.2.3. Etapa III.- Análisis de laboratorio de las características fisicoquímicas del afluente y efluente

Durante esta etapa, se aplicó una metodología de investigación experimental con el propósito de obtener datos precisos y confiables. Con este fin, se llevaron a cabo tareas de recolección de muestras compuestas del agua de entrada y salida de la planta de tratamiento de aguas residuales (ver Figura 3). Estas muestras se obtuvieron de manera sistemática el lunes 12 de junio del 2023, con un intervalo de una hora durante un período total de 8 horas.

Es relevante destacar que, durante todo el proceso de recolección de muestras, se adhirieron a las directrices establecidas por la normativa ecuatoriana INEN 2176:2013, la cual regula las técnicas de muestreo a utilizar. Esta normativa proporciona pautas y estándares para asegurar la adecuada ejecución de los procedimientos de muestreo, garantizando la validez y comparabilidad de los resultados obtenidos [20].



Figura 3. Recolección de muestras de agua residual de la PTAR.

Fuente: Autor

Las muestras compuestas obtenidas en el estudio se trasladaron de manera meticulosa al laboratorio de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Ambato para llevar a cabo el análisis de características como: DBO_5 , DQO, fosfato, Nitrógeno amoniacal, pH, solidos totales suspendidos, solidos totales, sulfato y turbidez, los mismos que se encuentran detallados en el ANEXO N° 3: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL DE LA PTAR GAMBOA del presente documento.

Durante este proceso, se siguieron rigurosamente las directrices establecidas en la normativa ecuatoriana INEN 2169:2013, la cual establece los procedimientos adecuados para el manejo y conservación de las muestras de agua [21]. Esta normativa regula los protocolos necesarios para preservar las características originales de las muestras y garantizar que los resultados de los análisis reflejen de manera precisa la composición y calidad del agua muestreada.



Figura 4. Muestras del agua a la entrada y salida de la PTAR conservadas en hielo.

Fuente: Autor

2.2.4. Etapa IV.- Análisis y verificación del funcionamiento de la planta de tratamiento

Para esta fase, se compararon los valores obtenidos en los análisis del agua con los límites establecidos en el Anexo 1 de la TULSMA 2015, libro VI, normativa ecuatoriana, que regula el medio ambiente. Esta comparación permitió verificar el cumplimiento de los límites establecidos y evaluar la hipótesis de trabajo planteada.

Además, se midió la capacidad operativa de la PTAR en base a los resultados obtenidos. Esta evaluación del rendimiento de la planta es esencial para identificar áreas de mejora y proponer soluciones que optimicen su desempeño y cumplan con los estándares establecidos en el TULSMA.

2.2.5. Etapa V.- Propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento

En la última etapa del estudio, se plantean varias propuestas para optimizar la operación y el mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de Gamboa. Entre las sugerencias clave, se encuentra la implementación de una cubierta en el lecho de secado de lodos para facilitar la deshidratación óptima de los lodos, lo que podría mejorar significativamente la eficiencia de este proceso.

Además, se ha desarrollado un manual de operación y mantenimiento que proporciona recomendaciones detalladas, para la gestión efectiva de los componentes actuales de la PTAR. Estas medidas, cuando se implementen correctamente, pueden mejorar la eficiencia y el rendimiento del tratamiento de aguas residuales, lo que resulta en una mejora general en la calidad del agua liberada y en la protección del medio ambiente y la salud pública.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Levantamiento de información

3.1.1. Descripción de la zona de estudio

La parroquia San Pedro de Pelileo se localiza en el cantón Pelileo de la provincia de Tungurahua, Ecuador. Esta parroquia cuenta con una extensión territorial de 5,670.6 hectáreas y una población de 24,614 habitantes, se encuentra a una altitud media de 2,600 metros sobre el nivel del mar. San Pedro de Pelileo limita al norte con la parroquia García Moreno, al sur con las parroquias Bolívar y Huambaló, al este con el cantón Patate, y al oeste con el cantón Quero [22].



Figura 5. Parroquia San Pedro de Pelileo cabecera cantonal del cantón Pelileo.

Fuente: EEASA [23]

Demografía

De acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT), el cantón Pelileo presenta un amplio índice del 86.69% de zonas dedicadas a la actividad agropecuaria, lo cual indica que su economía se encuentra mayormente sustentada en dicho sector. En las comunidades de Gamboa e Inapí, se destaca la producción continua de mandarina y aguacate como cultivos perennes, así como la siembra temporal de maíz dulce, papa, cebolla y otros productos agrícolas [22].



Figura 6. Cultivos permanentes de mandarina.

Fuente: Autor

Clima

Las comunidades de Gamboa e Inapí a las que la PTAR presta servicio, se ubican en un valle a una altitud que varía entre 2,100 y 2,200 metros sobre el nivel del mar. Esta localización geográfica les brinda un clima cálido, con una temperatura media de 16.32 grados centígrados, obtenida a través de la relación lineal proporcionada en el PDOT de Pelileo. El entorno en esta zona se caracteriza por una alta humedad media del 85% y una precipitación anual aproximada de 556 mm. Durante todo el año, se registran temperaturas medias positivas en cada mes. Aunque los inviernos son relativamente fríos y se caracterizan por la presencia frecuente de nevadas, los veranos son calurosos; y las precipitaciones son abundantes. Esta variación climática genera una estación vegetativa prolongada que promueve la existencia de una biomasa vegetal considerable en la región [22].

Estructura de depuración

La planta de tratamiento de aguas residuales de Gamboa, ubicada en el sector oriental de la parroquia en el límite con el cantón Patate, Figura 7, se construyó en el año 2008. Su objetivo primordial radica en llevar a cabo el proceso de depuración de las aguas servidas provenientes de las comunidades de Gamboa e Inapí. Para lograr este cometido, la PTAR emplea un sistema de tratamiento conformado por tres niveles: tratamiento preliminar, tratamiento primario y tratamiento secundario. Una vez concluida la fase de depuración, las aguas tratadas son descargadas en el cauce del Río Patate.



Figura 7. Ubicación de la PTAR Gamboa.

Fuente: Autor

Observaciones in situ de la PTAR

Durante la inspección, se constató la existencia de una tubería de desviación proveniente del bypass principal hacia una caja de revisión asociada al mismo bypass, observable en la Figura 8. Presumiblemente, los responsables de la administración de la PTAR efectuaron esta solución a raíz de la oclusión de la tubería matriz.



Figura 8. Solución de la administración de la PTAR a la obstrucción del bypass.

Fuente: Autor

Se evidencia un deterioro en las tapas de los elementos y cajas de revisión en toda la planta, así como la falta de tiraderas en algunas de ellas.



Figura 9. Deterioro en las tapas de hormigón armado.

Fuente: Autor

Durante la evaluación, se constató la carencia de mantenimiento al sistema de distribución de cloro. Esta carencia supone una limitación considerable en cuanto a la capacidad de desinfección del agua tratada.



Figura 10. Acumulación de suciedad en el tanque clorador.

Fuente: Autor

La PTAR de Gamboa presenta un estado de deterioro parcial en sus estructuras, mostrando desgaste en su pintura, además la presencia de maleza circundante, puede dificultar las labores de conservación.



Figura 11. Deterioro de la pintura en las estructuras de la PTAR.

Fuente: Autor

Se ha constatado la falta de un mantenimiento apropiado en el lecho de secado de lodos, lo cual se ha manifestado mediante una sobreabundancia de vegetación que ha proliferado en el medio pétreo empleado como medio filtrante. Además, se ha constatado que los lodos previamente deshidratados no han sido recolectados, y se ha observado un crecimiento de maleza en su superficie. Asimismo, la carencia de una cubierta en el lecho de secado está contribuyendo a una deshidratación inadecuada de los lodos.



Figura 12. Evidencia de plantas en el medio filtrante del lecho de secado de lodos.

Fuente: Autor

Se ha constatado la presencia de material fino en el filtro biológico, observable en la Figura 13, lo que sugiere un mantenimiento deficiente o inexistente de dicho componente. Esta situación puede ocasionar la obstrucción del lecho filtrante ascendente, comprometiendo la eficiencia del proceso de tratamiento y exponiendo la calidad del agua tratada a riesgos potenciales.



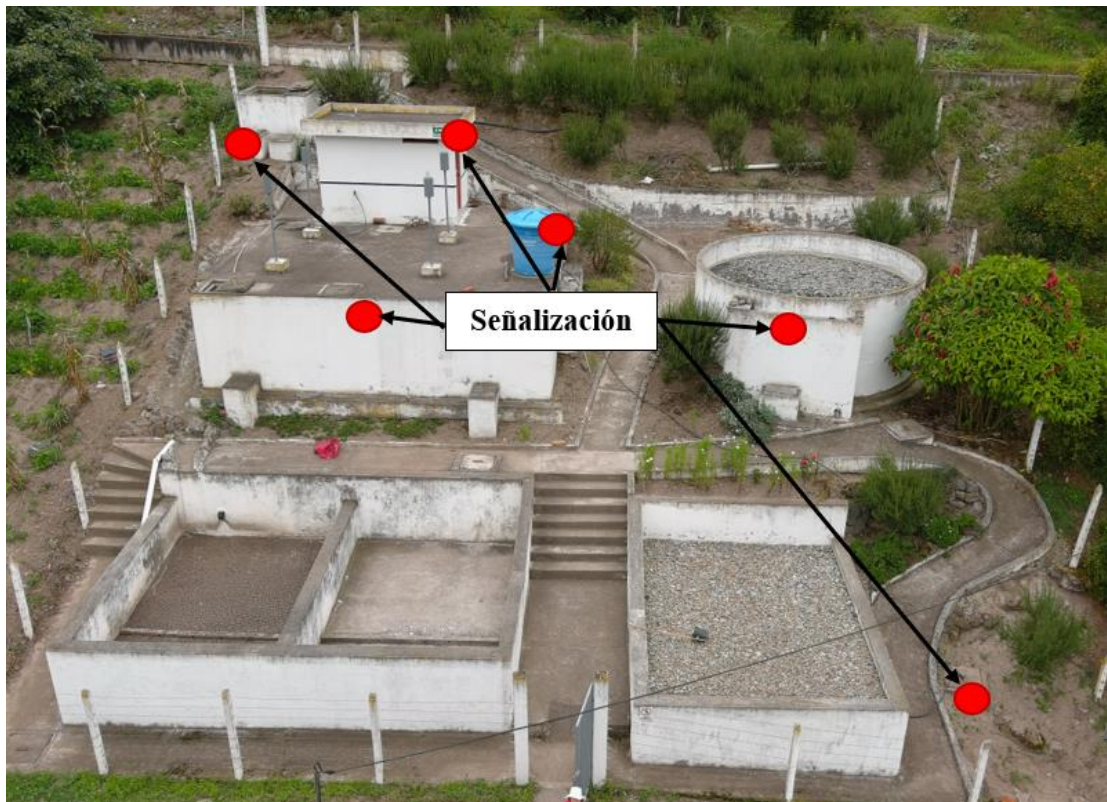
*Figura 13. Material fino sobre el material de soporte en el filtro biológico.
Fuente: Autor*

Se ha detectado un bloqueo en el conducto de drenaje de la losa de cubierta de la caseta del operador lo que ocasiona la acumulación de agua.



*Figura 14. Acumulación de agua en la cubierta de la caseta del operador.
Fuente: Autor*

En la Figura 15, se puede notar que existe señalización básica que identifica claramente las diferentes estructuras que componen el sistema de tratamiento. Adicionalmente, la PTAR posee un cerramiento en buen estado, que contribuye a su seguridad y protección, así como una puerta en buenas condiciones provista de un candado que es manejado por los encargados de la planta.



*Figura 15. Ubicación de la señalización de las estructuras de depuración de la PTAR.
Fuente: Autor*

Identificación de la población servida

Debido a la particularidad que se presenta en las comunidades de tamaño reducido, especialmente la falta de registros de población específicos para este sector, se ha optado por realizar una aproximación del número de habitantes. Para llevar a cabo esta estimación, se tomaron en consideración el recuento de usuarios registrados en el sistema de abastecimiento de agua potable de la localidad, así como el promedio de personas por hogar y el porcentaje de viviendas conectadas al servicio de alcantarillado en la parroquia de Pelileo. Estos últimos datos se obtuvieron de los tabulados censales del Instituto Nacional de Estadística y Censos.

Tabla 8. Estadísticas demográficas y de servicio.

ESTADÍSTICAS DEMOGRÁFICAS Y DE SERVICIOS	TOTALIDAD	UNIDAD
Número de usuarios	424	hogares
Promedio de personas por hogar	3.81	hab/hogar
Porcentaje de viviendas conectadas al servicio de alcantarillado	65.04	%

Fuente: PDOT Pelileo [22], INEC [24]

A continuación, se exponen los cálculos de la estimación de la población aproximada de las comunidades de Gamboa e Inapí a las que sirve la PTAR en el año 2020, utilizando la ecuación (1).

$$Pob_{2020} = \#_{us} * PPH * PVCA \quad (1)$$

$$Pob_{2020} = 424 \text{ hogares} * 3.81 \frac{\text{hab}}{\text{hogar}} * 65.04\%$$

$$Pob_{2020} = 1051 \text{ hab}$$

Donde:

Pob_{2020} = Población año 2020

$\#_{us}$ = Número de usuarios

PPH = Promedio de personas por hogar

$PVCA$ = Porcentaje de viviendas conectadas al servicio de alcantarillado

Con el objetivo de obtener una estimación más precisa de la población actualmente servida por la PTAR, se ha aplicado una proyección lineal de la población hasta el presente año, 2023. Esta proyección se basa en una tasa de crecimiento anual del 1.88%, suministrada por el INEC [24]. Se optó por el método de proyección lineal debido a su adecuación en situaciones donde no se anticipan cambios significativos en los factores demográficos, tales como migraciones o variaciones en las tasas de natalidad o mortalidad [25].

Tabla 9. Proyección lineal de la población servida al año 2023.

AÑO	HABITANTES	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL
2020	1051	1.88%
2021	1071	
2022	1092	
2023	1113	

Fuente: Autor

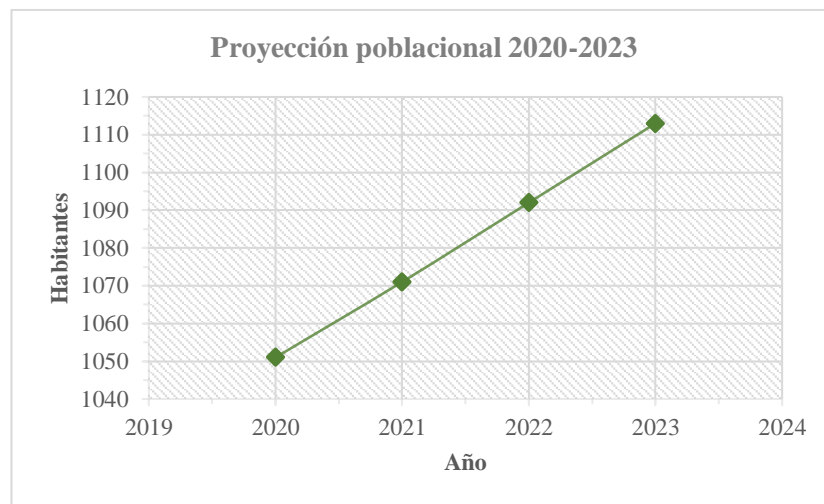


Figura 16. Proyección lineal de la población a la que sirve la PTAR de Gamboa.

Fuente: Autor

Se estima que la población en el área de influencia de la PTAR en el año 2023 es de 1113 habitantes. Este número refleja la población aproximada a la cual se brindan los servicios de tratamiento de aguas residuales por parte de la planta.

Encuestas realizadas

Se realizó una recopilación de datos mediante encuestas aplicadas, ANEXO N° 2: FORMATO DE LA ENCUESTA, a los residentes de Gamboa e Inapí. Esta estrategia de recolección de información permitió obtener datos relevantes sobre diversos aspectos, como el destino de las aguas residuales, la disponibilidad de servicios básicos y el nivel de conocimiento de los habitantes acerca de la PTAR de Gamboa. Además, se llevó a cabo este sondeo para investigar la densidad aproximada de habitantes por vivienda.

El tamaño de la muestra para las encuestas se determinó por medio de la ecuación (2) utilizando un nivel de confianza del 95%, lo cual brinda un nivel de seguridad en la representatividad de los resultados obtenidos, correspondiente a un valor de $Z=1.96$

según [26]. Además, se seleccionó un margen de error del 5%, que indica la precisión aceptable en las estimaciones derivadas de las respuestas de la muestra elegida. Estos parámetros garantizan un equilibrio adecuado entre la confianza en los resultados y la precisión de las estimaciones, permitiendo obtener conclusiones válidas y precisas a partir de los datos de la encuesta [26].

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2 * N}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * \sigma^2} \quad (2)$$

$$n = \frac{1.96^2 * 50\%^2 * 1113 \text{ hab}}{5\%^2 * (1113 - 1) + 1.96^2 * 50\%}$$

$$n = 285.78 \text{ hab} \cong 286 \text{ hab}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

N = tamaño del universo

σ = desviación estandar de la población

Z = nivel de confianza

e = error muestral admisible

A continuación, se muestran los resultados tabulados de las encuestas.

Pregunta 1

¿Cuenta usted con alguno de estos servicios en su domicilio?

Tabla 10. Datos tabulados de la pregunta 1.

	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Agua Potable	272	95%
Alcantarillado	266	93%
Luz Eléctrica	252	88%

Fuente: Autor

Análisis: El 95% de los encuestados cuentan con agua potable, el 93% cuentan con alcantarillado y el 88% cuentan con energía eléctrica.

Pregunta 2

¿Cuenta con alguno de estos aparatos sanitarios dentro de su vivienda?

Tabla 11. Datos tabulados de la pregunta 2.

	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Ducha	272	95%
Inodoro	272	95%
Lavabo	237	83%
Lavandería	272	95%

Fuente: Autor

Análisis: El 95% de los encuestados cuentan con ducha, inodoro y lavandería, el 83% cuentan con lavabo.

Pregunta 3

¿Cómo evacua las aguas residuales en su domicilio?

Tabla 12. Datos tabulados de la pregunta 3.

	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Pozo séptico	14	5%
Intemperie	0	0%
Red de alcantarillado	272	95%
Ninguno	0	0%
TOTAL	286	100%

Fuente: Autor

Análisis: El 95% de los encuestados evacuan sus aguas residuales a la red de alcantarillado mientras que el 5% a un pozo séptico.

Pregunta 4

¿Conoce de la existencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la comunidad de Gamboa?

Tabla 13. Datos tabulados de la pregunta 4.

	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Si	257	90%
No	29	10%
TOTAL	286	100%

Fuente: Autor

Análisis: El 90% de los encuestados conoce la existencia de la PTAR de Gamboa y el 5% desconocen.

Pregunta 5

¿Conoce para qué sirve la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales?

Tabla 14. Datos tabulados de la pregunta 5.

	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Si	200	70%
No	86	30%
TOTAL	286	100%

Fuente: Autor

Análisis: El 70% de los encuestados sabe para qué sirve la PTAR de Gamboa y el 30% no sabe.

Pregunta 6

¿Cree usted que la planta de tratamiento trae beneficios a la comunidad?

Tabla 15. Datos tabulados de la pregunta 6.

	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Si	280	98%
No	6	2%
TOTAL	286	100%

Fuente: Autor

Análisis: El 98% de los encuestados creen que la PTAR de Gamboa trae beneficios y el 2% desconoce.

Interpretación: Los resultados de la encuesta llevada a cabo entre los habitantes de Gamboa e Inapí revelan que un porcentaje significativo de viviendas cuenta con servicios básicos y está equipado con los principales dispositivos sanitarios, como duchas e inodoros. Es importante destacar que, dentro de la muestra encuestada, se encontró que el 95% de las viviendas están conectadas a la red de alcantarillado. En relación con el conocimiento acerca de la existencia y función de la PTAR, el 90% de los encuestados manifestó estar informado. Sin embargo, solo el 70% de los encuestados posee un nivel adecuado de comprensión sobre la función y propósito de la PTAR, aunque un alto porcentaje, el 98%, percibe que la infraestructura aporta

beneficios a la comunidad. Además, se calculó una densidad poblacional promedio de 3.58 habitantes por hogar para las viviendas encuestadas, lo cual presenta una notable semejanza con el valor de 3.81 registrado en los tabulados censales del INEC.

3.1.2. Unidades que conforman el tratamiento

Diagrama de flujo de la línea de tratamiento del agua residual

A continuación, se presenta un esquema (ver Figura 17) de la línea de depuración existente en la PTAR, este diagrama ilustra la secuencia de los procesos de tratamiento que se llevan a cabo.

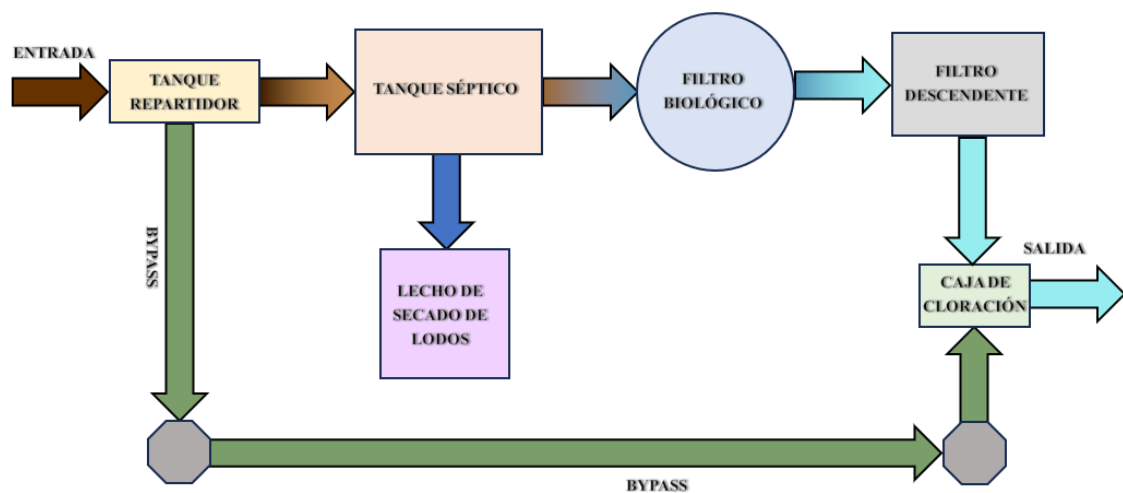


Figura 17. Diagrama de flujo de la línea de tratamiento del agua residual.

Fuente: Autor

Tanque repartidor de caudales

El tanque repartidor de caudales recibe las aguas residuales crudas con el propósito de canalizarlas hacia el tanque séptico después de haber pasado por un proceso de separación utilizando rejillas. Estas rejillas son responsables de eliminar los contaminantes de gran tamaño presentes en la corriente, con el fin de salvaguardar la operación y preservar la integridad del equipo en las unidades subsiguientes [27]. Además, el tanque repartidor de caudales cuenta con una derivación que se activa cuando se requiere llevar a cabo labores de mantenimiento en la PTAR como se puede observar en la Figura 18 y Figura 19.

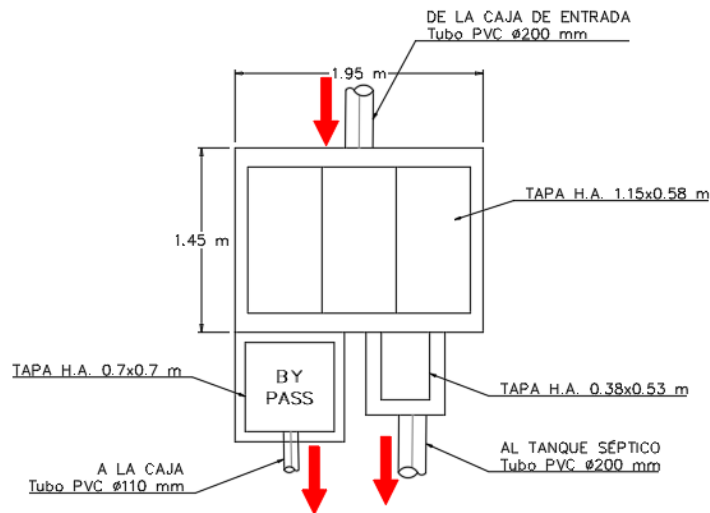


Figura 18. Vista en planta tanque repartidor de caudales.
Fuente: Autor

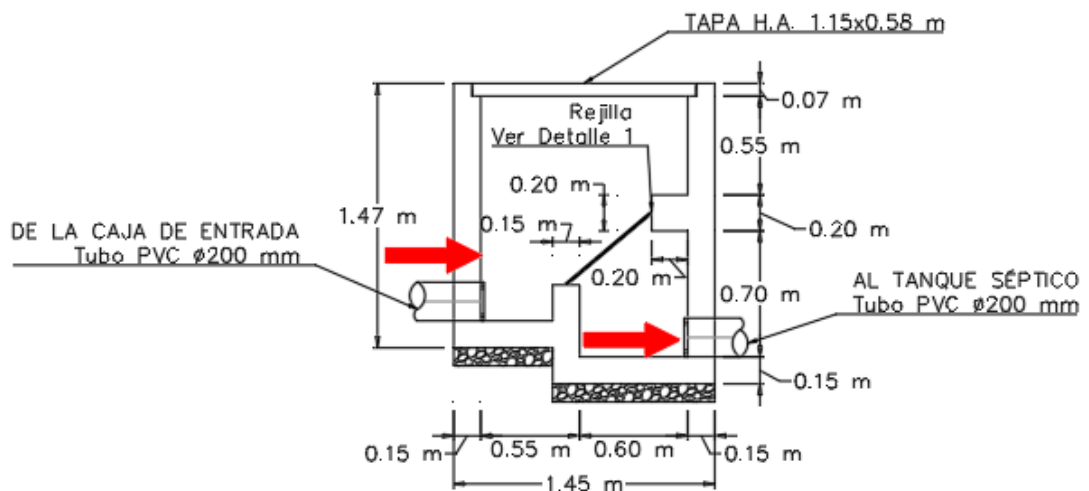


Figura 19. Corte transversal tanque repartidor.
Fuente: Autor

Tanque séptico

Esta estructura recibe el flujo de aguas residuales provenientes del tanque repartidor y se encarga de la separación de los sólidos presentes en el agua mediante el proceso de sedimentación. El tanque séptico está compuesto por dos compartimentos principales, como se puede observar en la Figura 20 y Figura 21, cada uno de ellos posee una entrada y una salida que están conectadas al filtro biológico. Además, el tanque séptico está equipado con válvulas que facilitan el drenaje del sedimento que se acumula en el fondo de los compartimentos.

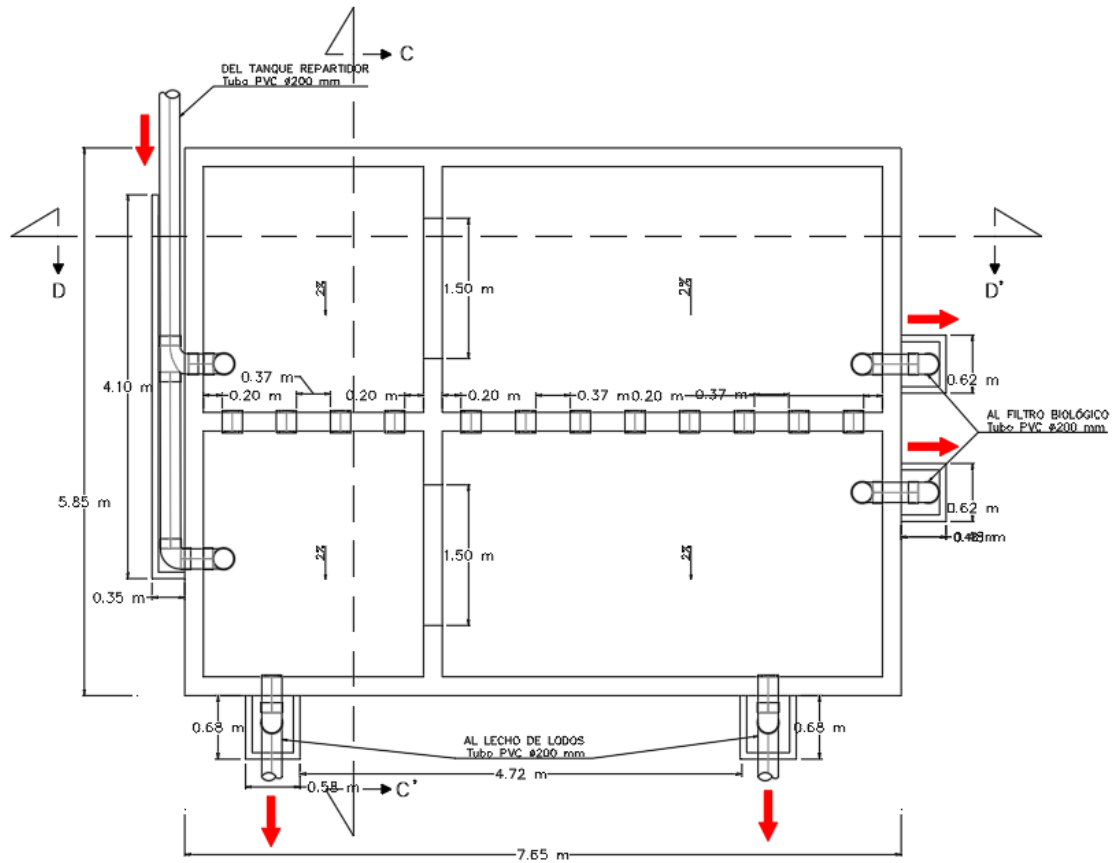


Figura 20. Vista en planta tanque séptico.
Fuente: Autor

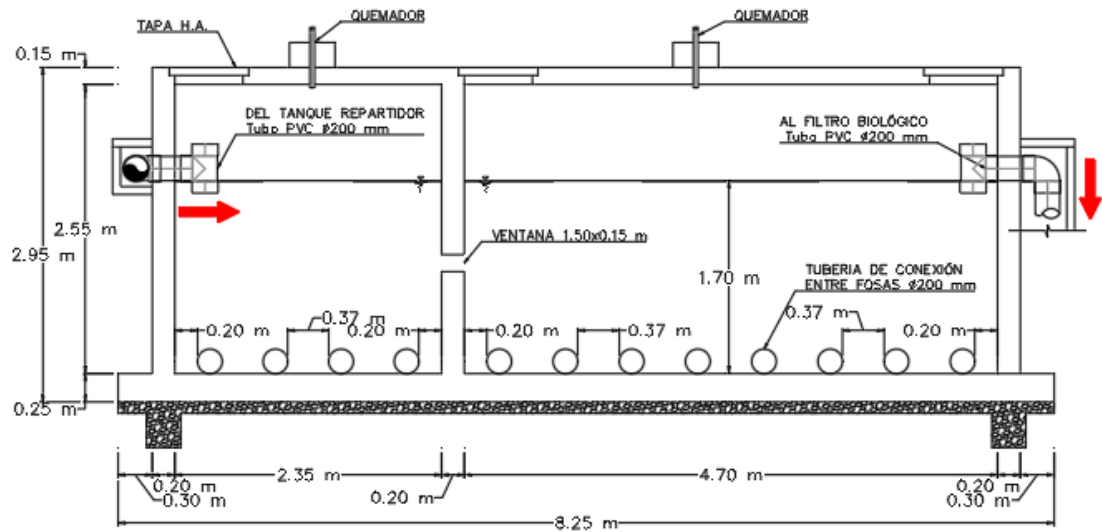


Figura 21. Corte longitudinal tanque séptico.
Fuente: Autor

Filtro biológico (FAFA)

El filtro biológico, específicamente un sistema de filtración anaeróbica de flujo ascendente (FAFA), opera bajo condiciones de inundación y es alimentado por el tanque séptico a través de su base, lo que permite que el agua residual fluya en sentido ascendente. El filtro biológico consta de un medio de soporte compuesto por material pétreo, observable en la Figura 22 y Figura 23, el cual promueve la colonización y el crecimiento de una biomasa bacteriana adherida. Estas bacterias, principalmente de tipo anaerobio, desempeñan un papel esencial en la descomposición de la materia orgánica y otros contaminantes presentes en el agua [28].

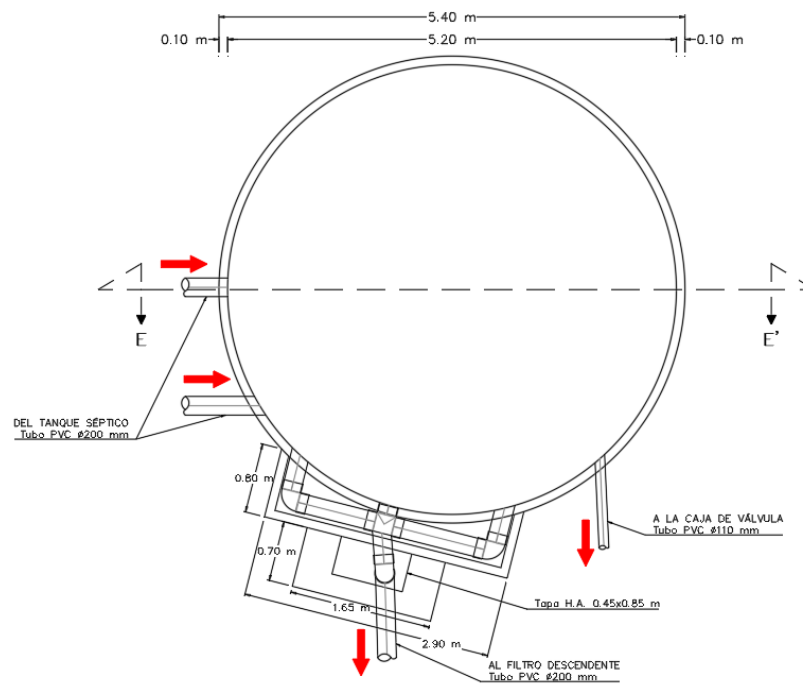


Figura 22. Vista en planta filtro biológico.

Fuente: Autor

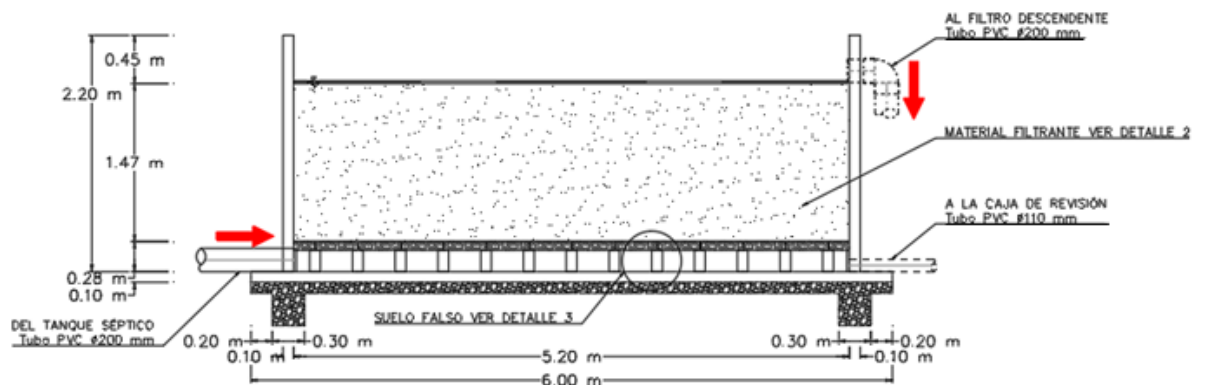


Figura 23. Corte filtro biológico.

Fuente: Autor

Filtro descendente

El filtro descendente representa otra fase crítica en el proceso de tratamiento de aguas residuales. Se trata de una estructura rectangular que cuenta con un lecho de material pétreo como medio filtrante. En este filtro (ver Figura 24 y Figura 25), el agua semi tratada procedente del filtro biológico se introduce desde la parte superior. Durante su descenso a través del lecho filtrante, se produce una filtración adicional que contribuye a la remoción de impurezas y sólidos suspendidos remanentes.

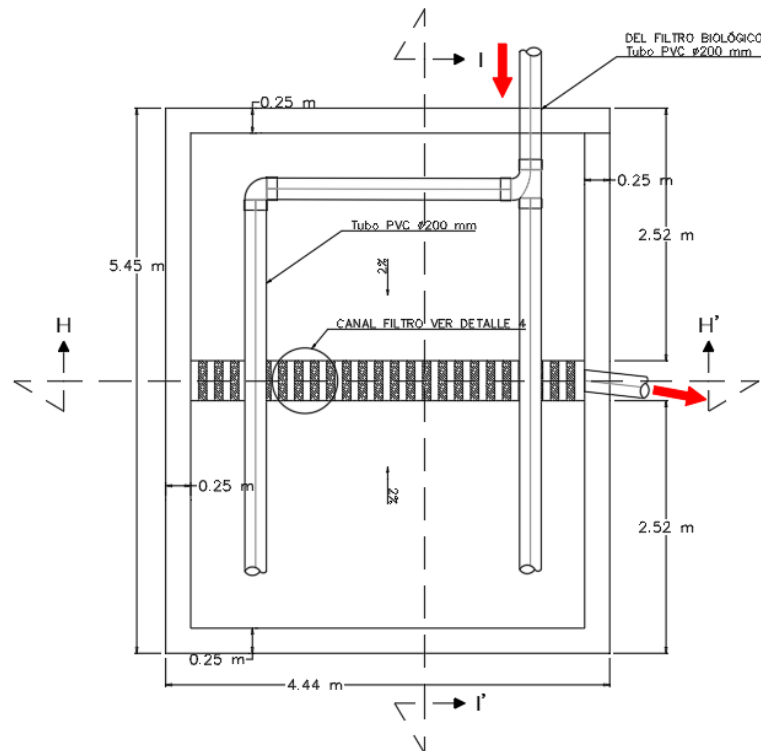


Figura 24. Vista en planta filtro descendente.

Fuente: Autor

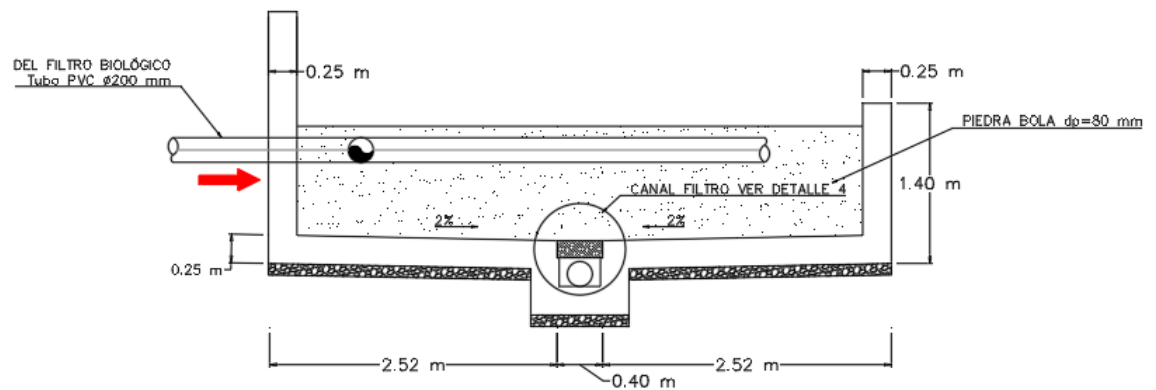


Figura 25. Corte longitudinal filtro descendente.

Fuente: Autor

Caja de cloración

Como última etapa, el sistema de tratamiento incluye una caja de cloración que juega un papel importante en la eliminación de bacterias, la prevención del crecimiento de algas y la reducción de olores indeseables [27]. Esta caja (ver Figura 26 y Figura 27) está conectado al tanque clorador a través de una manguera, lo que facilita la dosificación controlada de cloro en el agua. Sin embargo, es relevante tener en cuenta que la caja de cloración presenta limitaciones en cuanto a la mezcla efectiva del cloro con el agua.

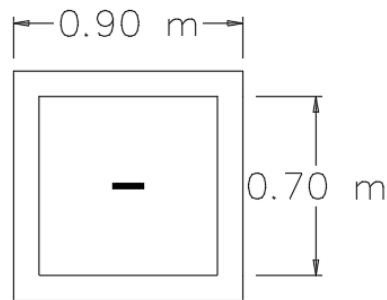


Figura 26. Vista en planta caja de cloración.
Fuente: Autor

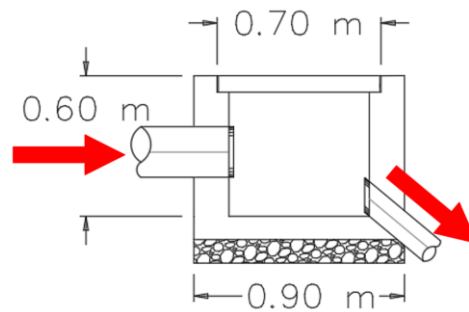


Figura 27. Corte caja de cloración.
Fuente: Autor

Lecho de secado de lodos

El lecho de secado de lodos se presenta como una estructura rectangular compuesta por dos módulos, tal como se muestra en la Figura 28 y Figura 29, los cuales se derivan directamente del tanque séptico. El lodo sedimentado proveniente del tanque séptico es transferido al lecho de secado, donde se somete a un proceso de deshidratación mediante la exposición al aire y la interacción con factores ambientales como la temperatura y la radiación solar [27].

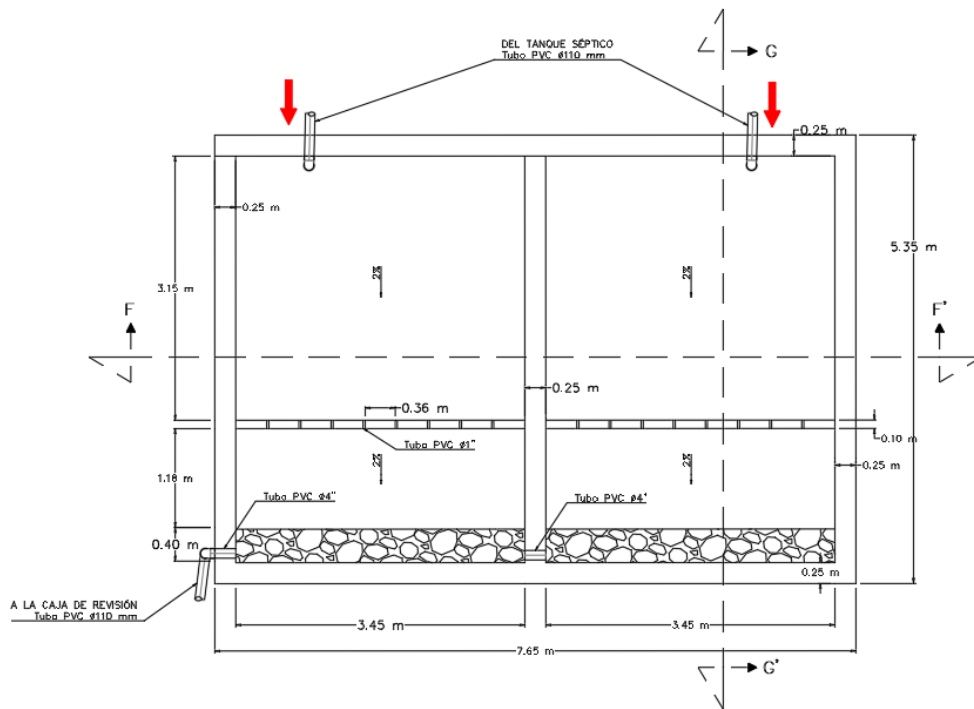


Figura 28. Vista en planta lecho de secado de lodos.

Fuente: Autor

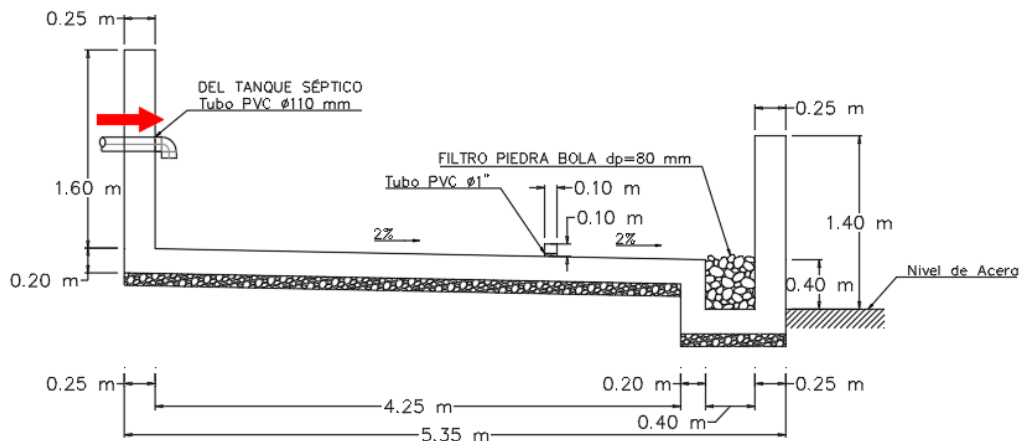


Figura 29. Corte longitudinal lecho de secado de lodos.

Fuente: Autor

3.2. Medición de caudales

Se llevaron a cabo mediciones de los caudales de entrada y salida de la PTAR mediante la aplicación del método volumétrico. Este procedimiento se basa en la determinación del tiempo necesario para llenar un volumen predeterminado de agua. Para este propósito, se empleó un balde de 10 litros como instrumento de medición y se realizaron diez mediciones cada hora durante un período continuo de ocho horas a lo largo de 30 días.

Utilizando la ecuación (3) se calcularon los caudales:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3)$$

Donde:

$Q = \text{Caudal (l/s)}$

$V = \text{Volúmen (l)}$

$t = \text{Tiempo (s)}$

Caudal medio

$$\bar{Q} = \frac{\sum Q}{n} \quad (4)$$

Donde:

$\bar{Q} = \text{Caudal medio (l/s)}$

$\sum Q = \text{Sumatoria de caudales (l/s)}$

$n = \text{Número de datos de caudales}$

A través del método implementado en este estudio, se logró determinar los caudales máximos horarios, mínimos y medios en la planta de tratamiento.

3.2.1. Caudales a la entrada de la PTAR

En la Tabla 16 a la Tabla 32, se detallan los caudales registrados durante el estudio. Los datos se han organizado por semanas, lo que facilita el análisis y la interpretación de los resultados. Los caudales se tomaron meticulosamente durante un horario específico, desde las 8:00 hasta las 15:00, para garantizar la consistencia y comparabilidad de las mediciones.

Además de los registros de caudales, se proporcionó información relevante sobre la estadística descriptiva del resumen de las medias diarias.

Tabla 16. Medición de caudales de ingreso PTAR - Gamboa, primera semana.

MEDICIÓN DE CAUDALES INGRESO PTAR - GAMBOA (L/S)							
PERÍODO:	Desde miércoles 1 de marzo hasta domingo 5 de marzo de 2023						
HORA DE MEDICIÓN	Mar-2023						
	1	2	3	4	5	-	-
	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	-	-
8:00	1.709	2.353	0.618	1.495	1.12	-	-
9:00	1.278	0.884	1.394	1.465	1.406	-	-
10:00	1.439	0.64	1.189	2.847	1.66	-	-
11:00	1.047	0.792	1.148	1.538	1.382	-	-
12:00	1.194	0.52	0.948	1.99	0.871	-	-
13:00	1.325	0.644	0.679	1.128	1.199	-	-
14:00	1.083	1.161	0.8	1.061	1.975	-	-
15:00	0.937	0.933	1.274	1.646	1.37	-	-
OBSERVACIONES	--						

Fuente: Autor

Tabla 17. Resumen de medias diarias de caudales de ingreso, primera semana.

RESUMEN DE MEDIAS DIARIAS DE CAUDALES PTAR		
DÍA	FECHA	MEDIA (L/S)
Miércoles	1	1.252
Jueves	2	0.991
Viernes	3	1.006
Sábado	4	1.646
Domingo	5	1.373

Fuente: Autor

Tabla 18. Estadística descriptiva de medias de caudales de ingreso, primera semana.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA - MEDICIÓN DE CAUDALES - PTAR GAMBOA (L/S)	
Media	1.254
Desviación Estándar	0.273
Rango	0.655
Mínimo	0.991
Máximo	1.646
Suma	6.268
Número de datos	5

Fuente: Autor

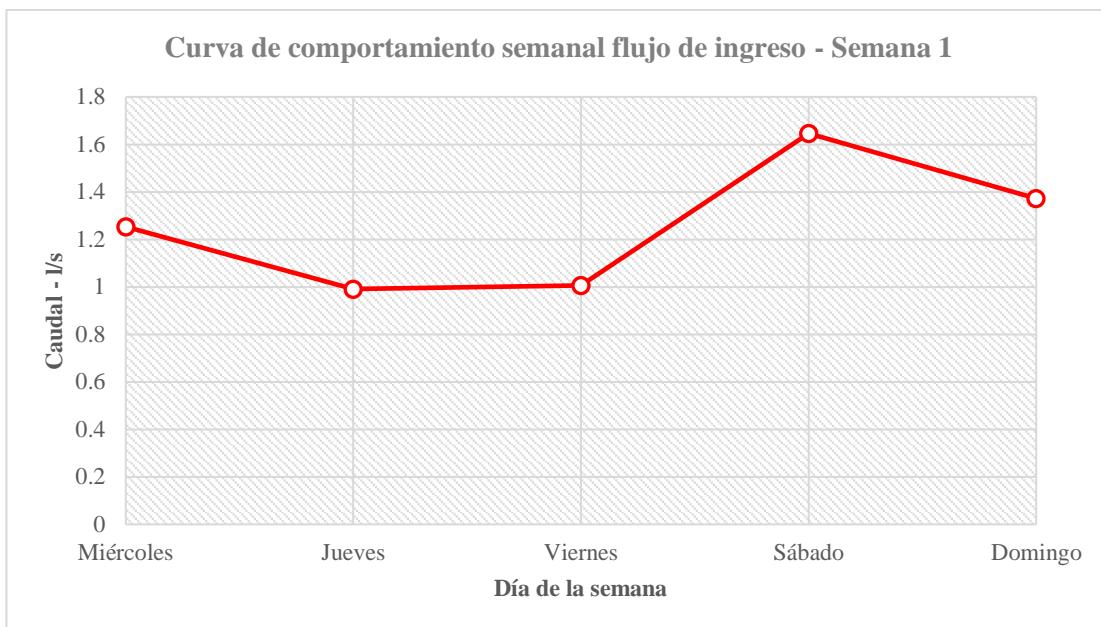


Figura 30. Curva de comportamiento semanal flujo de ingreso, primera semana.
Fuente: Autor

Tabla 19. Medición de caudales de ingreso PTAR - Gamboa, segunda semana.

MEDICIÓN DE CAUDALES INGRESO PTAR - GAMBOA (L/S)							
PERÍODO:	Desde lunes 6 de marzo hasta domingo 12 de marzo de 2023						
HORA DE MEDICIÓN	Mar-2023						
	6 Lunes	7 Martes	8 Miércoles	9 Jueves	10 Viernes	12 Domingo	-
8:00	1.372	1.336	1.238	1.597	1.125	1.125	-
9:00	2.094	0.794	1.297	0.565	0.964	0.964	-
10:00	1.116	0.66	1.048	0.668	2.025	2.025	-
11:00	1.932	0.648	1.248	0.861	1.426	1.426	-
12:00	1.667	1.201	1.336	1.12	1.677	1.677	-
13:00	1.233	1.005	1.329	0.828	2.247	2.247	-
14:00	0.985	1.122	1.061	1.386	1.739	1.739	-
15:00	1.019	1.322	0.935	0.878	1.183	1.183	-
OBSERVACIONES	Día sábado 11 se realizó el mantenimiento de la PTAR						

Fuente: Autor

Tabla 20. Resumen de medias diarias de caudales de ingreso, segunda semana.

RESUMEN DE MEDIAS DIARIAS DE CAUDALES PTAR		
DÍA	FECHA	MEDIA (L/S)
Lunes	6	1.427
Martes	7	1.011
Miércoles	8	1.187
Jueves	9	0.988
Viernes	10	1.548
Domingo	11	1.609

Fuente: Autor

Tabla 21. Estadística descriptiva de medias de caudales de ingreso, segunda semana.

ESTADISTICA DESCRIPTIVA - MEDICION DE CAUDALES - PTAR GAMBOA (L/S)	
Media	1.295
Desviación Estándar	0.271
Rango	0.621
Mínimo	0.988
Máximo	1.609
Suma	7.77
Número de datos	6

Fuente: Autor

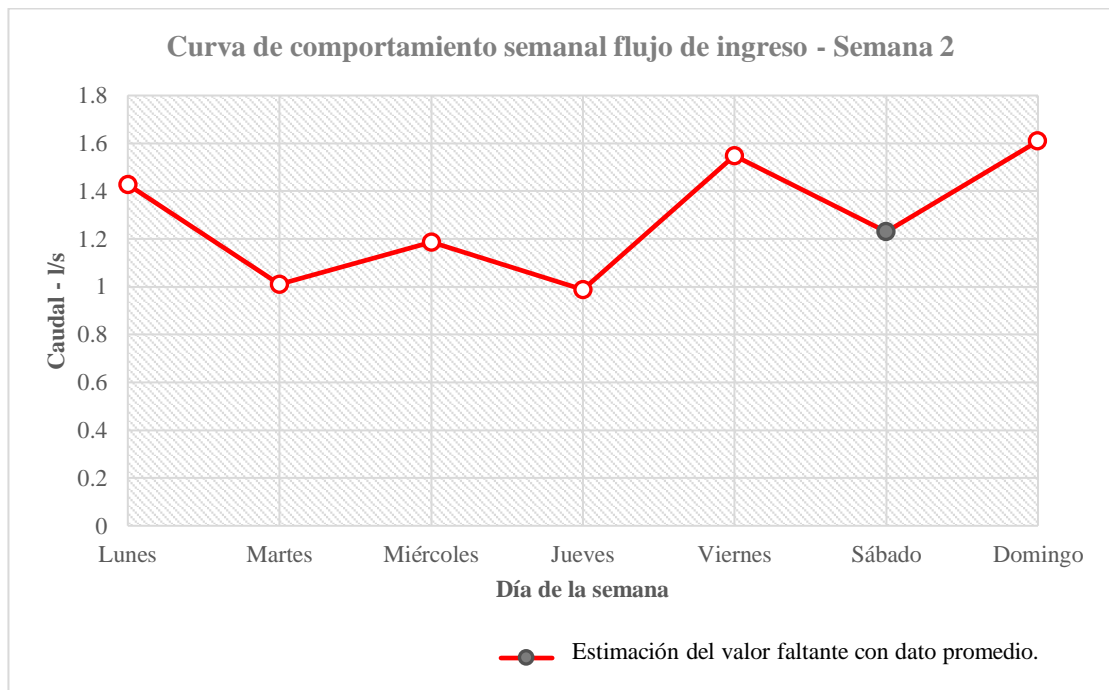


Figura 31. Curva de comportamiento semanal flujo de ingreso, segunda semana.

Fuente: Autor

Tabla 22. Medición de caudales de ingreso PTAR - Gamboa, tercera semana.

MEDICIÓN DE CAUDALES INGRESO PTAR - GAMBOA (L/S)							
PERÍODO:	Desde lunes 13 de marzo hasta domingo 19 de marzo de 2023						
HORA DE MEDICIÓN	Mar-2023						
	13	14	15	16	17	18	19
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
8:00	1.473	1.252	1.189	1.207	1.449	1.246	0.862
9:00	1.13	1.444	1.203	0.755	1.457	1.07	1.187
10:00	1.077	1.411	0.926	0.765	0.917	0.951	1.732
11:00	0.945	0.98	1.375	1.338	1.401	0.735	1.421
12:00	1.036	1.626	1.284	1.113	1.212	1.288	1.575
13:00	1.088	1.229	1.754	1.242	1.305	1.327	1.587
14:00	1.248	1.26	0.889	0.926	0.989	1.377	1.61
15:00	1.572	1.077	0.936	2.105	1.05	1.133	1.455
OBSERVACIONES	--						

Fuente: Autor

Tabla 23. Resumen de medias diarias de caudales de ingreso, tercera semana.

RESUMEN DE MEDIAS DIARIAS DE CAUDALES PTAR		
DÍA	FECHA	MEDIA (L/S)
Lunes	13	1.196
Martes	14	1.285
Miércoles	15	1.195
Jueves	16	1.181
Viernes	17	1.223
Sábado	18	1.126
Domingo	19	1.563

Fuente: Autor

Tabla 24. Estadística descriptiva de medias de caudales de ingreso, tercera semana.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA - MEDICION DE CAUDALES - PTAR GAMBOA (L/S)	
Media	1.253
Desviación Estándar	0.145
Rango	0.437
Mínimo	1.126
Máximo	1.563
Suma	8.769
Número de datos	7

Fuente: Autor

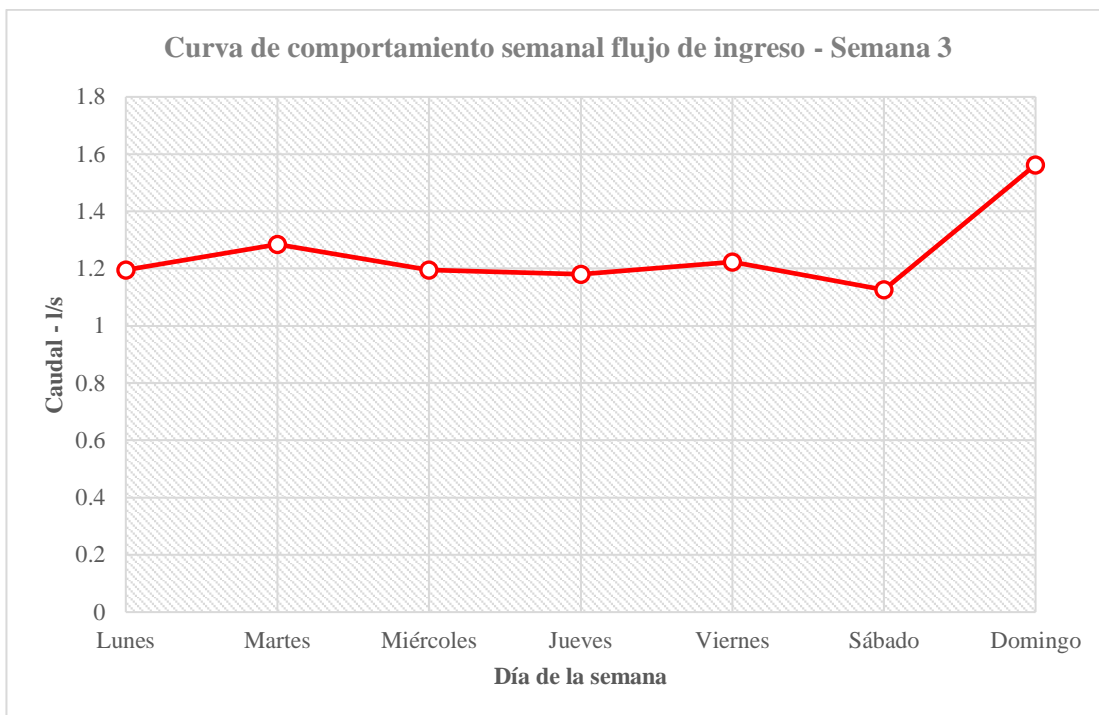


Figura 32. Curva de comportamiento semanal flujo de ingreso, tercera semana.
Fuente: Autor

Tabla 25. Medición de caudales de ingreso PTAR - Gamboa, cuarta semana.

MEDICIÓN DE CAUDALES INGRESO PTAR - GAMBOA (L/S)							
PERÍODO:	Desde lunes 20 de marzo hasta domingo 26 de marzo de 2023						
HORA DE MEDICIÓN	Mar-2023						
	20	21	22	24	25	26	-
	Lunes	Martes	Miércoles	Viernes	Sábado	Domingo	-
8:00	0.69	1.182	1.354	1.347	0.995	1.447	-
9:00	0.761	0.644	0.955	0.702	1.449	1.399	-
10:00	0.939	0.822	0.98	0.722	1.25	1.493	-
11:00	0.505	0.91	0.954	0.853	1.182	1.762	-
12:00	0.352	0.738	1.132	1.236	1.058	1.084	-
13:00	0.982	0.912	0.932	0.958	1.173	1.479	-
14:00	1.003	0.891	1.039	1.054	1.235	1.117	-
15:00	0.507	0.823	0.798	0.815	1.276	1.434	-
OBSERVACIONES	--						

Fuente: Autor

Tabla 26. Resumen de medias diarias de caudales de ingreso, cuarta semana.

RESUMEN DE MEDIAS DIARIAS DE CAUDALES PTAR		
DÍA	FECHA	MEDIA (L/S)
Lunes	20	0.717
Martes	21	0.865
Miércoles	22	1.018
Viernes	24	0.961
Sábado	25	1.202
Domingo	26	1.395

Fuente: Autor

Tabla 27. Estadística descriptiva de medias de caudales de ingreso, cuarta semana.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA - MEDICION DE CAUDALES - PTAR GAMBOA (L/S)	
Media	1.026
Desviación Estándar	0.242
Rango	0.678
Mínimo	0.717
Máximo	1.395
Suma	6.158
Número de datos	6

Fuente: Autor

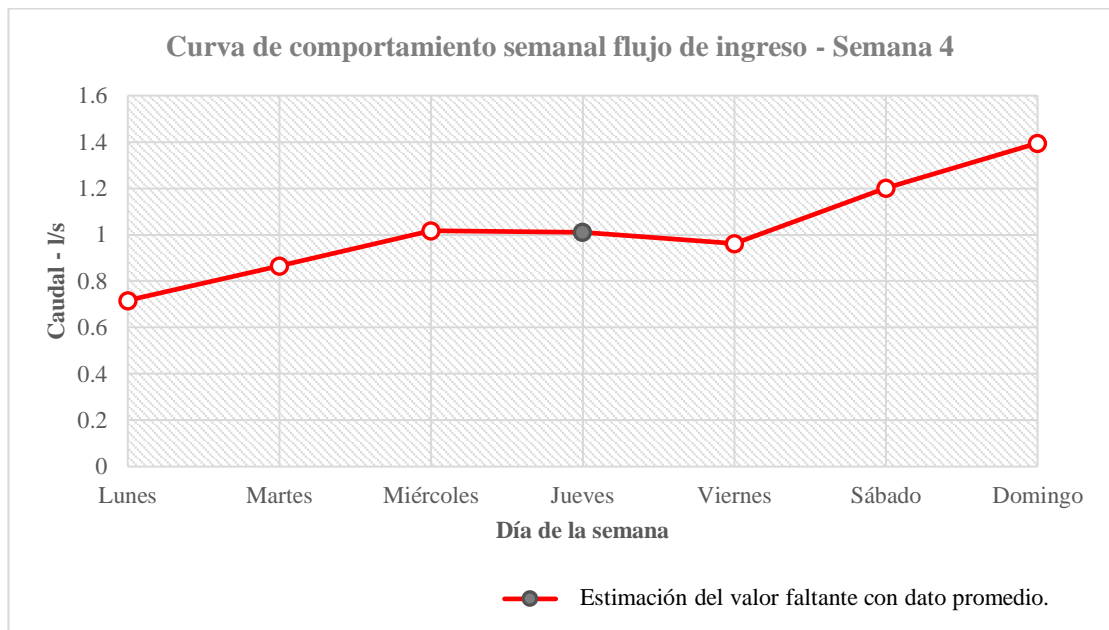


Figura 33. Curva de comportamiento semanal flujo de ingreso, cuarta semana.

Fuente: Autor

Tabla 28. Medición de caudales de ingreso PTAR - Gamboa, quinta semana.

MEDICIÓN DE CAUDALES INGRESO PTAR - GAMBOA (L/S)							
PERÍODO:	Desde lunes 27 de marzo hasta domingo 2 de abril de 2023						
HORA DE MEDICIÓN	Mar-Abr - 2023						
	27	28	29	30	31	1	2
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
8:00	0.995	1.075	1.252	0.904	1.138	0.956	1.292
9:00	1.457	0.937	1.058	0.675	0.88	0.978	1.075
10:00	1.358	0.903	1.088	0.624	0.714	0.99	1.107
11:00	1.423	0.795	0.815	0.658	0.664	0.804	1.074
12:00	0.779	0.866	0.639	0.679	0.918	0.69	0.937
13:00	1.244	1.064	0.999	0.889	0.971	1.072	1.088
14:00	1.014	0.966	0.979	1.199	0.84	1.208	1.062
15:00	1.431	0.848	1.107	1.429	0.838	0.871	1.166
OBSERVACIONES	--						

Fuente: Autor

Tabla 29. Resumen de medias diarias de caudales, quinta semana.

RESUMEN DE MEDIAS DIARIAS DE CAUDALES PTAR		
DÍA	FECHA	MEDIA (L/S)
Lunes	27	1.213
Martes	28	0.932
Miércoles	29	0.992
Jueves	30	0.882
Viernes	31	0.87
Sábado	1	0.945
Domingo	2	1.072

Fuente: Autor

Tabla 30. Estadística descriptiva de medias de caudales, quinta semana.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA - MEDICION DE CAUDALES - PTAR GAMBOA (L/S)	
Media	0.987
Desviación Estándar	0.121
Rango	0.343
Mínimo	0.87
Máximo	1.213
Suma	6.906
Número de datos	7

Fuente: Autor

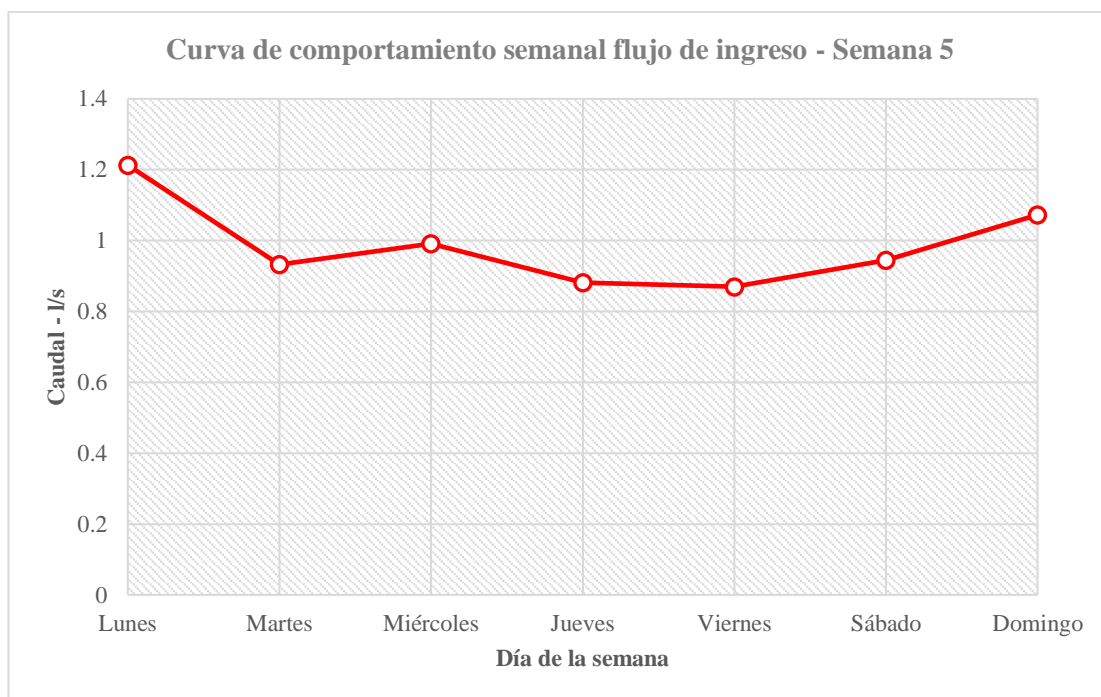


Figura 34. Curva de comportamiento semanal flujo de ingreso, quinta semana.
Fuente: Autor

De acuerdo con el análisis de los datos de caudales de entrada, se presenta en la Tabla 31 un resumen de los caudales promedios mensuales por día. Esta tabla brinda una visión general de los volúmenes de agua que ingresaron a la planta de tratamiento de aguas residuales a lo largo del período de estudio. Además, en la Figura 35 se muestra gráficamente el comportamiento del agua residual en el ingreso de la PTAR.

Tabla 31. Resumen de caudales mensuales de ingreso a la PTAR.

CAUDALES MENSUALES DE INGRESO PTAR GAMBOA (L/S)							
SEMANA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
1	-	-	1.252	0.991	1.006	1.646	1.373
2	1.427	1.011	1.187	0.988	1.548	-	1.609
3	1.196	1.285	1.195	1.181	1.223	1.126	1.563
4	0.717	0.865	1.018	-	0.961	1.202	1.395
5	1.213	0.932	0.992	0.882	0.87	0.945	1.072
Promedio	1.138	1.023	1.129	1.011	1.122	1.23	1.402

Fuente: Autor

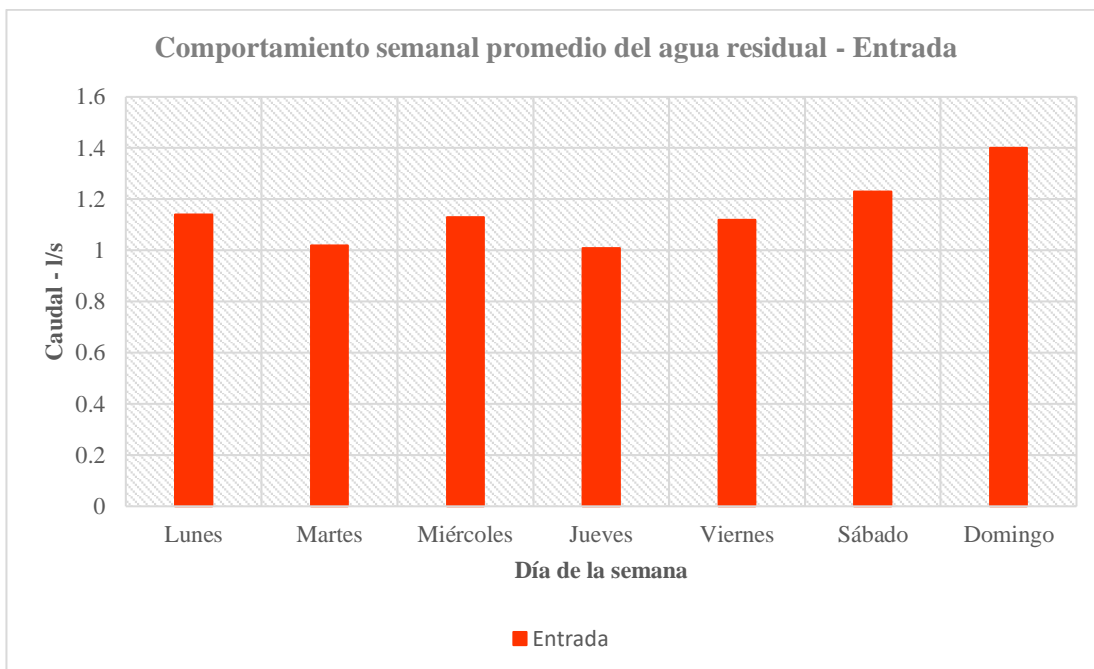


Figura 35. Comportamiento semanal promedio del agua residual en la entrada de la PTAR.
Fuente: Autor

A continuación, en la Tabla 32, se presentan datos estadísticos significativos como el caudal máximo, mínimo, media aritmética y mediana de los caudales de ingreso a la PTAR recopilados durante un período de 30 días.

Tabla 32. Estadística descriptiva general de los caudales de ingreso a la PTAR.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA - MEDICIÓN DE CAUDALES INGRESO A LA PTAR GAMBOA (L/S)	
Media	1.152
Desviación Estándar	0.359
Rango	2.495
Mínimo	0.352
Máximo	2.847
Mediana	1.11
Número de datos	248

Fuente: Autor

3.2.2. Caudales a la salida de la PTAR

En la Tabla 33 a la Tabla 49, se exhiben los caudales de salida de la PTAR, junto con la información estadística correspondiente. Estas mediciones se realizaron de manera simultánea a las mediciones de los caudales de entrada. Se registraron un total de 8 datos, uno por hora en el mismo rango horario, desde las 8:00 hasta las 15:00.

Tabla 33. Medición de caudales de salida PTAR - Gamboa, primera semana.

MEDICIÓN DE CAUDALES SALIDA PTAR - GAMBOA (L/S)							
PERÍODO:	Desde miércoles 1 de marzo hasta domingo 5 de marzo de 2023						
HORA DE MEDICIÓN	Mar-2023						
	1	2	3	4	5	-	-
	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	-	-
8:00	1.848	1.909	0.773	1.389	1.135	-	-
9:00	1.252	1.036	1.06	1.471	1.527	-	-
10:00	1.316	0.737	1.048	2.721	1.66	-	-
11:00	0.913	0.607	1.04	1.677	1.314	-	-
12:00	1.365	0.546	0.886	1.524	1.088	-	-
13:00	1.272	0.651	0.704	1.036	1.102	-	-
14:00	1.093	0.817	0.756	1.117	1.597	-	-
15:00	1.018	0.874	0.857	1.713	1.426	-	-
OBSERVACIONES	--						

Fuente: Autor

Tabla 34. Resumen de medias diarias de caudales de salida, primera semana.

RESUMEN DE MEDIAS DIARIAS DE CAUDALES PTAR		
DÍA	FECHA	MEDIA (L/S)
Miércoles	1	1.260
Jueves	2	0.897
Viernes	3	0.891
Sábado	4	1.581
Domingo	5	1.356

Fuente: Autor

Tabla 35. Estadística descriptiva de medias de caudales de salida, primera semana.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA - MEDICION DE CAUDALES - PTAR GAMBOA (L/S)	
Media	1.197
Desviación estándar	0.300
Rango	0.69
Mínimo	0.891
Máximo	1.581
Suma	5.985
Número de datos	5

Fuente: Autor

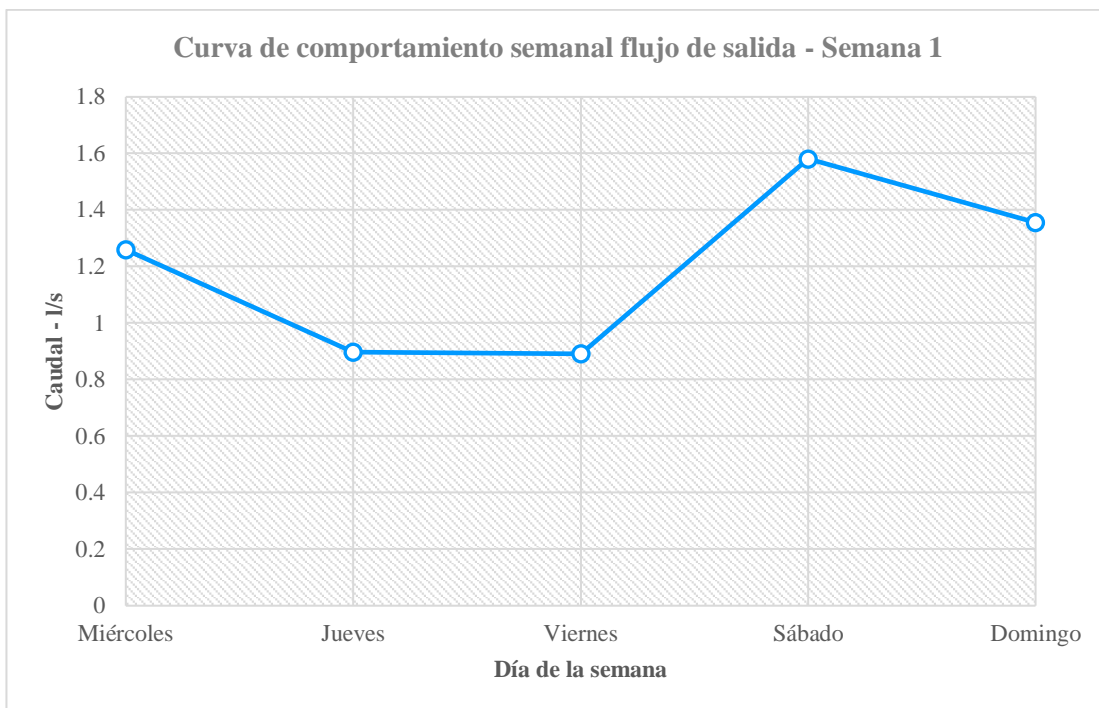


Figura 36. Curva de comportamiento semanal flujo de salida, primera semana.

Fuente: Autor

Tabla 36. Medición de caudales de salida PTAR - Gamboa, segunda semana.

MEDICIÓN DE CAUDALES SALIDA PTAR - GAMBOA (L/S)							
PERÍODO:	Desde lunes 6 de marzo hasta domingo 12 de marzo de 2023						
HORA DE MEDICIÓN	Mar-2023						
	6	7	8	9	10	12	-
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Domingo	-
8:00	1.363	1.047	0.979	1.663	1.252	1.252	-
9:00	1.732	0.917	1.246	1.194	1.164	1.164	-
10:00	1.347	0.808	1.244	0.841	1.649	1.649	-
11:00	1.389	0.684	1.159	0.925	1.59	1.59	-
12:00	1.724	0.888	1.238	1.144	1.758	1.758	-
13:00	1.176	0.963	1.154	0.969	2.26	2.26	-
14:00	1.048	1.236	1.242	1.278	1.643	1.643	-
15:00	0.991	1.299	0.998	1.053	1.411	1.411	-
OBSERVACIONES	Dia sábado 11 se realizó el mantenimiento de la PTAR						

Fuente: Autor

Tabla 37. Resumen de medias diarias de caudales de salida, segunda semana.

RESUMEN DE MEDIAS DIARIAS DE CAUDALES PTAR		
DÍA	FECHA	MEDIA (L/S)
Lunes	6	1.346
Martes	7	0.98
Miércoles	8	1.158
Jueves	9	1.133
Viernes	10	1.591
Domingo	11	1.639

Fuente: Autor

Tabla 38. Estadística descriptiva de medias de caudales de salida, segunda semana.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA - MEDICION DE CAUDALES - PTAR GAMBOA (L/S)	
Media	1.308
Desviación Estándar	0.265
Rango	0.659
Mínimo	0.98
Máximo	1.639
Suma	7.847
Número de datos	6

Fuente: Autor

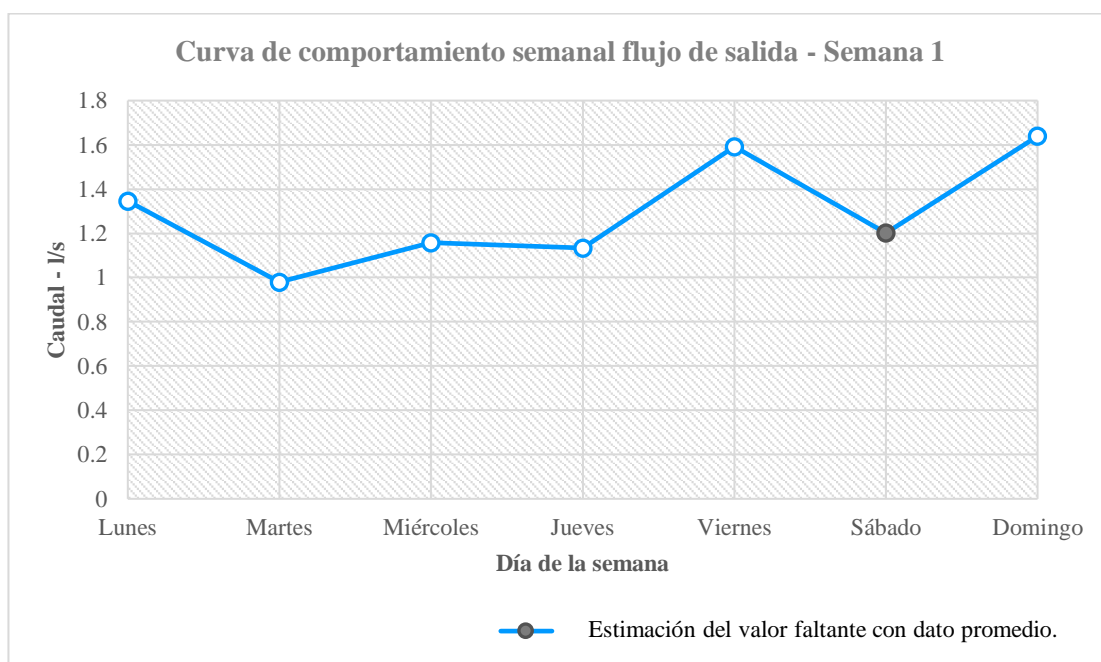


Figura 37. Curva de comportamiento semanal flujo de salida, segunda semana.

Fuente: Autor

Tabla 39. Medición de caudales de salida PTAR - Gamboa, tercera semana.

MEDICIÓN DE CAUDALES SALIDA PTAR - GAMBOA (L/S)							
PERÍODO:	Desde lunes 13 de marzo hasta domingo 19 de marzo de 2023						
HORA DE MEDICIÓN	Mar-2023						
	13	14	15	16	17	18	19
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
8:00	1.325	1.26	1.327	1.578	1.256	1.242	0.931
9:00	1.318	1.158	1.329	0.949	1.623	1.132	1.127
10:00	1.159	1.248	1.077	0.831	1.043	1.024	1.656
11:00	0.887	0.952	1.221	0.786	1.19	0.943	1.518
12:00	0.962	0.967	1.242	0.99	1.629	1.225	1.98
13:00	1.151	1.009	1.594	0.969	1.103	1.208	1.674
14:00	1.055	0.995	1.182	1.14	1.301	1.429	1.798
15:00	1.356	0.847	0.977	1.509	0.983	1.13	1.538
OBSERVACIONES	--						

Fuente: Autor

Tabla 40. Resumen de medias diarias de caudales de salida, tercera semana.

RESUMEN DE MEDIAS DIARIAS DE CAUDALES PTAR		
DÍA	FECHA	MEDIA (L/S)
Lunes	13	1.152
Martes	14	1.055
Miércoles	15	1.244
Jueves	16	1.094
Viernes	17	1.266
Sábado	18	1.156
Domingo	19	1.694

Fuente: Autor

Tabla 41. Estadística descriptiva de medias de caudales de salida, tercera semana.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA - MEDICION DE CAUDALES - PTAR GAMBOA (L/S)	
Media	1.237
Desviación Estándar	0.215
Rango	0.639
Mínimo	1.055
Máximo	1.694
Suma	8.661
Número de datos	7

Fuente: Autor

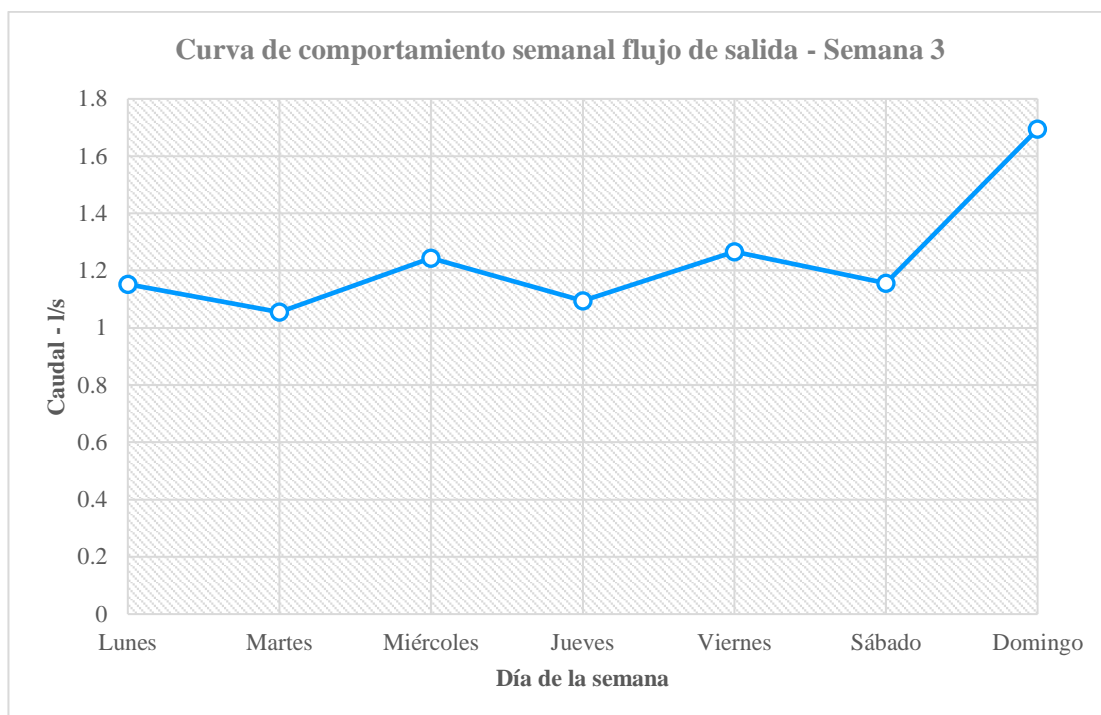


Figura 38. Curva de comportamiento semanal flujo de salida, tercera semana.
Fuente: Autor

Tabla 42. Medición de caudales de salida PTAR - Gamboa, cuarta semana.

MEDICIÓN DE CAUDALES SALIDA PTAR - GAMBOA (L/S)							
PERÍODO:	Desde lunes 20 de marzo hasta domingo 26 de marzo de 2023						
HORA DE MEDICIÓN	Mar-2023						
	20 Lunes	21 Martes	22 Miércoles	24 Viernes	25 Sábado	26 Domingo	-
8:00	0.985	0.943	1.495	1.441	1.161	1.619	-
9:00	0.891	1.038	1.203	1.013	1.159	1.29	-
10:00	0.847	0.831	0.833	0.828	1.127	1.256	-
11:00	0.642	0.779	0.743	0.635	1.151	1.533	-
12:00	0.431	0.984	1.264	1.203	0.703	1.361	-
13:00	0.653	0.994	1.221	0.896	1.122	1.406	-
14:00	0.766	1.02	1.103	0.97	1.077	1.088	-
15:00	0.803	0.951	0.866	0.989	1.185	1.26	-
OBSERVACIONES	--						

Fuente: Autor

Tabla 43. Resumen de medias diarias de caudales de salida, cuarta semana.

RESUMEN DE MEDIAS DIARIAS DE CAUDALES PTAR		
DÍA	FECHA	MEDIA (L/S)
Lunes	20	0.752
Martes	21	0.943
Miércoles	22	1.091
Viernes	24	0.997
Sábado	25	1.086
Domingo	26	1.313

Fuente: Autor

Tabla 44. Estadística descriptiva de medias de caudales de salida, cuarta semana.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA - MEDICION DE CAUDALES - PTAR GAMBOA (L/S)	
Media	1.03
Desviación Estándar	0.186
Rango	0.561
Mínimo	0.752
Máximo	1.313
Suma	6.182
Número de datos	6

Fuente: Autor

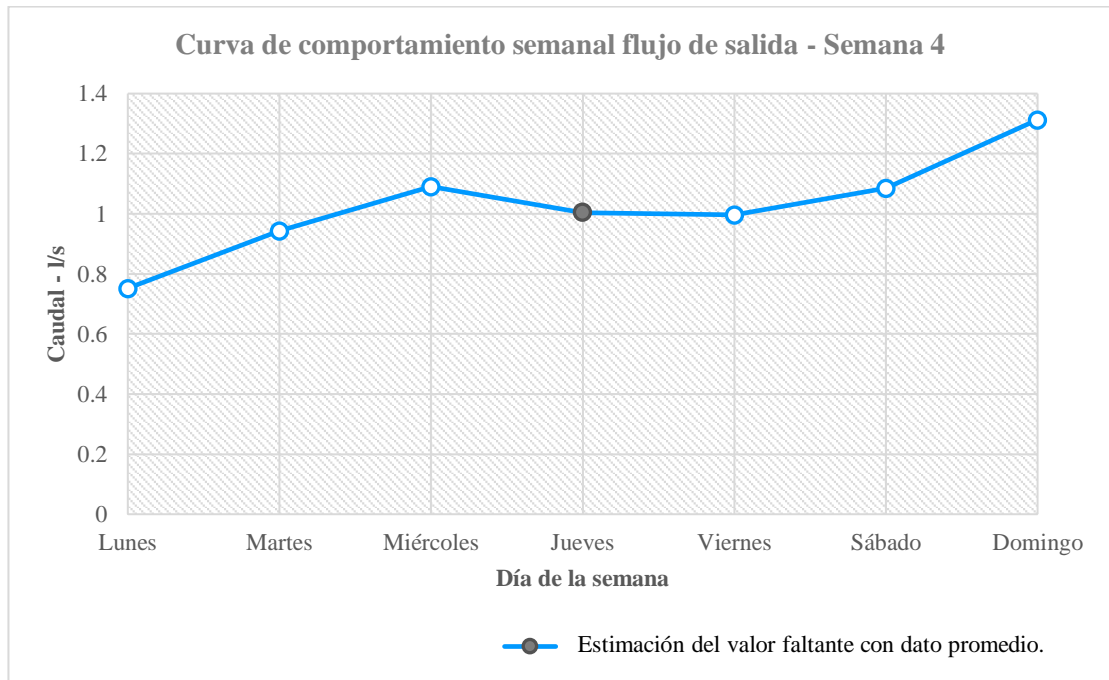


Figura 39. Curva de comportamiento semanal flujo de salida, cuarta semana.

Fuente: Autor

Tabla 45. Medición de caudales de salida PTAR - Gamboa, quinta semana.

MEDICIÓN DE CAUDALES SALIDA PTAR - GAMBOA (L/S)							
PERÍODO:	Desde lunes 27 de marzo hasta domingo 2 de abril de 2023						
HORA DE MEDICIÓN	Mar-Abr - 2023						
	27	28	29	30	31	1	2
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
8:00	1.054	1.014	1.201	0.869	1.078	1.067	1.175
9:00	1.214	0.977	0.963	0.789	0.824	0.962	0.85
10:00	1.18	0.815	0.906	0.784	0.766	0.943	1.008
11:00	1.156	0.767	0.883	0.691	0.819	0.955	1.04
12:00	0.847	0.827	0.707	0.834	0.817	0.806	1.051
13:00	0.816	0.94	0.781	0.811	0.871	1.097	1.235
14:00	0.839	0.862	0.991	0.994	1.03	1.111	0.982
15:00	1.208	0.789	1.176	1.365	0.952	0.978	0.834
OBSERVACIONES	--						

Fuente: Autor

Tabla 46. Resumen de medias diarias de caudales de salida, quinta semana.

RESUMEN DE MEDIAS DIARIAS DE CAUDALES PTAR		
DÍA	FECHA	MEDIA (L/S)
Lunes	27	1.039
Martes	28	0.874
Miércoles	29	0.951
Jueves	30	0.892
Viernes	31	0.895
Sábado	1	0.979
Domingo	2	1.025

Fuente: Autor

Tabla 47. Estadística descriptiva de medias de caudales de salida, quinta semana.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA - MEDICION DE CAUDALES - PTAR GAMBOA (L/S)	
Media	0.951
Desviación Estándar	0.067
Rango	0.165
Mínimo	0.874
Máximo	1.039
Suma	6.655
Número de datos	7

Fuente: Autor

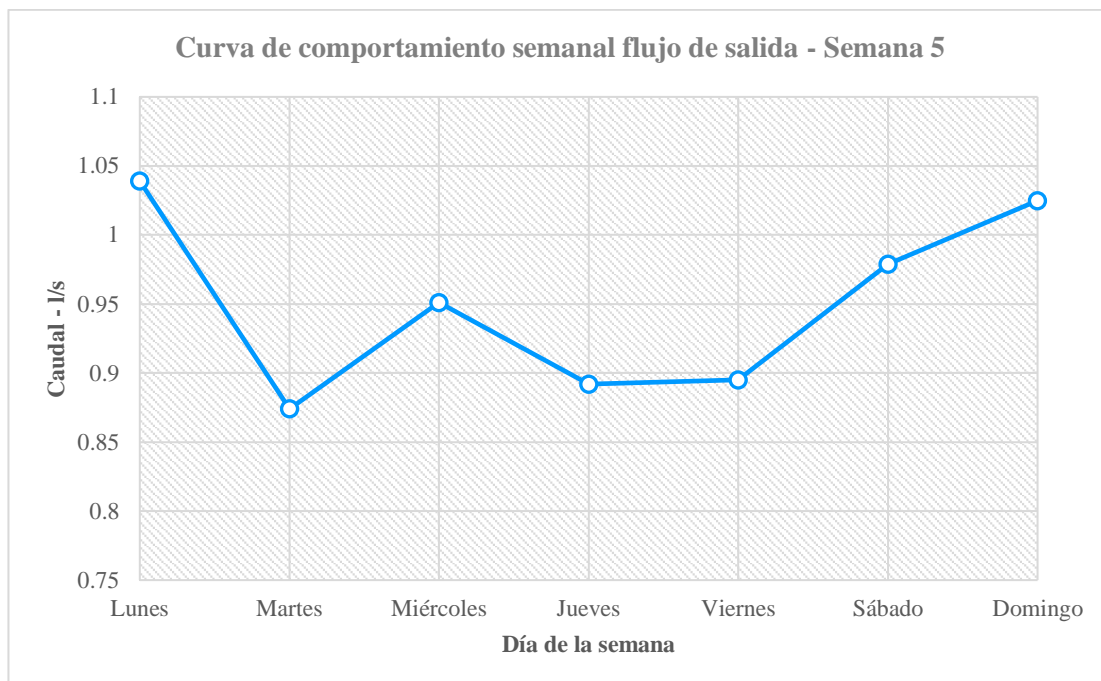


Figura 40. Curva de comportamiento semanal flujo de salida, quinta semana.
Fuente: Autor

Una vez que se tabularon los datos, se expone un resumen de los caudales medios mensuales por día que se encuentran detallados en la Tabla 48. También se representa gráficamente en la Figura 41 correspondiente el comportamiento de las aguas residuales en la salida de la PTAR.

Tabla 48. Resumen de caudales mensuales de salida de la PTAR.

CAUDALES MENSUALES DE SALIDA PTAR GAMBOA (L/S)							
SEMANA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
1	-	-	1.26	0.897	0.891	1.581	1.356
2	1.346	0.98	1.158	1.133	1.591	-	1.639
3	1.152	1.055	1.244	1.094	1.266	1.156	1.694
4	0.752	0.943	1.091	-	0.997	1.086	1.313
5	1.039	0.874	0.951	0.892	0.895	0.979	1.025
Promedio	1.072	0.963	1.141	1.004	1.128	1.201	1.405

Fuente: Autor

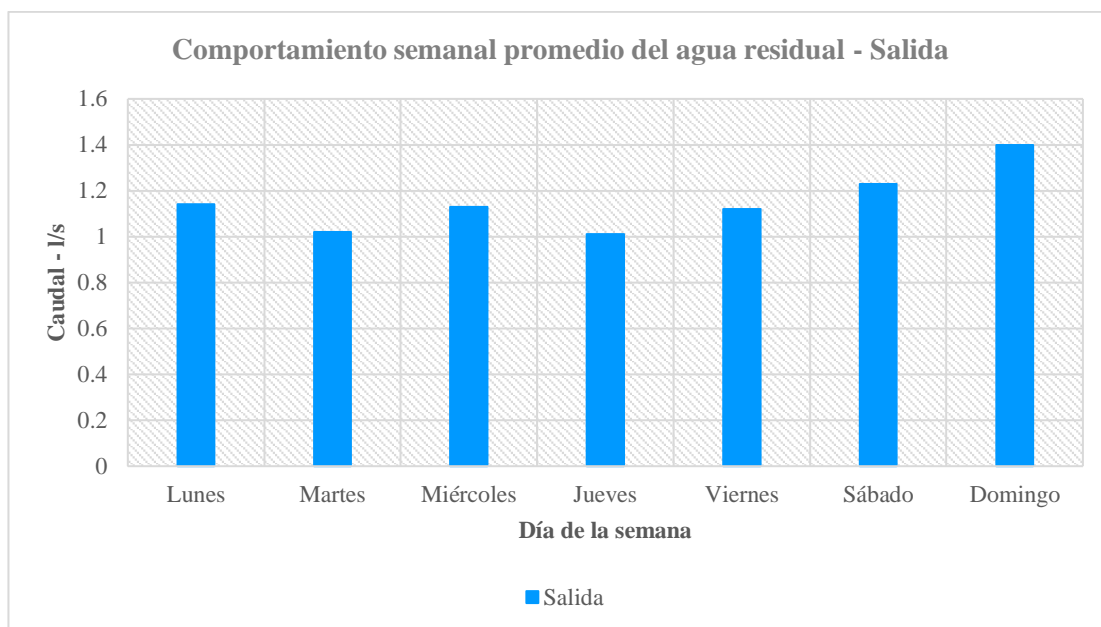


Figura 41. Comportamiento semanal promedio del agua residual en la salida de la PTAR.
Fuente: Autor

A continuación, en la Tabla 49, se presentan datos estadísticos significativos como el caudal máximo, mínimo, media aritmética y mediana de los caudales de salida de la PTAR recopilados durante un período de 30 días.

Tabla 49. Estadística descriptiva general de los caudales de salida de la PTAR.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA - MEDICIÓN DE CAUDALES SALIDA DE LA PTAR GAMBOA (L/S)	
Media	1.135
Desviación Estándar	0.319
Rango	2.29
Mínimo	0.431
Máximo	2.721
Mediana	1.083
Número de datos	248

Fuente: Autor

3.2.3. Caudal de alcantarillado

Se ha realizado una recopilación de información necesaria para el cálculo del caudal aproximado de la red de alcantarillado, cuyos valores se encuentran resumidos en la Tabla 50. Los datos relacionados con la dotación se extrajeron del Código de Práctica para el Diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural, en particular de la Tabla 5.3 [29]. El factor de mayoración se obtuvo del mismo código de práctica. Además, el coeficiente de retorno se obtuvo de la Tabla 4.2.3.1 de las Normas de Diseño de Sistemas de

Alcantarillado de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito [30].

Tabla 50. Resumen de datos para el caudal del alcantarillado.

DATOS	VALOR	UNIDAD
Población actual (P)	1113	hab
Dotación de agua potable (D)	80	l/hab*día
Coefficiente de retorno (R)	0.75	-
Coefficiente de mayoración máximo diario (KMD)	3	-

Fuente: Autor

Caudal medio diario sanitario - Q_{mds}

$$Q_{mds} = \frac{D * P}{86400 \text{ l/s}} * R \quad (5)$$

$$Q_{mds} = \frac{80 \frac{\text{l}}{\text{hab} * \text{día}} * 1113 \text{ hab}}{86400 \text{ l/s}} * 0.75$$

$$Q_{mds} = 0.77 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Caudal máximo diario sanitario – Q_{MHS}

$$Q_{MHS} = Q_{mds} * KMD \quad (6)$$

$$Q_{MHS} = 0.77 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 3$$

$$Q_{MHS} = 2.31 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Caudal de conexiones erradas - Q_{ce}

$$Q_{ce} = Q_{MHS} * 10\% \quad (7)$$

$$Q_{ce} = 2.31 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 10\%$$

$$Q_{ce} = 0.23 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Caudal máximo del alcantarillado – Q_a

$$Q_a = Q_{MHS} + Q_{ce} \quad (8)$$

$$Q_a = 2.31 \frac{\text{l}}{\text{s}} + 0.23 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$Q_a = 2.54 \frac{l}{s}$$

Los resultados del cálculo muestran un caudal máximo estimado de 2.54 litros por segundo en la red de alcantarillado, mientras que los datos recopilados en la entrada de la PTAR de Gamboa indican un caudal máximo de 2.85 litros por segundo. Aunque existe una pequeña diferencia entre ambas cifras, se presume que esta discrepancia se debe principalmente a la variabilidad aleatoria asociada al uso simultáneo de los aparatos sanitarios por parte de la población atendida. En este sentido, la aproximación realizada es válida y proporciona un cálculo lo suficientemente preciso para los propósitos de esta investigación.

3.3. Análisis de agua residual de la PTAR

La evaluación de la calidad del agua en la PTAR fue llevada a cabo en el laboratorio de control de calidad de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato, entidad que cuenta con la acreditación otorgada por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE). El proceso de evaluación se enfocó en una serie de parámetros críticos para determinar la efectividad del tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Gamboa. Estos parámetros clave incluyeron la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la concentración de fosfatos y Nitrógeno amoniacal, el pH, los sólidos totales suspendidos, los sólidos totales, la presencia de sulfato y la turbidez. Se destaca que no se realizaron análisis de metales pesados, dado el carácter predominantemente agrícola de la zona que sirve la PTAR, donde no se evidencia la presencia de industrias que pudieran contribuir a la aparición de estos contaminantes.

De acuerdo con Metcalf y Eddy, los parámetros más relevantes a considerar en el análisis de la calidad del agua son la DBO₅ y la DQO. Estos indicadores proporcionan información crucial sobre la cantidad de materia orgánica biodegradable y no biodegradable presente en las aguas residuales. Además, la turbidez y los Sólidos Totales Suspendidos y Totales son parámetros igualmente significativos, ya que permiten evaluar la eficiencia de la PTAR en la retención de partículas [6].

Asimismo, se evaluó el pH, ya que desempeña un papel fundamental en el óptimo desarrollo de los procesos biológicos. Un pH equilibrado facilita el correcto

funcionamiento de los microorganismos encargados de la descomposición de los contaminantes en el tratamiento biológico de las aguas residuales [31], [32].

Por último, se examinaron los nutrientes como el Nitrógeno amoniacal y los fosfatos. El Nitrógeno amoniacal es el resultado de la degradación bacteriana del nitrógeno y su presencia en concentraciones elevadas puede resultar tóxica para la vida acuática. Los fosfatos, por su parte, se conocen por ocasionar la pérdida de la capacidad de autodepuración y además la generación de eutrofización, un proceso que agota el oxígeno disponible en los cuerpos de agua, afectando negativamente la biodiversidad acuática [7], [31], [33], [34].

Los resultados detallados de los análisis descritos anteriormente se encuentran disponibles en el ANEXO N° 3: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL DE LA PTAR GAMBOA.

3.3.1. Análisis del afluente

A continuación, se proporciona la Tabla 51 y Tabla 52 que contrasta cada parámetro evaluado en el ingreso de la PTAR con los valores máximos permitidos por la TULSMA establecidos en la Tabla 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO [35]. Según este análisis comparativo, se puede observar que todos los parámetros de entrada a la PTAR de Gamboa se encuentran dentro de los límites aceptables establecidos por la legislación ambiental.

Tabla 51. Comparación de parámetros del afluente con los parámetros del Anexo 1 de la TULSMA (continua).

PARÁMETRO	UNIDADES	AFLUENTE	TULSMA	CUMPLE
DBO ₅	mg/L	127	250	SI
DQO	mg/L	230	500	SI
Fosfato	mg/L	7.13	-	-

Fuente: Autor

Tabla 52. Comparación de parámetros del afluente con los parámetros del Anexo 1 de la TULSMA (continua).

PARÁMETRO	UNIDADES	AFLUENTE	TULSMA	CUMPLE
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	22.25	-	-
pH	U pH	7.97	6 - 9	SI
Sólidos totales suspendidos	mg/L	207	220	SI
Sólidos totales	mg/L	882	1600	SI
Sulfato	mg/L	76	400	SI
Turbidez	NTU	143	-	-

Fuente: Autor

De acuerdo con Sperling, es esencial examinar detalladamente la correlación existente entre la DQO y la DBO₅ en las aguas residuales domésticas crudas. Este análisis proporciona conclusiones valiosas sobre la biodegradabilidad de las aguas y resulta fundamental para determinar el proceso de tratamiento más adecuado a implementar [7].

$$\frac{DQO}{DBO_5} = \frac{230 \text{ mg/L}}{127 \text{ mg/L}}$$

$$\frac{DQO}{DBO_5} = 1.81$$

Donde:

DQO = Demanda Química de Oxígeno

DBO₅ = Demanda Bioquímica de Oxígeno

En este caso específico, se ha observado una relación DQO/DBO₅ de 1.81, la cual se encuentra dentro del rango de valores mucho menores a 2.5.

Este resultado indica la existencia de una fracción biodegradable considerable en las aguas residuales, lo que implica que pueden someterse a un tratamiento biológico de manera eficiente [7].

3.3.2. Análisis del efluente

A continuación, se proporciona la Tabla 53 que contrasta cada parámetro evaluado después de someterse al proceso de tratamiento en la salida de la PTAR, con los valores máximos permitidos por la TULSMA establecidos en la Tabla 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE [35]. Según los datos analizados en la Tabla 53, la mayoría de los parámetros de efluente cumplen con los límites permitidos establecidos por la legislación ambiental. No obstante, se ha detectado una ligera infracción en el parámetro de Nitrógeno amoniacal, el cual excede en una unidad el límite máximo permitido de 30 unidades. Aunque esta discrepancia mínima no genera un impacto ambiental significativo, se puede abordar mediante una mejor gestión del mantenimiento y la implementación de prácticas operativas mejoradas en la planta.

Tabla 53. Comparación de parámetros del efluente con los parámetros del Anexo 1 de la TULSMA.

PARÁMETRO	UNIDADES	EFLUENTE	TULSMA	CUMPLE
DBO ₅	mg/L	67	100	SI
DQO	mg/L	165	200	SI
Fosfato	mg/L	12.38	-	-
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	31	30	NO
pH	U pH	7.91	6 – 9	SI
Sólidos totales suspendidos	mg/L	120	130	SI
Sólidos totales	mg/L	775	1600	SI
Sulfato	mg/L	48	1000	SI
Turbidez	NTU	95.8	-	-

Fuente: Autor

De manera análoga al análisis llevado a cabo en la entrada de la PTAR, la relación entre la DQO y la DBO₅ desempeña un papel fundamental en la etapa de salida del proceso de tratamiento. En esta instancia, es necesario que dicha relación aumente para evidenciar la eficiencia del tratamiento realizado.

$$\frac{DQO}{DBO_5} = \frac{165 \text{ mg/L}}{67 \text{ mg/L}}$$

$$\frac{DQO}{DBO_5} = 2.46$$

Donde:

DQO = Demanda Química de Oxígeno

DBO₅ = Demanda Bioquímica de Oxígeno

Para este caso, se ha observado una relación de 2.46, la cual se encuentra dentro del rango de valores cercanos a 2.5, lo cual indica que la fracción no biodegradable no es alta. Según Sperling, se anticipa un aumento en la relación DQO/DBO₅ debido a la disminución gradual de la fracción biodegradable, mientras que la fracción inerte permanece relativamente constante [7].

Basándose en este principio, el análisis llevado a cabo en la PTAR de Gamboa revela un incremento en la relación DQO/DBO₅ de 1.81 a 2.46. Este incremento evidencia la efectividad del tratamiento implementado, manifestada en una mayor depuración del agua y en la consiguiente reducción de la fracción biodegradable.

3.4.Eficiencia del tratamiento

La eficiencia del tratamiento llevado a cabo por la estructura depuradora para cada uno de los parámetros analizados se puede apreciar en la Tabla 53 y gráficamente en la Figura 42. Resulta destacable que la planta logra un tratamiento efectivo en 6 de los 9 parámetros evaluados.

Sin embargo, se observa un incremento en los niveles de fosfato y nitrógeno amoniacal en el efluente. Aunque estos valores no superan los límites establecidos por la legislación ambiental vigente, sus incrementos generan preocupación debido a su potencial impacto en la calidad del agua. Se plantea la hipótesis de que este aumento en la concentración de dichos parámetros podría estar asociado al estado de negligencia en el que se encuentra la PTAR, lo que refuerza la necesidad de mejorar las prácticas de mantenimiento y operación.

Tabla 54. Comparación de resultados de análisis en la entrada y salida.

PARÁMETRO	UNIDADES	AFLUENTE	EFLUENTE	EFICIENCIA DE TRATAMIENTO
DBO ₅	mg/L	127	67	47%
DQO	mg/L	230	165	28%
Fosfato	mg/L	7.13	12.38	-73%
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	22.25	31	-39%
pH	U pH	7.97	7.91	No existe un cambio significativo.
Sólidos totales suspendidos	mg/L	207	120	42%
Sólidos totales	mg/L	882	775	12%
Sulfato	mg/L	76	48	37%
Turbidez	NTU	143	95.8	33%

Fuente: Autor

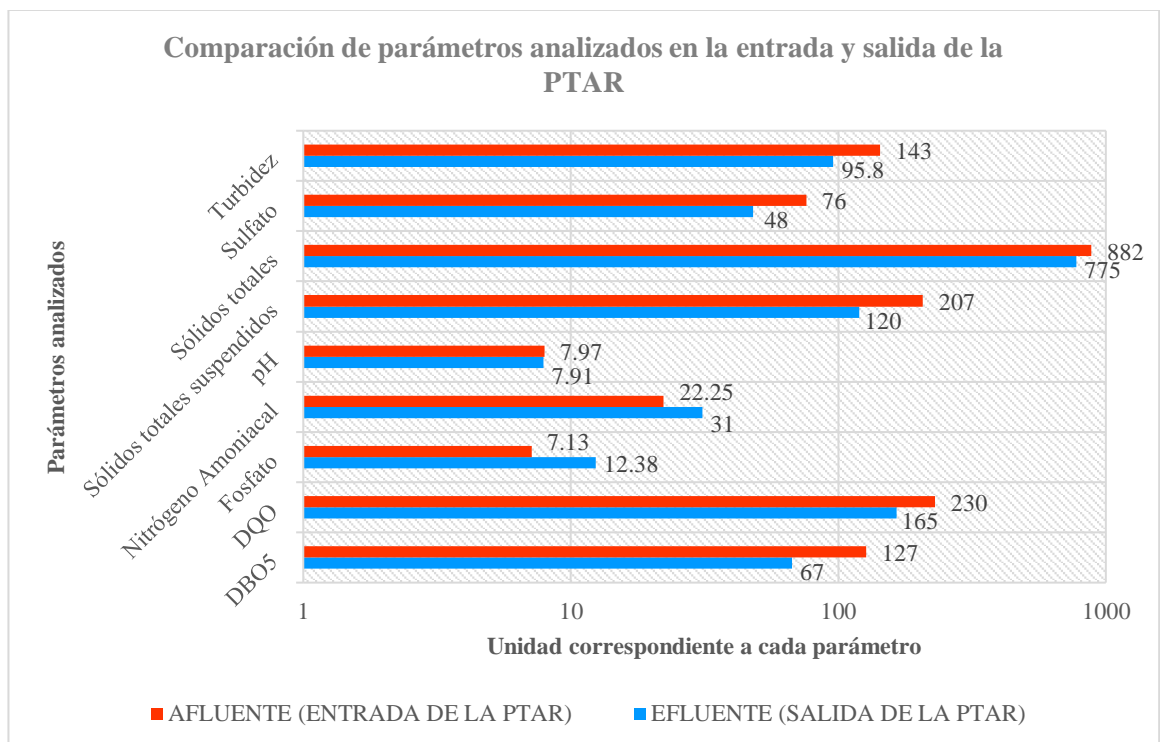


Figura 42. Comparación de parámetros analizados en la entrada y salida de la PTAR.

Fuente: Autor

3.5.Verificación de la hipótesis

La PTAR de Gamboa se encuentra en estado operativo que dista de ser óptimo, lo cual se puede constatar mediante la revisión del estado de las estructuras y el análisis de los datos fisicoquímicos del agua residual tratada. La información recopilada en la Tabla 54 revela el cumplimiento adecuado de los objetivos de depuración establecidos por la normativa de la TUSLMA para cada uno de los parámetros analizados. No obstante, como se ha visto, se ha detectado un ligero incumplimiento en un parámetro específico, que excede el umbral reglamentario por una unidad. Este desvío marginal es probablemente atribuible a la falta evidente de mantenimiento de las instalaciones. Por consiguiente, se postula que la implementación de estrategias mejoradas de mantenimiento podría abordar esta problemática y garantizar un cumplimiento constante de todas las disposiciones reglamentarias por parte de la PTAR.

3.6.Propuesta de mejora y operación de la PTAR

3.6.1.Propuesta de mejora

Para garantizar un funcionamiento óptimo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Gamboa, se proponen las siguientes mejoras detalladas a continuación.

Reposición de tapas de hormigón armado y adición de tiraderas

En este caso se prevé la reposición de las tapas deterioradas y la incorporación de tiraderas a las que no las posean. En términos específicos, se estima la necesidad de reemplazar 3 tapas y de añadir 5 tiraderas. El presupuesto referencial para esta intervención se ha establecido en 114.52 dólares estadounidenses. Para un desglose más detallado de los costos unitarios, se remite al ANEXO N° 4: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS, donde se exponen de forma exhaustiva.

Solución al bypass obstruido

Ante la condición actual de la tubería expuesta del bypass, se recomienda llevar a cabo un recubrimiento con un canalón galvanizado. Esta intervención tiene como finalidad prevenir la cristalización de la tubería, un fenómeno que podría desencadenar problemas operativos en el futuro. En consecuencia, esta medida persigue salvaguardar la integridad y la durabilidad del sistema, contribuyendo a una operatividad más estable y eficaz a largo plazo.

Diseño de cubierta

Se considera la construcción de una cubierta (ver Figura 43 y Figura 44) para el lecho de secado de lodos con el propósito de potenciar la eficiencia del proceso de deshidratación. Para su implementación, se planea utilizar perfiles estructurales cuadrados de 100 mm de lado y 4 mm de espesor que cumplirán la función de columnas y vigas principales. Además, se tiene previsto la incorporación de un techo de policarbonato, material que facilitará la penetración de la luz solar sin producir un aislamiento total de los lodos, factor crucial para el proceso de deshidratación. Los cálculos estructurales relativos a esta cubierta se encuentran detallados en el ANEXO N° 5: CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA.

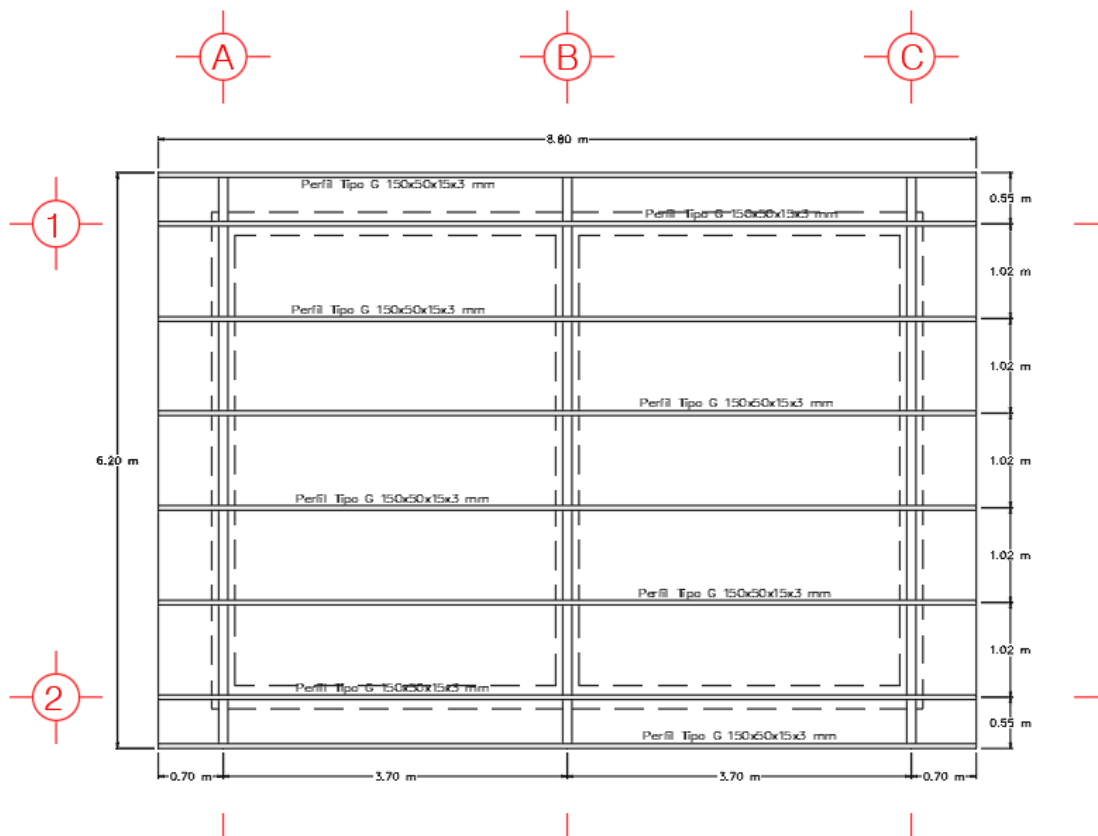


Figura 43. Planta de la cubierta propuesta sobre el lecho de secado de lodos.
Fuente: Autor

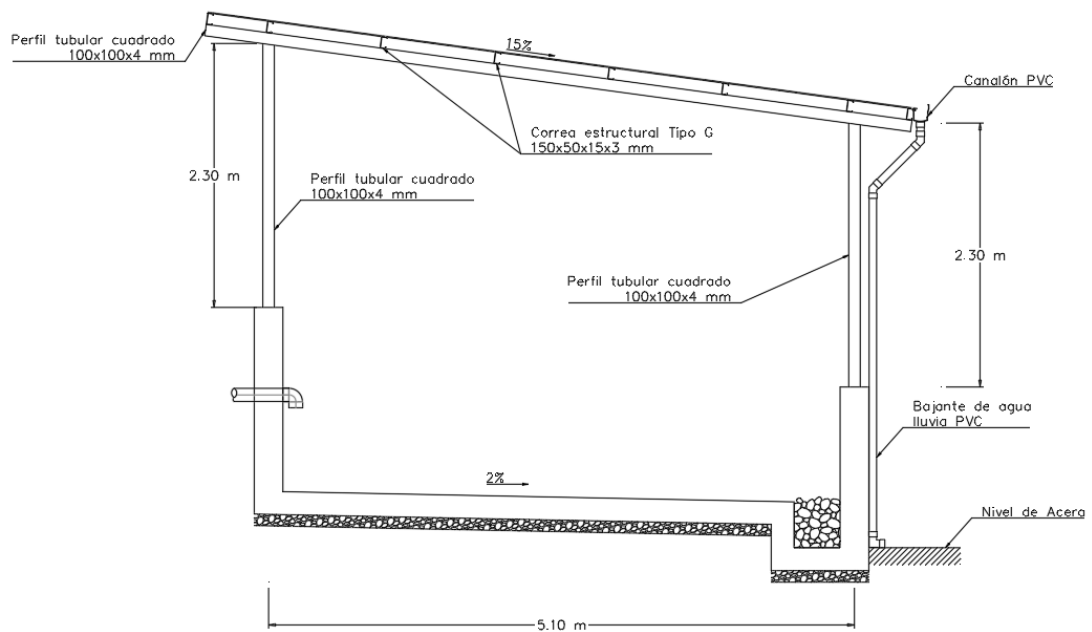


Figura 44. Corte transversal de la cubierta propuesta.

Fuente: Autor

La inversión estimada para esta intervención se aproxima a los 6741.63 dólares estadounidenses. Para obtener un desglose detallado de los costos, se puede hacer referencia al ANEXO N° 4: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.

3.6.2. Manual de operación y mantenimiento

Procedimiento de operación del Tanque Repartidor de Caudales

El procedimiento de operación del tanque repartidor de caudales establece las acciones necesarias para el correcto funcionamiento de este componente de la PTAR. Incluye las siguientes actividades:

- Verificación diaria del estado de las rejillas de separación y limpieza de los contaminantes retenidos.

Frecuencia: 1 vez por día.

- Activación de la derivación durante las labores de mantenimiento para desviar el flujo de aguas residuales.

Frecuencia: 1 vez por mes.

Procedimiento de operación del Tanque Séptico

El procedimiento de operación del tanque séptico describe las tareas necesarias para garantizar la eficiencia en la separación de sólidos y el adecuado funcionamiento de este componente. Incluye:

- Inspección regular de los compartimentos del tanque para verificar el nivel de lodo sedimentado y registro en la bitácora registro de operación y mantenimiento.

Frecuencia: 1 vez por semana.

- Apertura de las válvulas de drenaje para eliminar el sedimento acumulado en el fondo de los compartimentos.

Frecuencia: 1 vez por mes.

- Limpieza del tanque e inspección visual de su interior.
- Mantenimiento preventivo de las válvulas y aseguramiento de su correcto funcionamiento.

Frecuencia: 1 vez por año.

Procedimiento de operación del Filtro Biológico (FAFA)

El procedimiento de operación del filtro biológico establece las acciones necesarias para el correcto funcionamiento de este sistema de filtración. Incluye:

- Monitoreo de la acumulación en la parte superior del filtro de sedimentos finos arrastrados por el flujo.
- Mantenimiento del medio de soporte, incluyendo la limpieza y reemplazo de material pétreo en caso necesario.

Frecuencia: 1 vez por mes.

Procedimiento de operación del Filtro Descendente

El procedimiento de operación del filtro descendente establece las pautas para el correcto funcionamiento de este componente. Incluye:

- Mantenimiento del lecho filtrante, incluyendo la limpieza y reemplazo del material pétreo cuando se requiera.

Frecuencia: 1 vez cada 3 meses.

Procedimiento de operación del Sistema de Dosificación de Cloro

El procedimiento de operación del Sistema de Dosificación de Cloro describe las actividades necesarias para el control efectivo del proceso de cloración. Incluye:

- Limpieza y mantenimiento del tanque dispensador de solución clorada.

Frecuencia: 1 vez por semana.

Procedimiento de operación del Lecho de Secado de Lodos

El procedimiento de operación del lecho de secado de lodos establece las pautas para el manejo adecuado de este componente. Incluye:

- Revolver el lodo periódicamente para facilitar su deshidratación.

Frecuencia: 1 vez por semana.

- Extracción y disposición final adecuada del lodo deshidratado.

Frecuencia: 1 vez por mes.

Procedimiento de gestión de jardines

El procedimiento de gestión de jardines establece las pautas para el manejo adecuado de este componente. Incluye:

- Desbroce y limpieza de maleza en las jardineras y cerramiento.
- Desramado de arbustos para evitar obstrucciones los senderos.

Frecuencia: 1 vez por mes.

Resumen de actividades de mantenimiento

Tabla 55. Resumen de actividades de mantenimiento.

MANTENIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS			
SISTEMA	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS
TANQUE REPARTIDOR	<ul style="list-style-type: none">• Limpieza de sólidos retenidos en la rejilla.	1 vez por día	Equipo de protección personal, pala, carretilla.
	<ul style="list-style-type: none">• Derivación de flujo por el bypass.	1 vez por mes	Equipo de protección personal.

Fuente: Autor

Tabla 56. Resumen de actividades de mantenimiento (continua).

MANTENIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS			
SISTEMA	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS
TANQUE SÉPTICO	<ul style="list-style-type: none"> Inspección de la altura de los lodos sedimentados. 	1 vez por semana	Equipo de protección personal, barra, bitácora de registro de operación y mantenimiento.
	<ul style="list-style-type: none"> Drenaje de lodos. 	1 vez por mes	Equipo de protección personal, manguera, pala.
	<ul style="list-style-type: none"> Limpieza del tanque. 	1 vez por año	Equipo de protección personal, pala, manguera.
FILTRO BIOLÓGICO	<ul style="list-style-type: none"> Limpieza de sedimentos finos en la parte superior del filtro. 	1 vez por mes	Equipo de protección personal, pala pequeña, carretilla
	<ul style="list-style-type: none"> Limpieza del filtro por retro lavado. 		Equipo de protección personal, manguera.
FILTRO DESCENDENTE	<ul style="list-style-type: none"> Limpieza del filtro. 	1 vez cada 3 meses	Equipo de protección personal, manguera.
SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE CLORO	<ul style="list-style-type: none"> Limpieza y del tanque de solución clorada. 	1 vez por semana	Equipo de protección personal, escoba, manguera.
LECHO DE SECADO DE LODOS	<ul style="list-style-type: none"> Revolver los lodos. 	1 vez por semana	Equipo de protección personal, pala.
	<ul style="list-style-type: none"> Limpieza de lodos deshidratados. 	1 vez por mes	Equipo de protección personal, pala, carretilla, fundas para desechos peligrosos.
MANTENIMIENTO DEL ENTORNO			
GESTIÓN DE JARDINES	<ul style="list-style-type: none"> Desbroce y limpieza. 	1 vez por mes	Pala, rastrillo, azadón, carretilla.
	<ul style="list-style-type: none"> Desramado de arbustos. 		Tijeras, serrucho, carretilla.

Fuente: Autor

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El levantamiento topográfico realizado en la zona de la PTAR de Gamboa ha brindado información detallada y precisa sobre las características de las estructuras hidráulicas que conforma la unidad de tratamiento, así como del terreno. Esta información es de vital importancia para la planificación y la gestión efectiva de la planta, contribuyendo a la mejora de su rendimiento y eficiencia en el tratamiento de aguas residuales. Estos resultados confirman que la PTAR fue adecuadamente diseñada para manejar el flujo máximo observado.
- Los resultados obtenidos del cálculo revelan que el flujo máximo estimado en la red de saneamiento es de 2.54 litros por segundo, mientras que los datos recolectados en la entrada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Gamboa indican un flujo máximo de 2.85 litros por segundo. Aunque hay una pequeña diferencia entre ambas cifras, se atribuye principalmente a la variabilidad aleatoria generada por el uso de los aparatos sanitarios.
- Se observó una ligera infracción en el parámetro de nitrógeno amoniacal en el efluente, donde se excedió el límite máximo permitido por una unidad, esta discrepancia mínima no genera un impacto ambiental significativo, pero resalta la importancia de mejorar las prácticas de mantenimiento y operación para mantener una calidad óptima del agua tratada.
- Se analizó la relación entre la Demanda Química de Oxígeno y la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el afluente y el efluente de la planta. La DQO es un indicador de la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual, mientras que la DBO₅ representa la cantidad de oxígeno requerida para que los microorganismos biodegraden la materia orgánica.
- Los resultados mostraron una relación DQO/DBO₅ de 1.81 en el afluente, lo que indica la presencia de una fracción biodegradable considerable en las aguas residuales. Esto confirma la idoneidad del tratamiento biológico implementado en la PTAR de Gamboa, ya que se logra una degradación efectiva de la materia orgánica. Además, se observó un aumento en la relación DQO/DBO₅ en el

efluente, alcanzando un valor de 2.46. Este incremento evidencia la efectividad del tratamiento, ya que se logra una mayor depuración del agua y una reducción significativa de la fracción biodegradable.

- Las soluciones propuestas para los problemas encontrados en la planta de tratamiento de aguas residuales tendrán un costo aproximado de 7076,03 dólares americanos. Estas soluciones incluyen la implementación de una cubierta sobre el lecho de secado de lodos, la reposición de tapas y manillas y el recubrimiento de la tubería expuesta del bypass. Estas iniciativas contribuirán a la optimización y longevidad de la planta de tratamiento, garantizando su mantenimiento en condiciones óptimas a lo largo del tiempo.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda implementar un plan de mantenimiento regular y adecuado en la PTAR de Gamboa. Esto implica llevar a cabo inspecciones periódicas de las estructuras, así como la realización de labores de limpieza del entorno. Al fortalecer las prácticas de mantenimiento preventivo, se logrará minimizar las posibles fallas y averías, garantizando un funcionamiento óptimo de la planta y prolongando la vida útil de las estructuras depuradoras. Además, se recomienda establecer un sistema de registro y seguimiento de las actividades de mantenimiento en una bitácora, que permita tener un historial completo y actualizado de las intervenciones realizadas.
- Es fundamental brindar capacitaciones especializada al personal encargado de la operación y mantenimiento de la PTAR de Gamboa. Esta capacitación debe abarcar aspectos técnicos y prácticos relacionados con el funcionamiento de las estructuras, los procesos de tratamiento y las normativas ambientales vigentes. Asimismo, se deben promover buenas prácticas operativas, haciendo énfasis en la importancia de seguir los protocolos establecidos, mantener la limpieza y orden en las instalaciones, y cumplir con los estándares de seguridad y protección ambiental. Esta capacitación debe ser continua y actualizada, de modo que el personal esté al tanto de las últimas innovaciones y mejores prácticas en el campo de tratamiento de aguas residuales.
- Se sugiere la instalación de una cubierta en el lecho de secado de lodos. Esta mejora en la infraestructura facilitará una deshidratación más eficiente de los

lodos, lo cual a su vez tiene el potencial de aumentar la capacidad de tratamiento de la planta. Además, esta modificación contribuirá a optimizar los recursos y mejorar la eficiencia operativa de las instalaciones, mejorando su rendimiento y cumpliendo de manera más precisa con los estándares establecidos en la normativa actual.

- La adherencia a las directrices descritas en el manual de operación y mantenimiento es de suma importancia, ya que estas acciones representan un componente crucial para el funcionamiento óptimo de la PTAR. El seguimiento de estas pautas garantiza no solo la correcta ejecución de las tareas, sino también el cumplimiento de los estándares de operación y seguridad, elementos esenciales para la eficacia y la seguridad integral de la planta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] O. G. Gómez-Duarte y O. G. Gómez-Duarte, “Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública”, *Revista de la Facultad de Medicina*, vol. 66, núm. 1, pp. 7–8, ene. 2018, doi: 10.15446/REVFACMED.V66N1.70775.
- [2] M. V. Escudero, W. P. Leon, D. R. Manzano, F. E. Minga, y J. J. Alvarez, “Propuesta de instrumento para el monitoreo de efluentes aguas residuales en hospitales ecuatorianos, caso de estudio”, *Revista ESPACIOS*, vol. 41, núm. 17, pp. 4141–4166, may 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.08.061.
- [3] SEMARNAT y CONAGUA, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento - Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Zonas Rurales, Periurbanas y Desarrollos Ecoturísticos*, vol. 31. 2019. Consultado: el 25 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- [4] A. Taweesan, T. Kanabkaew, N. Surinkul, y C. Polprasert, “Convenient solutions to inconvenient truth: Domestic wastewater management-based approaches to sustainable development goal no. 6”, *Environmental and Sustainability Indicators*, vol. 18, p. 100255, jun. 2023, doi: 10.1016/J.INDIC.2023.100255.
- [5] G. Amy, N. Mahmoud, A. Martins, E. Morgenroth, y D. Brdjanovic, *Tratamiento biológico de aguas residuales Principios, modelación y diseño*. 2017. Consultado: el 24 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7535196>
- [6] Metcalf & Eddy., *Wastewater engineering : treatment, disposal, and reuse*, vol. 1. McGraw-Hill, 1991.
- [7] M. von Sperling, *Biological Wastewater Treatment - Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal*, vol. 1. 2007.
- [8] Unesco y Wwap, “WWDR4: Visión general de los mensajes más importantes”.
- [9] D. J. Rodriguez, H. A. Serrano, A. Delgado, D. Nolasco, y G. Saltiel, “De residuo a recurso Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes

- para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe”, 2020. [En línea]. Disponible en: www.worldbank.org/
- [10] Instituto Nacional de Estadística y Censos, “Resumen Estadístico Gestión de Agua Potable y Saneamiento de GAD Municipales”, 2022. Consultado: el 24 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://onx.la/49f73>
- [11] A. y T. E. Ministerio del Ambiente, *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes recurso agua*. Ecuador, 2015.
- [12] I. Flores, F. Mendoza, y J. Mendoza, “Evaluación de los pasivos ambientales puntuales sobre el recurso natural agua, de la subcuenca media del río Carrizal”, 2019. Consultado: el 25 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1219>
- [13] SEMARNAT y CONAGUA, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales Tratamiento y disposición de lodos*, vol. 32. 2019. Consultado: el 25 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- [14] B. Snehalatha *et al.*, “Performance Evaluation of Wastewater Treatment plant, Vidyaranyapuram, Mysuru”, *International Journal of Health and Allied Sciences*, vol. 11, núm. 2, mar. 2023, doi: 10.55691/2278-344X.1023.
- [15] R. ; Zhindón, D. ; Cartuche, P. ; España, y M. Maldonado, “Evaluación ambiental de aguas residuales: estero y manglar el macho de la ciudad de Machala”, *Conference Proceedings (Machala)*, vol. 2, núm. 1, p. 1, jul. 2018, Consultado: el 3 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://onx.la/a2568>
- [16] A. F. Arellano Zambrano, “Evaluación de funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales del cantón El Tambo”, *Universidad Católica de Cuenca*, 2021, Consultado: el 3 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/11862>
- [17] A. Guerrero Hidalgo, “Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Pilahuín, cantón Ambato”, 2014, Consultado: el 3 de mayo de

2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3499>
- [18] S. Shesareli Mendoza-Retana, M. Gabriela Cervantes-Vázquez, A. Alejandra Valenzuela-García, T. Lizzeth Guzmán-Silos, I. Orona-Castillo, y T. Juan Álvaro Cervantes-Vázquez, “Potential use of wastewater in agriculture”.
- [19] M. A. Adefisoye y A. I. Okoh, “Ecological and public health implications of the discharge of multidrug-resistant bacteria and physicochemical contaminants from treated wastewater effluents in the Eastern Cape, South Africa”, *Water (Switzerland)*, vol. 9, núm. 8, ago. 2017, doi: 10.3390/w9080562.
- [20] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo NTE INEN 2176:2013”, 2013.
- [21] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras NTE INEN 2169:2013”, 2013.
- [22] G.A.D Municipal del cantón San Pedro de Pelileo, *Adecuación del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial para el cantón San Pedro de Pelileo*. 2020.
- [23] Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S. A., “USD 875 mil invertidos en la I etapa del soterramiento de redes del centro de Pelileo”, 2022. <https://onx.la/a97ed> (consultado el 13 de junio de 2023).
- [24] INEC, “Información Censal - Tabulados Censales”. <https://onx.la/76ad4> (consultado el 22 de junio de 2023).
- [25] A. Torres-Degró, “Tasas de crecimiento poblacional (r): Una mirada desde el modelo matemático lineal, geométrico y exponencial”, *CIDE digital*, pp. 143–162, 2011, Consultado: el 25 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.upr.edu/index.php/cidedigital/article/view/11774>
- [26] M. Spiegel y L. Stephens, *Estadística Schaum*, 4a ed. México: McGraw Hill, 2009.

- [27] SEMARNAT y CONAGUA, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento - Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*, vol. 25. 2019. [En línea]. Disponible en: www.conagua.gob.mx
- [28] SEMARNAT y CONAGUA, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento - Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente*, vol. 29. 2019. [En línea]. Disponible en: www.conagua.gob.mx
- [29] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *Código de practica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*. Ecuador, 2010. doi: 10.07-610.
- [30] Empresas Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, *Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q*. Ecuador, 2009.
- [31] K. F. Depaz Celi, M. M. Huaman Carranza, J. A. Rosales Fajardo, y P. L. Gamarra Tahua, “Nitrógeno amoniacal en aguas residuales domesticas utilizando sedimentador primario con diferentes condiciones hidráulicas, marcara 2019”, *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 5, núm. 4, pp. 4296–4310, jul. 2021, doi: 10.37811/cl_rcm.v5i4.621.
- [32] W. F. Amaya, Ó. A. Cañón, y Ó. F. Avilés, “Control de pH para planta de tratamiento de aguas residuales”, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 14, pp. 86–95, nov. 2004, doi: 10.18359/RCIN.1271.
- [33] M. F. Chacón Aranda y A. F. Pozo Zavala, “Remoción de fosfatos en aguas residuales de lavandería utilizando filtros de zeolita clinoptilolita, 2020”, FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL, LIMA, 2020.
- [34] G. L. Cárdenas Calvachi y I. A. Sánchez Ortiz, “Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública”, 2012, Consultado: el 23 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://onx.la/93792>

- [35] A. y T. E. Ministerio del Ambiente, “Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua”, 2015.

ANEXOS

ANEXO N° 1: FOTOGRAFÍAS



*Figura 45. Falta de mantenimiento en el tanque hipo clorador.
Fuente: Autor*



*Figura 46. Ausencia en el mantenimiento del lecho de secado de lodos.
Fuente: Autor*



*Figura 47. Deterioro en las tapas de hormigón armado de las cajas de válvulas y cajas de revisión.
Fuente: Autor*



*Figura 48. Dimensionamiento de la unidad FFAF con distanciómetro laser.
Fuente: Autor*



*Figura 49. Medición de caudales mediante el método volumétrico en la caja de revisión de ingreso de agua residual.
Fuente: Autor*



*Figura 50. Medición de caudales mediante el método volumétrico en la caja de revisión de salida de agua tratada.
Fuente: Autor*



*Figura 51. Recolección de alícuota para muestras compuestas en la caja de ingreso de agua residual de la PTAR.
Fuente: Autor*



*Figura 52. Recolección de alícuota para muestras compuestas en la caja de salida de agua tratada de la PTAR.
Fuente: Autor*



*Figura 53. Conservación de muestra compuesta.
Fuente: Autor*



*Figura 54. Descarga de aguas tratadas al cauce del Río Patate.
Fuente: Autor*



*Figura 55. Vista frontal del tanque séptico se denota la maleza a su alrededor.
Fuente: Autor*



*Figura 56. Vista lateral del filtro biológico se denota la maleza a su alrededor.
Fuente: Autor*



*Figura 57. Vista lateral del filtro descendente.
Fuente: Autor*



*Figura 58. Vista lateral del lecho de secado de lodos se denota la maleza a su alrededor.
Fuente: Autor*

ANEXO N° 2: FORMATO DE LA ENCUESTA

ENCUESTA

Proyecto: “Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad Gamboa perteneciente al cantón Pelileo, provincia de Tungurahua”

Encuestador: Oscar David Galarza Lalama.

hab: ()

Marque con una X dentro de () la respuesta que usted considere correcta.

1. ¿Cuenta usted con alguno de estos servicios en su domicilio?

() Agua Potable

() Alcantarillado

() Luz eléctrica

2. ¿Cuenta con alguno de estos aparatos sanitarios dentro de su vivienda?

() Ducha

() Inodoro

() Lavabo

() Lavandería

3. ¿Cómo evacua las aguas residuales en su domicilio?

() Pozo séptico

() Intemperie

() Red de alcantarillado

() Ninguno

4. ¿Conoce de la existencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Gamboa?

() SI

() NO

5. ¿Conoce para que sirve la planta de tratamiento de aguas residuales?

() SI

() NO

6. ¿Cree usted que la planta de tratamiento trae beneficios a la comunidad?

() SI

() NO

**ANEXO N° 3: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL DE LA
PTAR GAMBOA**

17025-RG-CC-71-11

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE		DATOS GENERALES	
CLIENTE:	OSCAR GALARZA LALAMA	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	23060577
DIRECCIÓN:	TUNGURAHUA/AMBATO/LAMERCED/ARGENTINA 0264 Y CHILE	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO:	2023-06-12: 14h01min
PERSONA DE CONTACTO:	OSCAR GALARZA LALAMA	FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS:	2023-06-12
TELÉFONO DE CONTACTO:	0983953339	FECHA DE FIN DE ANÁLISIS:	2023-06-19
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:	PTAR GAMBOA	FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:	2023-06-19
LUGAR DONDE SE TOMÓ LA MUESTRA:	INGRESO DE LA PLANTA, CAJA DE REVISION	CONDICIONES AMBIENTALES:	
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	2023-06-12; Toma de muestra de 8 horas		Humedad (%): 51
TIPO DE TOMA DE MUESTRA: (Puntual/compuesta)	COMPUESTA		Temperatura (°C): 20.6
TIPO DE MUESTRA (MATRIZ):	AGUA RESIDUAL		
RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	OSCAR GALARZA LALAMA		

ANÁLISIS REALIZADOS

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO	Norma de referencia: TABLA B. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO, TULSMA. LIBRO VI. ANEXO 1 (2015)**	RESULTADOS
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)	mg/L	Standard Methods-5210-D	250,0	127
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/L	HACH 8000	500,0	230
FOSFATO	mg/L	HACH-8048	-	7,13
NITRÓGENO AMONICAL*	mg/L	HACH-8038	-	22,25
pH	U pH	Standard Methods-4500H+B	6 - 9	7,97
SOLID.TOT.SUSPENDIDOS *	mg/L	HACH 8006	220,0	207
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	Standard Methods-2540-B	1 600,0	882
SULFATO *	mg/L	HACH-8051	400,0	76
TURBIDEZ	NTU	Standard Methods-2130-B	-	143

* Ensayos fuera del alcance de acreditación del SAE.

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

PARÁMETRO ACREDITADO	RANGO DE ACREDITACIÓN	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA DEL MÉTODO	MÉTODO DE ENSAYO UTILIZADO
Demanda Bioquímica de oxígeno DBO ₅	(52 a 1535) mg/L	12%	17025-PR-CC-27-XX; Método de referencia: Standard Methods Ed. 23. 2017 5210 D.
DQO	(55 a 16 330) mg/L	12%	17025-PR-CC-28-XX; Método de referencia: HACH 8000
Fosfato	(0,36 a 40,89) mg/L	15%	17025-PR-CC-41-XX; Método de referencia: HACH 8048
pH	(4,22 a 12,44) U pH	3%	17025-PR-CC-20-XX; Método de referencia: Standard Methods Ed. 23. 2017 4500 H+B.
Sólidos Totales	(102 a 3 528) mg/L	9%	17025-PR-CC-49-XX; Método de referencia: Standard Methods Ed. 23. 2017 2540 B
Turbidez	(0,51 a 321) NTU	10%	17025-PR-CC-21-XX; Método de referencia: Standard Methods Ed. 23. 2017 2130 B.

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA QUE SE HA SOMETIDO A ENSAYO, EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA EP-EMAPA-A NO SE RESPONSABILIZA DEL ORIGEN DE LA MUESTRA, TRANSPORTACIÓN DE LA MISMA Y VERACIDAD DE LOS DATOS DADOS POR EL CLIENTE, POR LO TANTO LOS RESULTADOS SE APLICAN A LA MUESTRA COMO SE RECIBIÓ.

NO SE PERMITE A LOS USUARIOS EL USO DEL LOGOTIPO DEL SAE NI DE LA CONDICION DE ACREDITADO (CR GA 04)

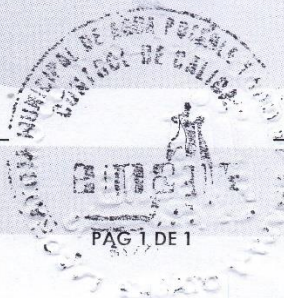
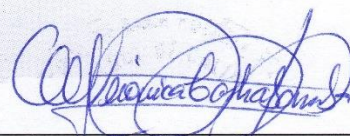
NO SE DEBE REPRODUCIR EL INFORME DE ENSAYO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD, SIN LA APROBACION ESCRITA DEL LABORATORIO.

OBSERVACIONES: NINGUNA

PROFESIONALES RESPONSABLES:



Ing. Paúl O. Veintimilla P.
ANALISTA DE LABORATORIO

Ing. Verónica S. Cashabamba P.
RESPONSABLE TÉCNICO

PAG 1 DE 1



17025-RG-CC-71-11

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE		DATOS GENERALES	
CLIENTE:	OSCAR GALARZA LALAMA	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	23060578
DIRECCIÓN:	TUNGURAHUA/AMBATO/LAMERCED/ARGENTINA 0264 Y CHILE	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO:	2023-06-12: 14h01 min
PERSONA DE CONTACTO	OSCAR GALARZA LALAMA	FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS:	2023-06-12
TELÉFONO DE CONTACTO:	0983953339	FECHA DE FIN DE ANÁLISIS:	2023-06-19
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:	PTAR GAMBOA	FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:	2023-06-19
LUGAR DONDE SE TOMÓ LA MUESTRA:	SALDA DE LA PLANTA, CAJA DE REVISION	CONDICIONES AMBIENTALES:	
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	2023-06-12; Toma de muestra 8 horas		Humedad (%): 51
TIPO DE TOMA DE MUESTRA:	COMPUESTA		Temperatura (°C): 20,6
(Puntual/compuesta)			
TIPO DE MUESTRA (MATRIZ):	AGUA RESIDUAL		
RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	OSCAR GALARZA LALAMA		

ANÁLISIS REALIZADOS

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO	Norma de referencia: TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE. TULSMA. LIBRO VI. ANEXO 1 (2015)**	RESULTADOS
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)	mg/L	Standard Methods-5210-D	100	67
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/L	HACH 8000	200	165
FOSFATO	mg/L	HACH-8048	-	12,38
NITRÓGENO AMONIAICAL*	mg/L	HACH-8038	30,0	31,00
pH	U pH	Standard Methods-4500H+B	6 - 9	7,91
SOLID.TOT.SUSPENDIDOS *	mg/L	HACH 8006	130	120
SOLIDOS TOTALES	mg/L	Standard Methods-2540-B	1 600	775
SULFATO *	mg/L	HACH-8051	1000	48
TURBIDEZ	NTU	Standard Methods-2130-B	-	95,8

* Ensayos fuera del alcance de acreditación del SAE.

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

PARÁMETRO ACREDITADO	RANGO DE ACREDITACIÓN	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA DEL MÉTODO	MÉTODO DE ENSAYO UTILIZADO
Demanda Bioquímica de oxígeno DBO ₅	(52 a 1535) mg/L	12%	17025-PR-CC-27-XX; Método de referencia: Standard Methods Ed. 23. 2017 5210 D.
DQO	(55 a 16 330) mg/L	12%	17025-PR-CC-28-XX; Método de referencia: HACH 8000
Fosfato	(0,36 a 40,89) mg/L	15%	17025-PR-CC-41-XX; Método de referencia: HACH 8048
pH	(4,22 a 12,44) UpH	3%	17025-PR-CC-20-XX; Método de referencia: Standard Methods Ed. 23. 2017 4500 H+B.
Sólidos Totales	(102 a 3 528) mg/L	9%	17025-PR-CC-49-XX; Método de referencia: Standard Methods Ed. 23. 2017 2540 B
Turbidez	(0,51 a 321) NTU	10%	17025-PR-CC-21-XX; Método de referencia: Standard Methods Ed. 23. 2017 2130 B.

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA QUE SE HA SOMETIDO A ENSAYO, EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA EP-EMAPA-A NO SE RESPONSABILIZA DEL ORIGEN DE LA MUESTRA, TRANSPORTACIÓN DE LA MISMA Y VERACIDAD DE LOS DATOS DADOS POR EL CLIENTE, POR LO TANTO LOS RESULTADOS SE APLICAN A LA MUESTRA COMO SE RECIBIÓ.

NO SE PERMITE A LOS USUARIOS EL USO DEL LOGOTIPO DEL SAE NI DE LA CONDICIÓN DE ACREDITADO (CR GA 04)

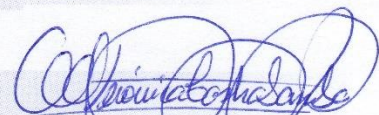
NO SE DEBE REPRODUCIR EL INFORME DE ENSAYO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD, SIN LA APROBACION ESCRITA DEL LABORATORIO.

OBSERVACIONES: NINGUNA

PROFESIONALES RESPONSABLES:



Ing. Paúl O. Veintimilla P.
ANALISTA DE LABORATORIO



Ing. Verónica S. Cashabamba P.
RESPONSABLE TÉCNICO

PAG 1 DE 1

Laboratorio de Control de Calidad, EP-EMAPA-A,
Hermenegildo Noboa y Manuelita Sáenz - Ambato
Telf.: 032 585 991 - Ext. 101
E-mail: labcalidad@emapa.gob.ec

ANEXO N° 4: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES Y PRECIOS					
RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	TOTAL
SUBTOTAL PROPUESTA DE MEJORA CUBIERTA SOBRE EL LECHO DE SECADO DE LODOS					
1	REPLANTEO Y NIVELACIÓN	M2	40.93	4.68	191.64
2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA, ACERO A36	KG	784.69	6.66	5223.96
3	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PLANCHA TRASLUCIDA ONDULADA	M2	54.56	16.74	913.57
4	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CANALONES DE PVC	M	9	27.09	243.85
5	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BAJANTE DE AGUA LLUVIA DE PVC	M	7.6	22.19	168.61
SUBTOTAL USD					6741.63
SUBTOTAL PROPUESTA DE MEJORA REPOSICIÓN DE TAPAS Y MANILLAS					
9	SUMINISTRO Y REPOSICIÓN DE TAPAS DE CAJA DE REVISIÓN DE H.A. 0.7X0.7 M	U	3	31.10	93.29
10	REPOSICIÓN DE TIRADERAS EN TAPAS DE H.A. EXISTENTES	U	5	4.25	21.23
SUBTOTAL					114.52
SUBTOTAL PROPUESTA DE MEJORA BYPASS					
11	PROTECCIÓN PARA TUBERÍA DE BYPASS (CANALÓN GALVANIZADO)	M	6.5	33.83	219.88
SUBTOTAL USD					219.88
TOTAL USD					7076.03

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: REPLANTEO Y NIVELACIÓN				RUBRO N° 1	
DETALLE				UNIDAD : M2	
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	C. HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5% Mano de obra)					0.13
MANO DE OBRA SUBTOTAL M					0.13
DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD (A)	JORNAL (B)	C. HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	1.00	4.55	4.55	0.2000	0.91
Peón	2.00	4.05	8.10	0.2000	1.62
MATERIALES SUBTOTAL N					2.53
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD (A)	UNITARIO (B)	COSTO C=A*B	
Pingos de eucalipto	m	0.970	1.110	1.08	
Tiras de eucalipto	m	0.250	0.450	0.11	
Calvos 2 in	lb	0.025	2.100	0.05	
TRANSPORTE SUBTOTAL O					1.24
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO C=A*B	
				0.00	
SUBTOTAL P					0.00
TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)					3.90
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					0.78
OTROS ESPECIFICOS %					0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					4.68

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA, ACERO A36				RUBRO N° 2	
DETALLE					UNIDAD : KG
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	C. HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Amoladora	1.00	1.17	1.17	0.1100	0.13
Taladro	1.00	3.13	3.13	0.1100	0.34
Soldadora eléctrica	1.00	2.23	2.23	0.1100	0.25
Herramienta menor (5% Mano de obra)					0.07
MANO DE OBRA					SUBTOTAL M 0.79
DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD (A)	JORNAL (B)	C. HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Perfilero (En Construcción)	1.00	4.33	4.33	0.1100	0.48
Peón	2.00	4.05	8.10	0.1100	0.89
MATERIALES					SUBTOTAL N 1.37
DESCRIPCION	UNIDAD D	CANTIDAD (A)	UNITARIO (B)	COSTO C=A*B	
Perfil estructural A36	kg	1.000	1.650	1.65	
Disco de corte metal	u	0.100	3.420	0.34	
Electrodo 6011	kg	0.100	3.260	0.33	
Thinner	gl	0.010	15.120	0.15	
Pintura anticorrosiva	gl	0.050	18.460	0.92	
TRANSPORTE					SUBTOTAL O 3.39
DESCRIPCION	UNIDAD D	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO C=A*B	
				0.00	
SUBTOTAL P 0.00					
TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)					5.55
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					1.11
OTROS ESPECIFICOS %					0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					6.66

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
RUBRO: SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PLANCHA TRASLUCIDA ONDULADA				RUBRO N° 3		
DETALLE				UNIDAD : M2		
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	C. HORA C=A*B	RENDIMIE NTO R	COSTO D=C*R	
Andamio metálico Herramienta menor (5% Mano de obra)	3.00	0.15	0.45	0.1434	0.06 0.09	
MANO DE OBRA				SUBTOTAL M		0.15
DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD (A)	JORNAL (B)	C. HORA C=A*B	RENDIMIE NTO R	COSTO D=C*R	
Albañil	1.00	4.10	4.10	0.1434	0.59	
Peón	2.00	4.05	8.10	0.1434	1.16	
MATERIALES				SUBTOTAL N		1.75
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDA D (A)	UNITARIO (B)	COSTO C=A*B		
Plancha traslucida ondulada	m2	1.000	11.420	11.42		
Perno autopercorante 2"	u	7.000	0.090	0.63		
TRANSPORTE				SUBTOTAL O		12.05
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDA D (A)	TARIFA (B)	COSTO C=A*B		
				0.00		
SUBTOTAL P				SUBTOTAL		0.00
TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)					13.95	
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					2.79	
OTROS ESPECIFICOS %					0.00	
COSTO TOTAL DEL RUBRO					16.74	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CANALONES DE PVC				RUBRO N° 4	
DETALLE					UNID AD : M
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	C. HORA C=A*B	RENDIMIE NTO R	COST O D=C*R
Andamio metálico	2.00	0.15	0.30	0.4400	0.13
Herramienta menor (5% Mano de obra)					0.18
MANO DE OBRA				SUBTOTAL M	
					0.31
DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD (A)	JORNAL (B)	C. HORA C=A*B	RENDIMIE NTO R	COST O D=C*R
Albañil	1.00	4.10	4.10	0.4400	1.80
Peón	1.00	4.05	4.05	0.4400	1.78
MATERIALES				SUBTOTAL N	
					3.59
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDA D (A)	UNITARIO (B)	COST O C=A*B	
Canalón PVC	m	1.100	6.700	7.37	
Soporte metálico para canalón	u	1.000	4.520	4.52	
Tapa de extremos para canalón PVC	u	0.220	1.500	0.33	
Unión de canalón de PVC	u	0.220	5.380	1.18	
Unión de canalón a bajante	u	0.220	6.850	1.51	
Silicona transparente	u	1.000	3.77	3.77	
TRANSPORTE				SUBTOTAL O	
					18.68
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDA D (A)	TARIFA (B)	COST O C=A*B	
				0.00	
SUBTOT AL P					0.00
TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)					22.58
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					4.52
OTROS ESPECIFICOS %					0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					27.09

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BAJANTE DE AGUA LLUVIA DE PVC				RUBRO N° 5	
DETALLE					UNIDAD : M
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	C. HORA C=A*B	RENDIMIE NTO R	COSTO D=C*R
Andamio metálico	2.00	0.15	0.30	0.5300	0.16
Herramienta menor (5% Mano de obra)					0.22
MANO DE OBRA					SUBTOTAL M
					0.38
DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD (A)	JORNAL (B)	C. HORA C=A*B	RENDIMIE NTO R	COSTO D=C*R
Albañil	1.00	4.10	4.10	0.5300	2.17
Peón	1.00	4.05	4.05	0.5300	2.15
MATERIALES					SUBTOTAL N
					4.32
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDA D (A)	UNITARIO (B)	COSTO C=A*B	
Bajante PVC para canal	m	1.100	4.660	5.13	
Unión de bajante PVC	u	0.530	2.050	1.09	
Codo 45 grados bajante PVC	u	0.530	3.170	1.68	
Codo 90 grados bajante PVC	u	0.260	3.950	1.03	
Soporte de bajante con tornillos PVC	u	1.000	1.100	1.10	
Silicona transparente	u	1.000	3.77	3.77	
TRANSPORTE					SUBTOTAL O
					13.79
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDA D (A)	TARIFA (B)	COSTO C=A*B	
				0.00	
SUBTOTAL P					0.00
TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)					18.49
INDIRECTOS Y UTILIDADES					20.00%
OTROS ESPECIFICOS					%
COSTO TOTAL DEL RUBRO					22.19

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: SUMINISTRO Y REPOSICIÓN DE TAPAS DE CAJA DE REVISIÓN DE H.A. 0.7X0.7 M				RUBRO N° 6	
DETALLE					UNIDA D : U
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDA D (A)	TARIFA (B)	C. HORA C=A*B	RENDIMIE NTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5% Mano de obra)				1.5000	0.61
MANO DE OBRA					SUBTOTAL M
					0.61
DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDA D (A)	JORNAL (B)	C. HORA C=A*B	RENDIMIE NTO R	COSTO D=C*R
Albañil	1.00	4.10	4.10	1.5000	6.15
Peón	1.00	4.05	4.05	1.5000	6.08
MATERIALES					SUBTOTAL N
					12.23
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTID AD (A)	UNITARIO (B)	COSTO C=A*B	
Riel de eucalipto	u	1.000	1.680	1.68	
Calvos 2 in	lb	0.250	2.100	0.53	
Acero de refuerzo	kg	6.290	1.130	7.11	
Alambre galvanizado #18	kg	0.250	2.360	0.59	
Polietileno ancho de 1.5 m Negro	m	1.000	0.710	0.71	
Ripio	m3	0.031	13.750	0.42	
Arena	m3	0.018	8.770	0.16	
Cemento	saco	0.220	8.560	1.88	
Agua	l	5.831	0.001	0.01	
TRANSPORTE					SUBTOTAL O
					13.08
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTID AD (A)	TARIFA (B)	COSTO C=A*B	
				0.00	
SUBTOT AL P					0.00
TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)					25.91
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					5.18
OTROS ESPECIFICOS %					0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					31.10

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
RUBRO: REPOSICIÓN DE TIRADERAS EN TAPAS DE H.A. EXISTENTES				RUBRO N° 7		
DETALLE					UNIDA D : U	
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDA D (A)	TARIF A (B)	C. HORA C=A*B	RENDIMIE NTO R	COSTO D=C*R	
Herramienta menor (5% Mano de obra)					0.15	
MANO DE OBRA					SUBTOTAL M	0.15
DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDA D (A)	JORNA L (B)	C. HORA C=A*B	RENDIMIE NTO R	COSTO D=C*R	
Peón	1.00	4.05	4.05	0.7500	3.04	
MATERIALES					SUBTOTAL N	3.04
DESCRIPCIÓN	UNIDA D	CANTID AD (A)	UNITARIO (B)	COSTO C=A*B		
Acero de refuerzo	kg	0.310	1.130	0.35		
TRANSPORTE					SUBTOTAL O	0.35
DESCRIPCIÓN	UNIDA D	CANTID AD (A)	TARIFA (B)	COSTO C=A*B		
				0.00		
SUBTOT AL P					0.00	
TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)					3.54	
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					0.71	
OTROS ESPECIFICOS %					0.00	
COSTO TOTAL DEL RUBRO					4.25	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: PROTECCIÓN PARA TUBERÍA DE BYPASS (CANALÓN GALVANIZADO)				RUBRO N° 8	
DETALLE					UNIDAD : M
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	C. HORA C=A*B	RENDIMIE NTO R	COSTO D=C*R
Taladro manual eléctrico Herramienta menor (5% Mano de obra)	1.00	1.10	1.10	1.2300	1.35 0.52
MANO DE OBRA					SUBTOTAL M
					0.52
DESCRIPCIÓN (CATEG.)	CANTIDAD (A)	JORNAL (B)	C. HORA C=A*B	RENDIMIE NTO R	COSTO D=C*R
Perfilero (En Construcción)	1.00	4.33	4.33	1.2300	5.33
Peón	1.00	4.05	4.05	1.2300	4.98
MATERIALES					SUBTOTAL N
					10.31
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDA D (A)	UNITARIO (B)	COSTO C=A*B	
Plancha galvanizada 0.76x1220x3000	u	0.667	25.460	16.98	
Tacos Fisher 10 mm	u	2.000	0.100	0.20	
Tornillos 3x10	u	2.000	0.090	0.18	
TRANSPORTE					SUBTOTAL O
					17.36
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDA D (A)	TARIFA (B)	COSTO C=A*B	
				0.00	
SUBTOTA L P					0.00
TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)					28.19
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					5.64
OTROS ESPECIFICOS %					0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					33.83

ANEXO N° 5: CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA

DISEÑO DE LA CUBIERTA

Datos para diseño

Pórtico más crítico

Luz	5 m
Altura	2.3 m

Carga distribuida

CM	6.3 kg/m
	6
CV	50 kg/m

Columna

Pu	301.9 kg
	5
Mx	648.8 kg.cm
	2
My	-99 kg.cm

Viga

M max	228 kg.cm
	.8
V max	262 kg
	.24

E 2100000 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

Fy 2530 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

Columna crítica

Designaciones	Área	Peso	Propiedades Estáticas			
			Eje x-x = y-y			
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
100	1.80	6.99	5.48	111.62	22.32	4.00
	2.00	7.74	6.07	123.01	24.60	3.99
	2.50	9.59	7.53	150.65	30.13	3.96
	3.00	11.41	8.96	177.08	35.42	3.94
	4.00	14.95	11.73	226.46	45.29	3.89
	5.00	18.36	14.41	271.36	54.27	3.84
	6.00	21.63	16.98	312.00	62.40	3.80

Datos del perfil

Base	100 mm
Espesor	4 mm
Área	14.95 cm ²
Peso	11.73 kg/m
M. Inercia	226.46 cm ⁴
Md. Resistencia	45.29 cm ³
Radio de giro	3.89 cm
b = h	88 mm

Chequeo esbeltez

b/t	22
1.4*(E/Fy) ^{0.5}	40.33

22 < 40.33

Sección no esbelta

Resistencia de diseño					
K	1		$4.71*(E/Fy)^{0.5}$	135.7	
L	230 cm				
r	3.89 cm		$KL/r < 4.71*(E/Fy)^{0.5}$		
KL/r	59.13		$59.13 < 135.7$		
Pandeo por flexión					
$F_{cr} = (0.658^{(Fy/Fe)}) * Fy$			$Fe = (Pi^2 * E) / ((KL/r)^2)$		
Fcr	2116.12	kg/cm ²	Fe	5927.93	kg/cm ²
Resistencia de compresión nominal					
$\phi P_n = 0.9 * F_{cr} * A_g$			$\phi P_n > P_u$		
ϕP_n	28472.39	kg	$28472.39 > 301.95$		
Viga crítica					
Chequeo esbeltez			Chequeo del ala		
b/t	22	$22 < 40.33$	b/t	22	$22 < 32.27$
$1.4*(E/Fy)^{0.5}$	40.33	Sección no esbelta	$1.12*(E/Fy)^{0.5}$	32.27	Ala compacta
			$1.4*(E/Fy)^{0.5}$	40.33	$22 < 40.33$
					Ala no esbelta
Chequeo del alma					
h/t	22	$22 < 69.72$			
$2.42*(E/Fy)^{0.5}$	69.72	Alma compacta			
$5.7*(E/Fy)^{0.5}$	164.22	$22 < 164.22$			
					Alma no esbelta

Resistencia de diseño

Fluencia

Z	37.375	cm ³	
Mp	94558.75	kg.cm	

Pandeo local de ala

Según la AISC 360-16, Capítulo F, apartado F7.2: *Para secciones compactas, no aplica el estado límite de pandeo local del ala.*

Pandeo local de alma

Según la AISC 360-16, Capítulo F, apartado F7.3: *Para secciones compactas, no aplica el estado límite de pandeo local del alma.*

Pandeo Lateral-Torsional

Longitud plástica (Lp)	816.89	cm	
Longitud entre puntos (Lb)	500	cm	500 < 816.89
Longitud pandeo L-T (Lr)	14816.06	cm	Lb < Lp

Según la AISC 360-16, Capítulo F, apartado F7.4: *Cuando $Lb \leq Lp$, el estado límite de pandeo lateral-torsional no aplica.*

Chequeo a corte

Aw	7.04	cm	
kv	5		

Coefficiente de resistencia al corte

h/t	22		22 < 70.86
$1.1*(kv*E/Fy)^{0.5}$	70.86		Cv2 = 1

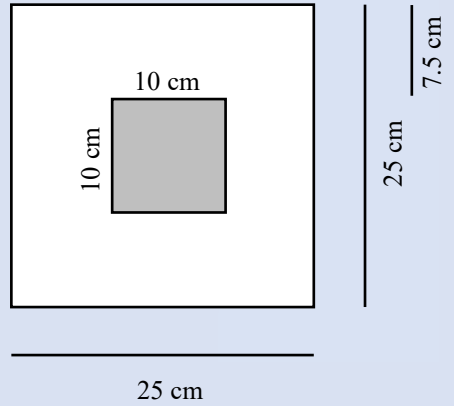
Resistencia nominal a corte

V_n	10686.72	kg	$V_n > V_{max}$
ϕV_n	8015.04	kg	$8015.04 > 262.24$

Placa de cimentación

Datos

b	25	cm
a	25	cm



Diseño por momentos

e	2.15	cm
e crit	12.38	cm

T	0
Y	20.7 cm

fp max	99.45	kg/cm ²
fp	0.58	kg/cm ²

$fp < fp_{max}$
 $0.58 < 99.45$

m	7.75	cm
m asumido	7.5	cm

Espesor		
tp	0.17	cm
tp asumido	3	mm

Resistencia a flexión placa

ϕM_p	5123.25	kg.c/m
------------	---------	--------

ANEXO N° 6: PLANOS