



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

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

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DEL SECTOR PLAYA GRANDE EL ARTESÓN DE LA
PARROQUIA PÍLLARO, PERTENECIENTE AL CANTÓN SANTIAGO DE
PÍLLARO, DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

AUTORA: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

TUTOR: Ing. Fabián Rodrigo Morales Fiallos, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Agosto - 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR.

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, con el tema: **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR PLAYA GRANDE EL ARTESÓN DE LA PARROQUIA PÍLLARO, PERTENECIENTE AL CANTÓN SANTIAGO DE PÍLLARO, DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**. elaborado por la Srta. Josselin Madelaine Chicaiza Oña, portadora de la cédula de ciudadanía C.I. 1208571206, 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 autora.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, agosto 2023



Ing. Fabián Rodrigo Morales Fiallos, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Josselin Madelaine Chicaiza Oña, con C.I. 1208571206 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 DEL SECTOR PLAYA GRANDE EL ARTESÓN DE LA PARROQUIA PÍLLARO, PERTENECIENTE AL CANTÓN SANTIAGO DE PÍLLARO, DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, así como también los análisis estadísticos, ideas, criterios, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, agosto 2023



Josselin Madelaine Chicaiza Oña

C.I. 1208571206

AUTORA

DERECHOS DE AUTORA

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 proceso 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, agosto 2023



Josselin Madelaine Chicaiza Oña

C.I. 1208571206

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

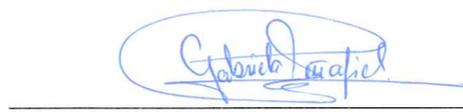
Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe de Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Josselin Madelaine Chicaiza Oña de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR PLAYA GRANDE EL ARTESÓN DE LA PARROQUIA PÍLLARO, PERTENECIENTE AL CANTÓN SANTIAGO DE PÍLLARO, DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**.

Ambato, agosto 2023

Para constancia firman:



Ing. Mayra Alexandra Viscaíno Cuzco, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mis padres Marlene y Wilber, quienes han sido un ejemplo y un gran apoyo para mi vida, para superarme y seguir adelante en cumplir esta meta.

A mis hermanos, Nasly, Angeli e Ignacio, por brindarme su tiempo y un hombro para descansar, espero les sirva de ejemplo de que todo se puede lograr.

A mi familia, quienes han confiado en mi en todo este proceso de estudio

AGRADECIMIENTO

Primeramente, quiero agradecer a Dios quien me ha dado salud y vida para culminar mi formación académica.

A mis padres Marlene y Wilber, quienes han creído siempre en mí, apoyándome en mis estudios, siendo un ejemplo de perseverancia y enseñándome a valorar todo lo que tengo.

A mis hermanas Nasly y Angeli, quienes han depositado confianza en mí, acompañándome en días de estudio y dándome ánimo.

A mi abuelo Ignacio que desde el cielo ha derramado bendiciones, siendo un ejemplo de superación y motivación.

A mi familia, quiénes dieron sentido a la frase de mantenernos unidos, apoyándonos unos a otros.

A mis amigos Carolina, Estefanía, Marcelo, Pablo quienes me han acompañado en toda la carrera universitaria compartiéndome su conocimiento, buenos momentos y una gran amistad.

Finalmente, a todas las personas que me han acompañado en este largo proceso, aconsejándome para seguir adelante.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTORA	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivos.....	6
1.2.1. Objetivo General	6
1.2.2. Objetivos Específicos	6
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.....	7
2.1. Materiales y Equipos.....	7
2.2. Métodos	11
2.2.1. Etapa I: Levantamiento de información de la PTAR.....	11
2.2.2. Etapa II: Investigación de campo.....	12
2.2.3. Etapa III. Investigación de laboratorio	16
2.2.4. Etapa IV: Análisis y verificación de funcionamiento de la PTAR	18
2.2.5. Etapa V: Verificación y mejoramiento de la PTAR	21
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
3.1. Análisis y discusión de resultados	23

3.1.1.	Etapa I: Levantamiento de la información de la PTAR.....	23
3.1.2.	Etapa II: Investigación de campo	25
3.1.3.	Etapa III: Investigación de laboratorio.....	50
3.1.4.	Etapa IV: Análisis y verificación de funcionamiento de la PTAR	54
3.1.5.	Etapa V: Verificación y mejoramiento de la PTAR	68
3.1.6.	Implementación de macrófitas flotantes en los filtros anaeróbicos de flujo ascendente.	69
3.1.7.	Implementación de cubierta metálica en los dos lechos de secado de lodos. 73	
3.1.8.	Plan de Operación y mantenimiento	79
3.2.	Planteamiento y Verificación de hipótesis.....	89
CAPÍTULO III.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		92
4.1.	Conclusiones.....	92
4.2.	Recomendaciones.....	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		95
ANEXOS		99
ANEXO 1 RESULTADOS DE LABORATORIO		100
ANEXO 2 PLANOS		103
ANEXO 3 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS		104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipos y materiales para el cumplimiento del objetivo 1	7
Tabla 2. Equipos y materiales para el cumplimiento del objetivo 2	8
Tabla 3. Parámetros analizados en la muestra de agua residual de la PTAR.....	17
Tabla 4. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	19
Tabla 5. Dimensiones del tanque repartido de caudales	27
Tabla 6. Dimensiones de Lecho de secado de lodos	34
Tabla 7. Resumen medición de caudales semana 1	38
Tabla 8. Resumen medición de caudales semana 2	38
Tabla 9. Resumen medición de caudales semana 3	38
Tabla 10. Resumen medición de caudales semana 4	39
Tabla 11. Resumen medición de caudales semana 5	39
Tabla 12. Resumen de medición de caudales de entrada	39
Tabla 13. Resumen de estadística descriptiva del caudal de ingreso	40
Tabla 14. Resumen medición de caudales semana 1	41
Tabla 15. Resumen medición de caudales semana 2	42
Tabla 16. Resumen medición de caudales semana 3	42
Tabla 17. Resumen medición de caudales semana 4	42
Tabla 18. Resumen medición de caudales semana 5	42
Tabla 19. Resumen de medición de caudales de salida	43
Tabla 20. Resumen de estadística descriptiva del caudal de salida	44
Tabla 21. Volumen proporcional para la recolección del muestreo compuesto del afluente.....	47
Tabla 22. Volumen proporcional para la recolección del muestreo compuesto del efluente.....	47
Tabla 23. Comparación de resultados de la muestra de entrada	50
Tabla 24. Comparación de resultados de la muestra de salida.....	52
Tabla 25. Porcentaje de eficiencia del tratamiento de la PTAR.....	54
Tabla 26. Parámetros para la utilización de rejillas en cribado.....	57
Tabla 27. Verificación de cumplimiento rejillas de cribado	58
Tabla 28. Parámetros de diseño para desarenadores horizontales	59
Tabla 29. Verificación de parámetros de diseño desarenador.....	60
Tabla 30. Datos para el cálculo del TRH del reactor UASB.....	61

Tabla 31. Tiempo de residencia hidráulica recomendados para un reactor UASB...	61
Tabla 32. Datos para el diagnóstico del filtro biológico de flujo ascendente	62
Tabla 33. Comparación de los parámetros reales de la PTAR con los parámetros de diseño recomendados por la normativa CONAGUA.....	64
Tabla 34. Datos utilizados para el diagnóstico del lecho de lodos.....	65
Tabla 35. Tiempo requerido para la digestión de lodos	66
Tabla 36. Datos para el diagnóstico del filtro biológico de flujo ascendente	71
Tabla 37. Comparación de los parámetros reales de la PTAR con los parámetros de diseño recomendados por la normativa CONAGUA.....	73
Tabla 38. Estrés crítico disponible para miembros de compresión.....	76
Tabla 39. Resumen plan de operación y mantenimiento de la limpieza general de la PTAR	81
Tabla 40. Resumen planta de operación y mantenimiento tanque repartidor de caudales.....	81
Tabla 41. Resumen plan de operación y mantenimiento rejillas de cribado y desarenador	82
Tabla 42. Resumen plan de operación y mantenimiento del Reactor UASB	83
Tabla 43. Resumen plan de operación y mantenimiento lecho de secado de lodos..	84
Tabla 44. Resumen plan de operación y mantenimiento filtro anaerobio de flujo ascendente	85
Tabla 45. Resumen plan de operación y mantenimiento filtro anaerobio de flujo ascendente con plantas acuáticas	85
Tabla 46. Resumen plan de operación y mantenimiento de la limpieza general de la PTAR	86
Tabla 47. Resumen plan de operación y mantenimiento monitoreo del agua residual tratada.....	87
Tabla 48. Presupuesto de plan de mejoras de la PTAR el Artesón.....	87
Tabla 49. Cuadro resumen del funcionamiento actual de los componentes de la PTAR el Artesón	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Entrevista a moradores del sector.....	12
Figura 2. Medición de las unidades de la PTAR	13
Figura 3. Toma de fotografías aéreas con dron de la PTAR.....	13
Figura 4. Medición del caudal de entrada de la PTAR.....	14
Figura 5. Medición del caudal de salida de la PTAR	15
Figura 6. Recolección del muestreo compuesto de entrada y salida de la PTAR.....	16
Figura 7. Muestras enviadas a los laboratorios de la Facultad en Alimentos de la UTA	17
Figura 8. Ubicación del Sector Playa Grande el Artesón	23
Figura 9. Vegetación presente en la PTAR.....	24
Figura 10. PTAR El Artesón.....	25
Figura 11. Proceso de funcionamiento de la PTAR el Artesón	26
Figura 12. Tanque repartidor de caudales.....	27
Figura 13. Vista en planta del tanque repartidor de caudales	27
Figura 14. Corte longitudinal A-A´ del tanque repartidor de caudales.....	28
Figura 15. Corte Transversal B-B´ del tanque repartidor de caudales.....	28
Figura 16. Corte transversal C-C´ del tanque repartidor de caudales	29
Figura 17. Desarenador	29
Figura 18. Vista en planta desarenador.....	30
Figura 19. Corte longitudinal A-A´ del desarenador	30
Figura 21. Corte transversal B-B´ del desarenador.....	30
Figura 22. Corte transversal C-C´ del desarenador.....	31
Figura 22. Reactor UASB	32
Figura 23. Vista en planta de Reactor Anaerobio de Fujo Ascendente	32
Figura 24. Corte longitudinal A-A´ del Reactor Anaerobio de Fujo Ascendente.....	33
Figura 25. Corte Transversal B-B´ del Reactor Anaerobio de Fujo Ascendente.....	33
Figura 26. Lecho de secado de lodos	34
Figura 27. Vista en planta lecho de secado de lodos	35
Figura 28. Corte longitudinal A-A´ de lecho de secado de lodos	35
Figura 29. Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).....	36
Figura 30. Vista en planta filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).....	36
Figura 31. Corte longitudinal A-A´ del flujo anaerobio ascendente (FAFA).....	37

Figura 32. Medición de caudal de entrada de la PTAR	41
Figura 33. Medición de caudal de salida de la PTAR.....	45
Figura 34. Toma de muestras de agua residual de entrada de la PTAR	48
Figura 35. Toma de muestras de agua residual de salida de la PTAR.....	48
Figura 36. Conservación de muestras de la PTAR	49
Figura 37. Muestras enviadas a los laboratorios de la Facultad en Alimentos de la UTA	49
Figura 39. Dimensiones de sección divergente del desarenador	59
Figura 39. Funcionamiento de proceso de tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i>	70
Figura 40. Dirección de la cubierta metálica en planta.....	74
Figura 41. Catálogo DIPAC.....	77
Figura 42. Catálogo DIPAC.....	78
Figura 43. Detalle de la correa estructural-Catálogo IPAC	79

RESUMEN EJECUTIVO

Hoy en día el gran impacto ambiental surgido por el vertido de aguas residuales sin un tratamiento adecuado es de suma importancia para la sociedad, es por ello que, en el presente trabajo experimental se realizó la evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) existente en el sector de estudio con la finalidad de determinar si está cumpliendo con los parámetros mínimos y la disminución de contaminantes.

La evaluación de la PTAR, inició con la recolección de información de campo, posteriormente se determinó el caudal máximo tanto en la entrada y salida, obteniendo un valor de 0.978 L/s en el afluente y 0.927 L/s en el efluente. Además, se midió cada unidad de tratamiento mostrando su cumplimiento en cuanto a los manuales de diseño, se tomó un muestreo compuesto de entrada y salida, las mismas que fueron enviadas a un laboratorio para su respectivo análisis físico-químico y metales pesados.

Con respecto a los resultados obtenidos en base a los análisis y comparados con la norma TULSMA 2015 existe el cumplimiento en todos los parámetros, a excepción del nitrógeno amoniacal y el fosfato de tal manera que se indica la necesidad de implementar la especie “*Eichhornia carssipes*” en dos de los tres filtros anaerobios de flujos ascendente para disminuir la remoción de estos nutrientes.

Una vez procesada toda la información, se propone una cubierta metálica en el lecho de secado de lodos y un manual de operación y mantenimiento para garantizar el correcto funcionamiento de la PTAR.

Palabras clave: agua residual, afluente, efluente, caudal, TULSMA 2015.

ABSTRACT

Nowadays, the great environmental impact caused by the discharge of wastewater without adequate treatment is of utmost importance for society. For this reason, in this experimental work, the evaluation of the existing Wastewater Treatment Plant in the study sector was carried out in order to determine if it is complying with the minimum parameters and the reduction of pollutants.

The evaluation of the WWTP began with the collection of field data, then the maximum flow was determined both at the inlet and outlet, obtaining a value of 0.978 L/s in the influent and 0.927 L/s in the effluent, in addition, each treatment unit was measured showing its compliance with the design manuals, a composite sampling of inlet and outlet was taken, which were sent to a laboratory for their respective physical-chemical analysis and heavy metals.

With respect to the results obtained based on the analyses and compared with the TULSMA 2015 standard, there is compliance in all parameters, except for ammonia nitrogen and phosphate, indicating the need to implement the species "Eichhornia carssipes" in two of the three upflow anaerobic filters to reduce the removal of these nutrients.

Once all the information has been processed, a metal cover on the sludge drying bed and an operation and maintenance manual are proposed to guarantee the correct operation of the WWTP.

Key words: wastewater, influent, effluent, flow, TULSMA 2015

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Antecedentes

El principal recurso para la supervivencia de los seres vivos es el agua, es necesaria para el mantenimiento de todo el planeta y se encuentra constituido por el 75% en estado líquido, de igual forma, los organismos vivos están compuestos aproximadamente entre el 60% y 90% de agua, por lo tanto, funcionan gracias a sus propiedades [1].

El agua y su saneamiento es de gran importancia en el crecimiento socioeconómico, seguridad alimentaria, mediante varias actividades, tales como: la agricultura, pesca comercial, producción de energía, industria, transporte y turismo. Del mismo modo su uso en actividades recreativas [2].

Por otra parte, el acceso al es un derecho de los seres humanos siendo indispensable el asumir responsabilidades en su gestión lo cual implica su contabilización, conservación y control de uso adecuado. Su planificación y control puede convertirse en un instrumento importante para la coordinación de avances en algunas áreas como la energía, agricultura, manufacturas, turismo y ordenación territorial [3].

Sin embargo, una preocupante realidad radica en el incremento del uso del agua para satisfacer las necesidades humanas. Con una población en constante crecimiento y una mayor demanda de agua para respaldar el progreso económico individual. Sin embargo, las políticas del Banco Mundial (BM), el Fondo Monetario Internacional (FMI) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) sugieren abordar esta situación al considerar el agua como un recurso comparable a otros productos naturales como el Cobre, el Oro y el petróleo. En esta perspectiva, se propone la exploración y desarrollo del agua a través de inversiones privadas con el objetivo de incrementar su disponibilidad. En cuando a la inclinación en la privatización del servicio de agua, su disponibilidad está restringida a una cantidad cada vez menor de personas que se encuentran en situaciones de pobreza por lo que tienen menos posibilidades de su acceso al agua potable y de la misma forma sucede en los sectores vulnerables, donde no cuentan con una infraestructura adecuada que ayude con el abastecimiento del agua.

Estas situaciones traen como resultados el consumo de agua en condiciones no aptas para el ser humano que ponen en riesgo su salud. Las Naciones Unidas evalúan que 2.500 millones de personas en todo el mundo no tienen disponibilidad a este recurso, siendo que carecen de saneamiento, como retretes y letrinas y por lo menos 1.000 millones practican la defecación al aire libre [4].

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) se conoce que el agua contaminada se refiere a cualquier cambio químico, físico o biológico que tiene como efecto nocivo en cualquier ser vivo que lo consuma. Actualmente, la contaminación del agua es un problema por la alteración en su calidad. Un claro ejemplo es que a nivel mundial más del 80% de las aguas residuales producto de la actividad humana son vertidos a los ríos o al mar sin ningún tratamiento [5].

Es una prioridad que las aguas residuales que se generan en las ciudades y comunidades rurales lleguen de manera segura hasta las plantas de tratamiento, para ellos se debe garantizar que todos los habitantes desechen el agua doméstica de manera segura, evitando problemas de salubridad sin generen ningún impacto ambiental y que se asegure la gestión de los recursos hídricos. Además, cabe mencionar el beneficio del tratamiento de las aguas residuales al ser un proceso productivo, su objetivo es la disminución de la contaminación ambiental, siendo esta razón que el reúso debe ser una práctica común, comunicando a la sociedad acerca del aprovechamiento del usar agua residual tratada y sobre todo en el sector agrícola los beneficios económicos [6].

A nivel mundial, en 2015 se registró que en 57 países el total de aguas residuales tratadas fue de 41.642 millones de m³, que se considera que corresponde al 20% de la población mundial es decir 1.433 millones de habitantes. Por otro lado, de los 42 países que presentaron informes, tan solo una tercera parte del total de las aguas residuales recibió al menos algún tratamiento. Sin embargo, el desglose del flujo de aguas residuales tratadas por tipo o nivel presentan considerables diferencias entre países, posiblemente esto es debido a las capacidades de la infraestructura, pero también a la comunicación de datos, siendo que algunos países facilitaron estadísticas sobre generación de aguas residuales, pero no acerca de su tratamiento o vertimiento [7].

El crecimiento en zonas urbanas y rurales muestra una alta concentración hacia las zonas urbanas en todo el mundo, por lo que no existe diferencia alguna en América

Latina. Por lo tanto, según Yee-Batista indica que aproximadamente el 80% de la población latinoamericana habita en ciudades y una gran cantidad en lugares cercanos a fuentes contaminadas. De la misma manera el 70% de las aguas residuales en la región de América Latina no tienen un tratamiento previo. El agua es extraída, utilizada y devuelta completamente contaminada a los ríos [8].

Así como, en Costa Rica uno de los países de América Latina conocido por su gran riqueza hídrica no quedan exentos de contaminación, esto se constata mediante un estudio realizado en el río Torres que según el análisis físico químico y microbiológico de las aguas residuales de afluente y efluente de la PTAR Los Tajos, dió como resultado que el río se clasificó como severamente contaminado. La PTAR presenta remoción significativa en sus parámetros analizados, los valores más representativos son: SST (68.05%), DQBO (49.8%) y GyA (54.7%), dejando en evidencia que aun existiendo la PTAR Los Tajos y siendo su descarga directa en el río Torres se encuentra en la necesidad de la construcción de siguientes etapas de la PTAR, donde se incluya un tratamiento secundario, que mejoraría la carga contaminante, remoción de materia orgánica, surfactantes y nutrientes [9].

Por otra parte, un estudio en la República de Panamá indica la potencialidad del uso de aguas servidas para riego y recarga de acuíferos en la cuenca del río La Villa. Los resultados obtenidos expresan que las aguas residuales tratadas provenientes de la PTAR Chitré tienen un alto valor y aplicabilidad como fuente alternativa de agua para la agricultura. Esto se comprobó mediante un periodo de pruebas los cuales constan de pasto sembrado en módulos experimentales alimentados con el agua de la descarga de la PTAR. De esta forma, durante la medición de la calidad de agua de descarga de los módulos de ensayo, se evidenció a través de un análisis de agua postratada la capacidad del método experimental capaz de remover microorganismos, degradar material orgánico, sólidos en suspensión, exceso de nitrógeno y fósforo, entre otros parámetros, provenientes de la PTAR. Además, este conocimiento científico deja claro para nuevas investigaciones que las aguas residuales dejen de ser un recurso sin aprovecharse [10].

Ecuador es uno de los países que contiene un alto porcentaje de agua disponible en comparación con otras regiones del mundo, por el contrario, el mal manejo y distribución de la misma ha generado ciertos problemas y uno de los más actuales ha sido la contaminación de las fuentes de este recurso hídrico [11].

Según la estadística de información ambiental económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales realizada por la INEC, informa que en el año 2021 el país ha registrado 577 plantas de tratamiento de agua residual las cuales se encuentran distribuidas en 164 municipios, los GADM que abarcan un 48.9% poseen alcantarillado sanitario y pluvial. Además, solo el 3.2%, lo cual representa a 7 municipios no cuentan con alcantarillado. Así como, el 43.5% de las plantas de tratamientos de agua residual son descargadas a ríos y el 33.6% a quebradas siendo el restante a canales de riego, mar, acequias, entre otros sitios [12].

Es importante destacar que el 65% de las aguas de ríos en la región costera se encuentran contaminadas y no son aptos para el consumo humano, esto sucede debido a que solo el 5% de aguas residuales del sector urbano son tratadas. Por otro lado, aproximadamente más del 61% son vertidas directamente a los cauces hídricos como sucede en ciudades principales del país como Quito, Guayaquil [13].

Algunos de los contaminantes altamente tóxicos son las industrias de curtiembre que, en cuanto a su cantidad y composición, su agua residual debería ser tratada, de tal manera que cumplan con los valores indicados por la legislación ambiental local. El estudio de las tecnologías de tratamiento para este tipo de actividades, obtuvo datos de una planta real de curtiembre en Ecuador se determinó el DBO, DQO, sólidos suspendidos, los sulfuros y el Cromo. De acuerdo a estas propiedades, y en el estudio de las tecnologías para su remoción las opciones de tratamiento consideradas fueron: tratamiento biológico de lodos activados + ozonización; lodos activados + electrólisis; reactor anaerobio UASB + ozonización y reactor anaerobio UASB + electrólisis [14]

El estudio que se realizó en la ciudad de Yaguachi menciona que el río con el mismo nombre recibe la descarga de aguas residuales domésticas y la mayoría sin ningún tratamiento. Sin embargo, la PTAR existente solo recibe una pequeña cantidad de las aguas residuales de la ciudad y se encuentra totalmente abandonada, por lo tanto, para brindar solución se seleccionó el método de lagunas de estabilización, siendo una de las razones su bajo costo inicial de construcción y operación; con esto se alcanzaría a reducir aproximadamente el 82% en la DBO5 y el 99.99 % del número más probable de coliformes [15].

Por otra parte, la mayor cantidad de establecimientos del sector textil se encuentra en la provincia de Tungurahua con el 8.1 % a nivel nacional. Siendo una de las causas principales de generar impacto ambiental debido al uso de agua y generación de aguas residuales, donde sus efluentes por este tipo de industria contienen el uso de colorantes, alta concentración de sólidos solubles, y de metales pesados, indicando una mayor contaminación a las vertientes [16].

Además, un estudio realizado sobre la eficiencia de los sistemas de tratamiento utilizados en el sector textil del cantón Pelileo. Donde para llevar a cabo esta evaluación, se realizó un análisis del agua, tanto en la entrada como en la salida de las plantas de tratamiento. Durante este proceso de monitoreo, se examinaron diversos parámetros tales como DBO, DQO, caudal, nitratos, sulfatos, fosfatos, color, SST, STD, conductividad, pH, temperatura, detergentes, aceites y grasas. Con el propósito de abordar la amplia cantidad de empresas dedicadas al lavado y teñido de jeans en la zona, se seleccionaron tres de ellas en función de su nivel de producción: alto, medio y bajo. Los hallazgos señalaron que ninguna de las tres PTAR presenta un rendimiento elevado, ya que en todos los casos su eficiencia es inferior al 60%. Además, se identificaron valores de ciertos parámetros en la salida de las plantas que exceden los límites permitidos según las regulaciones ambientales vigentes [17].

En el cantón Píllaro, existen 27 plantas de tratamiento de aguas residuales, donde 16 de ellas se encuentran administradas por el GAD municipal y 11 por juntas. Se menciona que el 66.7 % de las aguas que reciben las plantas son tratadas, sin embargo, al menos el 29.6% son vertidas directamente a cuerpos hídricos sin tratamiento previo [18]. Por otra parte, el sector Playa Grande el Artesón cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, construida en el año 2015 y en la actualidad se encuentra operando. Sin embargo, si bien se sabe, las aguas residuales son provenientes de las principales actividades de los habitantes que son la agricultura, ganadería y domésticas. Este estudio tiene el objetivo de conocer y evaluar la planta de tratamiento si su efluente se encuentra libre de contaminantes, también si cumplen con los parámetros establecidos por normativa y si se encuentra operando en óptimas condiciones.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del sector Playa Grande El Artesón de la parroquia Píllaro del cantón Santiago de Píllaro de la provincia de Tungurahua.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Efectuar un levantamiento topográfico georreferenciado e implantación general de la PTAR y sus unidades.
- Realizar un análisis de una muestra compuesta del agua residual de ingreso y salida de la PTAR.
- Evaluar el funcionamiento de la PTAR según normativa TULSMA.
- Proponer mejoras y generar un manual de Operación y Mantenimiento en la PTAR.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1. Materiales y Equipos

A continuación, se presenta los materiales utilizados para el desarrollo del trabajo experimental en base a cada uno de los objetivos planteados anteriormente:

Materiales para el cumplimiento del objetivo 1

- **Objetivo 1:** Efectuar un levantamiento topográfico georreferenciado e implantación general de la PTAR y sus unidades.

Este objetivo se basa en la recopilación de datos de las dimensiones de cada unidad y la geolocalización del lugar que se encuentra implantada la PTAR. Los materiales y equipos empleados son:

Tabla 1. Equipos y materiales para el cumplimiento del objetivo 1

Equipo: Dron	
Descripción: Utilizado para obtener una fotografía general de una vista área de la PTAR El Artesón.	Detalle: - Marca: DJI - Modelo: AIR 2s - Cantidad: 1
Equipo: Flexómetro	
Descripción: Se utilizó para tomar medidas de cada unidad de la PTAR.	Detalle: - Marca: STANLEY - Modelo: FATMAX 5m - Cantidad: 1
Equipo: Cinta métrica	
Descripción: Se utilizó para tomar medidas de cada unidad de la PTAR.	Detalle: - Marca: Truper - Modelo: TFC-30 m - Cantidad: 1

Material: Libreta	
Descripción: Se utilizó para la anotación de las dimensiones de cada unidad de la PTAR.	Detalle: - Marca: Norma
Equipo: Laptop	
Descripción: Se utilizó para el proceso de la información, dibujo de planos con la ayuda del software CIVIL 3D.	Detalle: - Marca: Pavilion HP - Modelo: 15-cb0051a

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Materiales para el cumplimiento del objetivo 2

- **Objetivo 2:** Realizar un análisis de una muestra compuesta del agua residual de ingreso y salida de la PTAR.

Este objetivo se basa en la toma de muestras compuestas del afluente y efluente de la PTAR, de igual manera la recolección de datos de los caudales de entrada y salida. Los materiales y equipos empleados son:

Tabla 2. Equipos y materiales para el cumplimiento del objetivo 2

Material: Recipiente de 3 L.	
Descripción: Se empleó para la recolección de agua en un tiempo determinado con el propósito de obtener los caudales del efluente	Detalle: - Marca: Pycca - Cantidad: 1
Material: Recipiente de 2 L.	
Descripción: Se empleó para la recolección de agua en un tiempo determinado con el propósito de obtener los caudales del afluente	Detalle: - Marca: Pycca

Material: Soga	
Descripción: Se empleó para la recolección de agua en un tiempo determinado con el propósito de obtener los caudales del efluente	Detalle: - Longitud: 2 m - Cantidad: 1
Equipo: Cronómetro	
Descripción: Se utilizó para la medición del tiempo que se demora en llenarse los recipientes de 2 y 3 L.	Detalle: - Marca: NAKO - Modelo: NA-613D
Equipo: Celular	
Descripción: Su utilización fue para tomar fotografías de la PTAR, también permitió utilizarse como cronómetro en algunas ocasiones.	Detalle: - Marca: Xiaomi - Modelo: Note 11 - Cantidad: 1
Material: Envase de 1 L.	
Descripción: Se utilizó para la recolección de la muestra compuesta del agua residual tanto del efluente y afluente de la PTAR.	Detalle: - Tipo: Color ámbar - Material: Vidrio - Cantidad: 2
Material: Envase de ½ L.	
Descripción: Se utilizó para la recolección de la muestra compuesta del agua residual tanto del efluente y afluente.	Detalle: - Tipo: Color ámbar - Material: Vidrio - Cantidad: 1

Equipo: Hielera	
Descripción: Se empleó para transportar las muestras desde la planta hasta el laboratorio de análisis.	Detalle: - Tipo: Térmica - Material: Poliestireno Extendido (EPS) - Cantidad: 1
Equipo: Probeta graduada	
Descripción: Su utilización fue para medir la cantidad de agua residual necesaria para cada hora en cuanto a la muestra compuesta realizada y así ser colocada en los frascos.	Detalle: - Marca: BRAND - Material: Plástico - Volumen: 100 ml. - Cantidad: 1
Equipo: Guantes	
Descripción: Se empleó como herramienta de seguridad para no estar en contacto con el agua residual y protegerse de posibles infecciones a la piel.	Detalle: - Marca: Master - Material: Caucho - Cantidad: 1 par
Equipo: Botas	
Descripción: Se empleó como herramienta de seguridad para no estar en contacto con el agua residual y protegerse de posibles infecciones a la piel.	Detalle: - Marca: Venus - Material: Caucho - Cantidad: 1 par
Equipo: Mandil	
Descripción: Se empleó como herramienta de seguridad para proteger la vestimenta al exponerse a cualquier sustancia contaminante.	Detalle: - Material: Tela - Cantidad: 1

Material: Mascarilla	
Descripción: Se empleó como herramienta de seguridad para protección del rostro y evitar contacto con el agua residual.	Detalle: - Marca: KN95

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Nota: Para el objetivo 3 y 4 se hace presente el uso del equipo de una laptop mencionada en la Tabla 1.

2.2.Métodos

La evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del sector Playa Grande El Artesón se realizó en cinco etapas en relación con los objetivos planteados, las cuales se detallan a continuación:

2.2.1. Etapa I: Levantamiento de información de la PTAR

En esta etapa se utilizó un tipo de investigación documental, es decir se recopiló datos teóricos y bibliográficos correspondiente a la PTAR, considerando su ubicación, área, los límites y las actividades culturales, socioeconómicas de los habitantes del sector. De la misma manera se recolectó información de los detalles relativos de la planta de tratamiento, como su vida útil, su tiempo de funcionamiento y la frecuencia de mantenimiento.

Como se observa en la Figura 1. que, a través de una socialización con los moradores del sector mediante entrevistas, quiénes confirmaron que la zona se dedica a actividades agrícolas y pecuarias, además de la información de los operadores que brindan mantenimiento a la planta, se recolectaron datos de gran importancia para conocer el estado actual de su funcionamiento y operación e identificar los momentos en que la población genera mayor caudal en la PTAR debido a sus actividades diarias.



Figura 1. Entrevista a moradores del sector

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Finalmente, mediante la observación directa in situ se identificaron detalles significativos del lugar y la constitución de las unidades del tren de tratamiento de la PTAR. Así mismo, se reconocieron problemas evidentes en sus estructuras, malos olores a ciertas horas del día y la presencia de mosquitos.

2.2.2. Etapa II: Investigación de campo.

Como se muestra en la Figura 2., se realizó el dimensionamiento de las unidades existentes en la PTAR, este proceso muestra la medición de largo, ancho, altura y espesor de cada unidad. La planta dispone de un tanque repartidor y criba, canaleta Parshall, desarenador, 2 reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA), 3 filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA), secado de lodos, bypass, válvulas de control, tuberías de 300, 200, 160, 110 y 90 mm y un cerramiento. Después de analizar los elementos presentes, se comprobó que dos de los tres filtros anaerobios de flujos ascendente en la PTAR están operativos, lo cual es un dato relevante para su evaluación. Además, es importante destacar que esta fase es significativa, ya que la recopilación de datos permitió realizar un diagnóstico general del funcionamiento de la PTAR, los cuales se utilizarán en la etapa final de la propuesta de mejora.



Figura 2. Medición de las unidades de la PTAR

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

A continuación, se efectuó una toma fotográfica aérea de la planta por medio de un dron con la finalidad de captar todas las unidades y el proceso del tratamiento del agua residual. Además, se realizó un levantamiento topográfico del sitio con georreferenciación con puntos clave tal como se puede apreciar en la Figura 3.



Figura 3. Toma de fotografías aéreas con dron de la PTAR

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Posteriormente, se procedió a realizar la medición de caudales de ingreso y salida de la PTAR mediante el método volumétrico, que consistió en la recolección del agua residual en un recipiente de 2 y 3 L. en un tiempo determinado, así como se evidencia

en las Figuras 4 y 5. Este proceso de medición se realizó durante 30 días consecutivos, con una duración de 8 horas al día. Esto se basa en la recomendación de Metcalf & Eddy, quienes mencionan que el tiempo de muestreo debe estar condicionado por el grado de variación del caudal. Es decir, se debe recolectar la muestra en un lugar y momento específicos, teniendo en cuenta las características del agua residual.

Además, la realización de las mediciones durante un periodo prolongado de tiempo permitió obtener datos más precisos y representativos sobre los caudales de ingreso y salida de la PTAR, esto fue importante para comprender el comportamiento del sistema y así lograr la evaluación de la eficiencia en el tratamiento del agua residual [19].



Figura 4. Medición del caudal de entrada de la PTAR

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña



Figura 5. Medición del caudal de salida de la PTAR

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

La recolección de datos se llevó a cabo utilizando una metodología experimental, los caudales medidos durante el período de tiempo establecido fueron registrados y tabulados para su posterior análisis, este proceso permitió identificar el día con la mayor demanda de caudal, lo cual es importante para comprender los patrones de uso y la carga de entrada en la PTAR.

Además, al tabular los resultados, se obtuvieron valores representativos del agua residual tanto en el afluente como en el efluente. Por su parte, estos valores proporcionan información crucial sobre la calidad del agua antes y después del proceso de tratamiento. Al establecer al establecer de manera representativa los valores del agua residual, se pueden evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento y compararlos con los estándares y regulaciones ambientales correspondientes permitiendo identificar posibles mejoras o ajustes necesarios en el proceso de tratamiento para cumplir con los requisitos establecidos.

Por otra parte, la toma de un muestreo compuesto se lo realizó según lo que menciona la norma NTE INEN 2176:2013 y NTE INEN 2169:98, indicando que el agua residual a analizar debe ser colocada y almacenada en envases de vidrio color ámbar o botellas de plástico para almacenar las muestras de agua residual; el vidrio color ámbar ayuda a proteger la muestra de la exposición a la luz, que podría alterar las características del agua. Por otra parte, las botellas de plástico deben estar hechas de un material adecuado y no deben reaccionar químicamente con el agua residual, lo que podría afectar los

resultados de los análisis. Según la norma NTE INEN 2176:2013, las muestras deben conservarse en un lugar fresco, esto ayuda a mantener la integridad y minimiza la posibilidad de que los componentes del agua residual se degraden o alteren antes de realizar los análisis, así como se puede observar en la Figura 6 [20].



Figura 6. Recolección del muestreo compuesto de entrada y salida de la PTAR

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

2.2.3. Etapa III. Investigación de laboratorio

Una vez realizada la recolección de la muestra compuesta de las aguas residuales de la planta de tratamiento tanto del afluente y efluente, estas fueron enviadas para su respectivo análisis al Laboratorio Ambiental e Investigación de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato. Allí, se llevó a cabo el análisis correspondiente e identificación de las características más representativas del agua residual, siguiendo las pautas establecidas por Metcalf & Eddy. Según dichas pautas, se destaca que los sólidos suspendidos son los contaminantes más significativos, ya que, al ser descargados junto con los líquidos en el medio ambiente, promueven la proliferación y formación de depósitos de lodos o fangos. Otro aspecto importante a considerar, y mencionado en el análisis es la presencia de materia orgánica biodegradable, que se mide mediante los parámetros de DBO y DQO. Si estos parámetros no se tratan adecuadamente, pueden generar características sépticas que consumen el oxígeno del agua durante su proceso de estabilización biológica [19].

En la Figura 7., se puede observar claramente cómo el Ing. Rodny Peñafiel, docente de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, recibe las muestras.



Figura 7. Muestras enviadas a los laboratorios de la Facultad en Alimentos de la UTA

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Para llevar a cabo el análisis físico-químico del agua residual en la PTAR, se consideraron los parámetros listados en la Tabla 3. Los mismos que fueron proporcionados por el Ing. Rodny Peñafiel.

Tabla 3. Parámetros analizados en la muestra de agua residual de la PTAR

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO
Parámetros globales¹		
pH		SM 4500 B
Conductividad	μS/cm	SM 2510 B
Turbidez	NTU	SM 2130 B
Parámetros en laboratorio²		
Demanda Química de Oxígeno, DQO	mg/l	SM 5220 D
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅	mg/l	SM 5210 D
Sólidos Totales, ST	mg/l	SM 2540 B
Sólidos Suspendidos Totales, SST	mg/l	SM 2540 D
Sólidos Disueltos Totales, SDT	mg/l	SM 2540 C
Nitrógeno amoniacal, N-NH ₃	mg/l	ASTM D1426, Nessler method

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO
Nitrato, NO ₃ ⁻	mg/l	SM 4500 NO3 E
Fosfato, P-PO ₃ ⁴⁻	mg/l	SM 4500 P E
Cloruros, Cl ⁻	mg/l	SM 4500 P E
Sulfatos, SO ₄ ²⁻	mg/l	4500-Cl G
Cromo VI, Cr ⁺⁶	mg/l	ASTM D1687-92, Diphenylcarbohydrazide method
Zinc, Zn	mg/l	SM 3500-Zn B
Hierro, Fe	mg/l	EPA Phenanthroline method 315B
Aluminio, Al	mg/l	SM 3500-Al B
Manganeso, Mn	mg/l	SM 3500-Mn B
Cobre, Cu	mg/l	SM 3500-Cu B
Metales por Absorción Atómica³		
Cadmio, Cd	mg/l	SM 3113 B PGI AA 500 Graphite Element Data Sheets Cd, Ni, Cr, Pb, As
Niquel, Ni	mg/l	
Cromo total, Cr	mg/l	
Plomo, Pb	mg/l	
Arsénico, As	mg/l	
SM: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, APHA		
¹ Medidor multiparámetro HANNA HI 9829		
² Fotómetro multiparamétrico con DQO HI 83399		
³ Espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito PG Instruments AA500		

Fuente: Laboratorios de la Facultad de Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato

2.2.4. Etapa IV: Análisis y verificación de funcionamiento de la PTAR

Para esta etapa se aplicó el método de investigación analítico y comparativo, en el cual se relacionaron los resultados del laboratorio con los valores de la normativa TULSMA, libro VI, Anexo 1, “Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce”, para comprobar el respectivo cumplimiento de funcionalidad de la planta de tratamiento y sus unidades hidráulicas, de las cuales se encuentran diseñadas por medio de reglamentos técnicos de origen internacional, guías y normas [21].

En la Tabla 4 se presentan los valores permitidos por la normativa aplicable, estos valores establecen los límites máximos o mínimos aceptables para diferentes parámetros relacionados con la calidad del agua residual y que, al comparar los valores

obtenidos en el análisis con los valores permitidos, se puede evaluar si el agua residual cumple con los estándares reglamentarios.

Tabla 4. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/l	30.0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5.0
Arsénico total	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	2.0
Boro Total	B	mg/l	2.0
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cianuro total	CN	mg/l	0.1
Cinc	Zn	mg/l	5.0
Cloro activo	Cl	mg/l	0.5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/l	0.1
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1.0
Cobalto	Co	mg/l	0.5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución 1/20
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0.5
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0.2
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	100

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5.0
Fluoruros	F	mg/l	5.0
Fosforo total	P	mg/l	10.0
Hierro total	Fe	mg/l	10.0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/l	20.0
Manganeso total	Mn	mg/l	2.0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0.005
Níquel	Ni	mg/l	2.0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30.0
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/l	50.0
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0.05
Compuestos organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0.1
Plata	Ag	mg/l	0.1
Plomo	Pb	mg/l	0.2
Potencial de hidrogeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0.1
Solidos suspendidos totales	SST	mg/l	130
Solidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO4	mg/l	1000
Sulfuros	S2	mg/l	0.5

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Temperatura	°C		Condición natural +- 3
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0.5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1.0
La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida			

Fuente: TULSMA 2015 [21].

Además, se evaluó el cumplimiento de estos límites y se calculó mediante el porcentaje de eficiencia de eliminación de los parámetros estudiados de manera porcentual utilizando la ecuación 1:

$$E = \frac{C_o - C_f}{C_o} * 100 \quad (Ec. 1)$$

Donde:

E = eficiencia del parámetro (%)

C_o = Valor inicial del parámetro

C_f = Valor final del parámetro

2.2.5. Etapa V: Verificación y mejoramiento de la PTAR

Mediante el uso del método deductivo y basándose en los resultados analizados en el laboratorio, se plantearon propuestas de mejora para la planta de tratamiento de aguas residuales en el sector Playa Grande El Artesón. Una de las propuestas consistió en la implementación de *Eichhornia crassipes*, comúnmente conocida como "jacinto de agua", en dos de los tres filtros anaerobios de flujos ascendentes que conforman la PTAR. Esta planta acuática puede contribuir a mejorar el proceso de tratamiento al absorber nutrientes y contaminantes presentes en el agua residual, ayudando así a reducir su carga y mejorar la calidad del efluente. Otra propuesta fue la instalación de una cubierta metálica para los dos lechos de secado de lodos presentes en la planta, la cubierta proporcionará protección contra las inclemencias del clima y ayudará a

controlar la humedad y la evaporación; mejorando así la eficiencia del proceso de secado de lodos y reduciendo los olores desagradables. Por último, se desarrolló un plan de operación y mantenimiento detallado que incluye los procedimientos y acciones necesarios para garantizar el funcionamiento óptimo de la planta. Este plan abarca actividades como la inspección regular de las unidades, el monitoreo de parámetros clave, el mantenimiento preventivo y correctivo, y la capacitación del personal. Para respaldar las propuestas, se elaboró un presupuesto referencial que estima los costos asociados a la implementación de las mejoras propuestas, este presupuesto sirve como guía para la asignación de recursos financieros necesarios y ayuda a evaluar la viabilidad económica de las acciones de mejora.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Etapa I: Levantamiento de la información de la PTAR

3.1.1.1. Descripción de la zona de estudio

El sector Playa Grande El Artesón se encuentra ubicado en la Parroquia Urbana Píllaro del cantón Santiago de Píllaro de la provincia de Tungurahua, el sector posee un área de 36349 m², con una elevación comprendida entre los 2670 y 2700 m.s.n.m. El clima es de tipo frío mesotérmico seco con una temperatura promedio de 13 °C, la parroquia cuenta con 14 852 habitantes aproximadamente [18].

La principal actividad económica del sector es la agricultura, sus habitantes siembran productos como: maíz, duraznos, peras, papas entre otros. Por otra parte, debido a su ubicación geográfica se incluye la ganadería, además, el sector cuenta con extensiones de pastos y forrajes que son alimento para el ganado vacuno [18].

La planta de tratamiento de aguas residuales del sector Playa Grande el Artesón se encuentra ubicada a unos 4 km aproximadamente de la cabecera cantonal, abarca un área de 1400 m², limita al norte con la Parroquia presidente Urbina, al sur con la Parroquia San Miguelito, al este con el cantón Ambato y al oeste con la cabecera cantonal Píllaro, tal como se muestra en la Figura 8 [18].



Figura 8. Ubicación del Sector Playa Grande el Artesón

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Según la información proporcionada por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Santiago de Píllaro, la planta de tratamiento de aguas residuales fue construida en el año 2015, la responsabilidad de operación y mantenimiento recae en dicho organismo. Sin embargo, se constató que no existe un manual de mantenimiento, lo que puede dificultar la correcta gestión y conservación de la planta.

Además, se determinó que el agua residual que ingresa a la PTAR es de tipo doméstico, lo que implica que proviene principalmente de actividades residenciales. Esto es importante tenerlo en cuenta para adaptar los procesos de tratamiento de acuerdo con las características específicas de este tipo de agua residual.

Por otro lado, durante las visitas realizadas a la PTAR se observó la presencia notoria de mosquitos y mal olor en la PTAR, lo cual representa un problema para la población circundante. Estos inconvenientes pueden estar relacionados con deficiencias en el manejo y tratamiento adecuado de la planta, también se pudo observar un crecimiento excesivo de mala hierba debido a la falta de mantenimiento continuo, como se evidencia en la Figura 9. Este aspecto refuerza la necesidad de establecer un programa regular de mantenimiento y control de vegetación para garantizar el buen funcionamiento de la planta.



Figura 9. Vegetación presente en la PTAR

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Como se muestra en la Figura 10., la PTAR se encuentra conformada por las siguientes unidades: un pozo recolector, canal Parshall y desarenador, dos reactores anaeróbicos de flujo ascendentes, tres filtros anaerobios de flujo ascendentes, lecho de secado de

lodos, bypass, válvulas de control, compuerta metálica con volante y cerramiento. Por otro lado, su afluente es descargado hacia la quebrada del río Ambato.



Figura 10. PTAR El Artesón

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

3.1.2. Etapa II: Investigación de campo

3.1.2.1. Procesos unitarios de la PTAR y dimensionamiento

Para que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Artesón logre una descarga eficiente, se requiere seguir una serie de etapas de tratamiento. El proceso comienza cuando el agua residual doméstica llega a la primera unidad, que es el tanque repartidor. Luego, pasa por el canal Parshall y el desarenador, que actúan como etapas de pretratamiento. Después de eso, el agua llega al reactor anaerobio, que consta de dos cámaras. A continuación, se dirige hacia los filtros anaerobios de flujo ascendente. En la PTAR, hay tres de estos filtros FAFA, pero únicamente dos de ellos están operativos en la actualidad. Por último, el agua tratada es descargada en pozos que conducen hacia la quebrada y, finalmente, al río Ambato.

Es importante destacar que cuando se realiza el mantenimiento del reactor UASB, los lodos resultantes son enviados a los dos lechos de secado de lodos. La Figura 11. representa visualmente el proceso y la cantidad de unidades de tratamiento que existen en la PTAR.

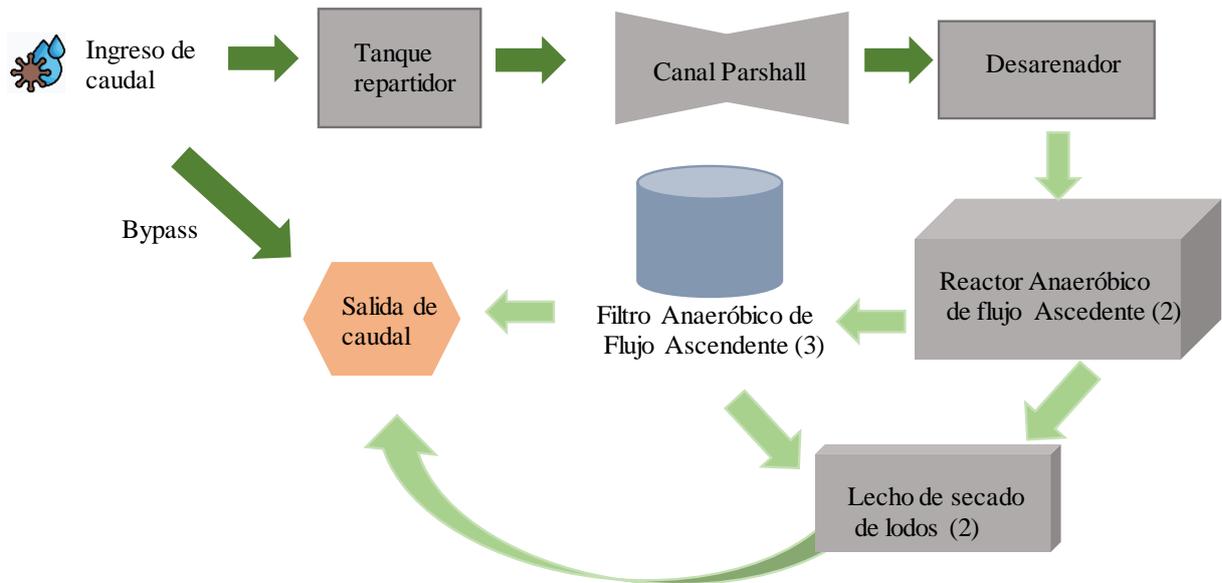


Figura 11. Proceso de funcionamiento de la PTAR el Artesón

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Tanque repartidor de caudales

Las aguas residuales que provienen del sector son captadas por un tanque repartidor, esta unidad distribuye el caudal a los procesos de pre tratamiento o a los pozos de salida, posteriormente es descargado hacia la quebrada del río Ambato, se encuentra conformado por una tubería de 300 mm al ingreso y 200 mm a la salida y su estructura es de hormigón armado, tal como se observa en la Figura 12.



Figura 12. Tanque repartidor de caudales

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

A continuación, en la Tabla 5 se presenta las medidas del pozo y el diseño de una vista en planta, corte longitudinal y transversal como se observa en las Figuras 13,14,15 y 16.

Tabla 5. Dimensiones del tanque repartido de caudales

Dimensión	Unidad (m)
Largo	3.00
Ancho	2.70
Profundidad	2.40
Espesor de paredes	0.30

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

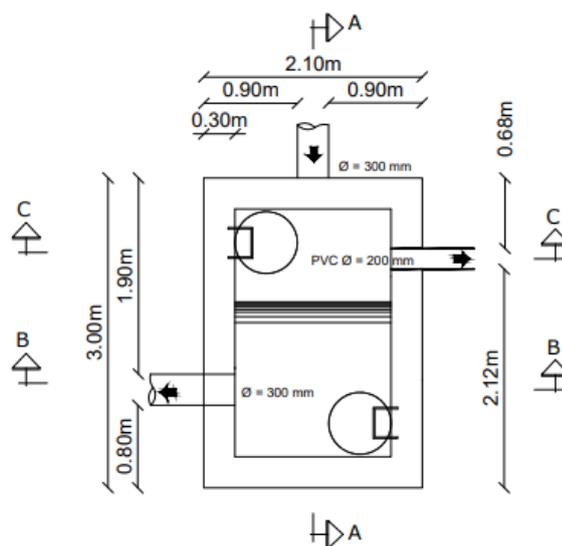


Figura 13. Vista en planta del tanque repartidor de caudales

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

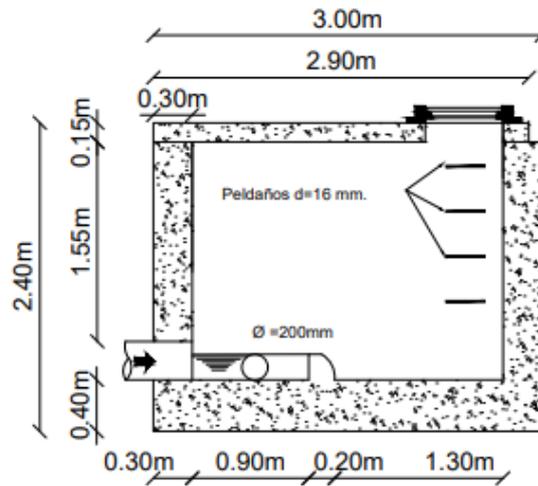


Figura 14. Corte longitudinal A-A' del tanque repartidor de caudales

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

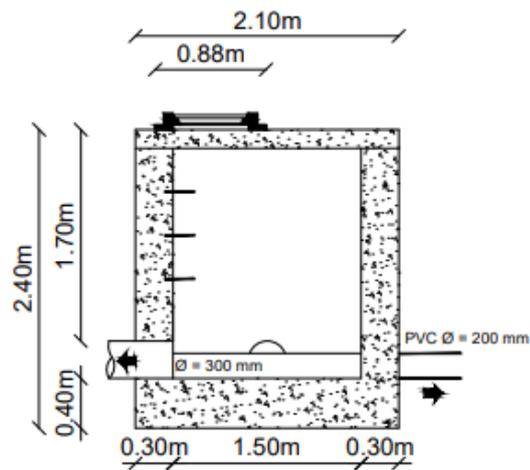


Figura 15. Corte Transversal B-B' del tanque repartidor de caudales

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

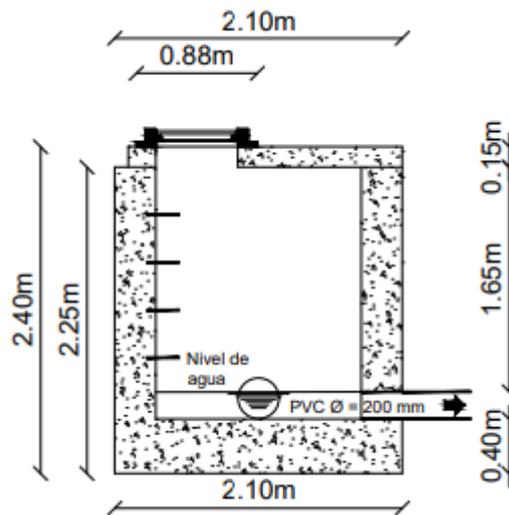


Figura 16. Corte transversal C-C' del tanque repartidor de caudales

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Desarenador

La planta de tratamiento consta de un desarenador de doble cámara, donde, acumula material sedimentable, se encuentran en paralelo por fines de limpieza, es una estructura de hormigón armado, se encuentra seguido de la canaleta Parshall, tiene un volumen aproximado de 13.6 m³ y conecta una tubería de 200 mm de diámetro con un reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB), mismo que efectúa el siguiente tratamiento, tal como se observa en la Figura 17.



Figura 17. Desarenador

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

A continuación, se presentan las medidas del desarenador y el diseño de una vista en planta, corte longitudinal y transversal como se observa en las Figuras 18 ,19,20 y 21.

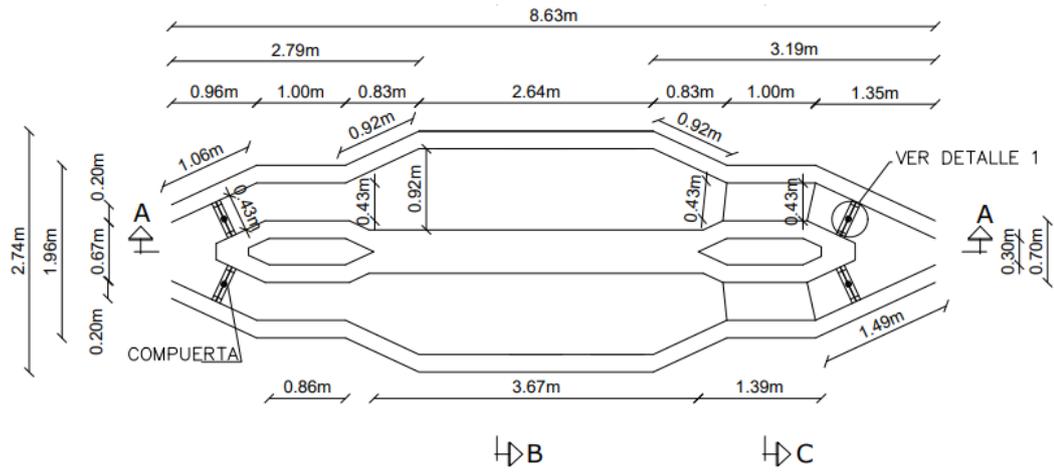


Figura 18. Vista en planta desarenador

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

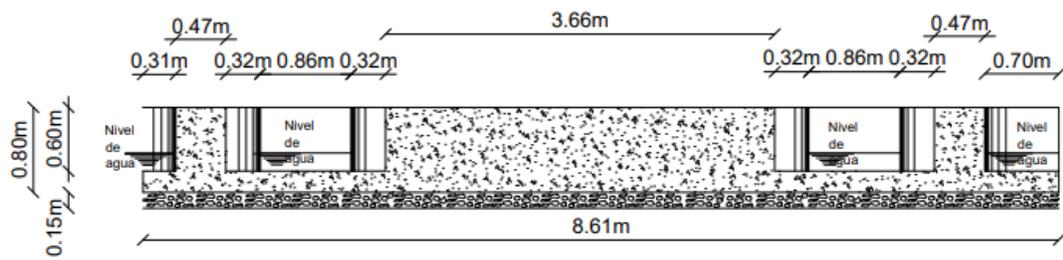


Figura 19. Corte longitudinal A-A' del desarenador

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

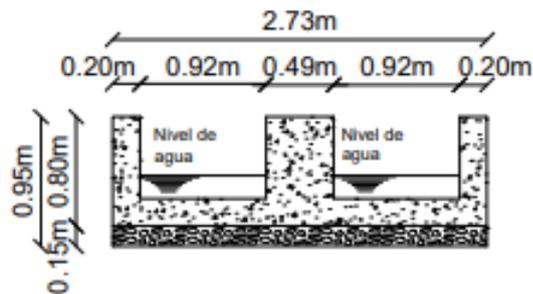


Figura 20. Corte transversal B-B' del desarenador

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

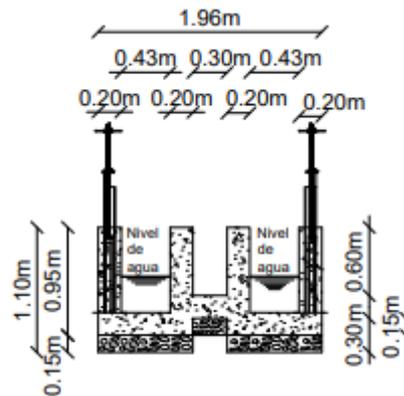


Figura 21. Corte transversal C-C' del desarenador

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente

El Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente en manto de lodos (UASB) está conformada por cámaras de decantación y digestión superpuesta con flujo ascendente, se presenta una estratigrafía de los sólidos con más concentración en la parte inferior (lecho de lodos), mezcla completa entre lodo, líquido y gas sobre el lecho. En la parte superior se muestra un sedimentador en el que el lodo recircula a la cámara de digestión en el que provoca una mejor uniformidad de las bacterias anaerobias que produce una mezcla homogénea.

Esta unidad de tratamiento secundario es de tipo biológico de las aguas residuales domésticas. Esta es una estructura de hormigón armado que abarca un volumen aproximado de 253.68 m³, el proceso que se realiza es mediante una tubería al ingreso de la unidad de 200 mm, además consta de una conexión directa hacia el lecho de secado de lodos y a los tres filtros de flujo ascendente son su respectiva válvula de paso, así como se observa en la Figura 22.



Figura 22. Reactor UASB

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

A continuación, se presentan las medidas de esta unidad con su diseño de vista en planta y en corte tanto longitudinal como transversal, como se muestra en las Figuras 23,24 y 25.

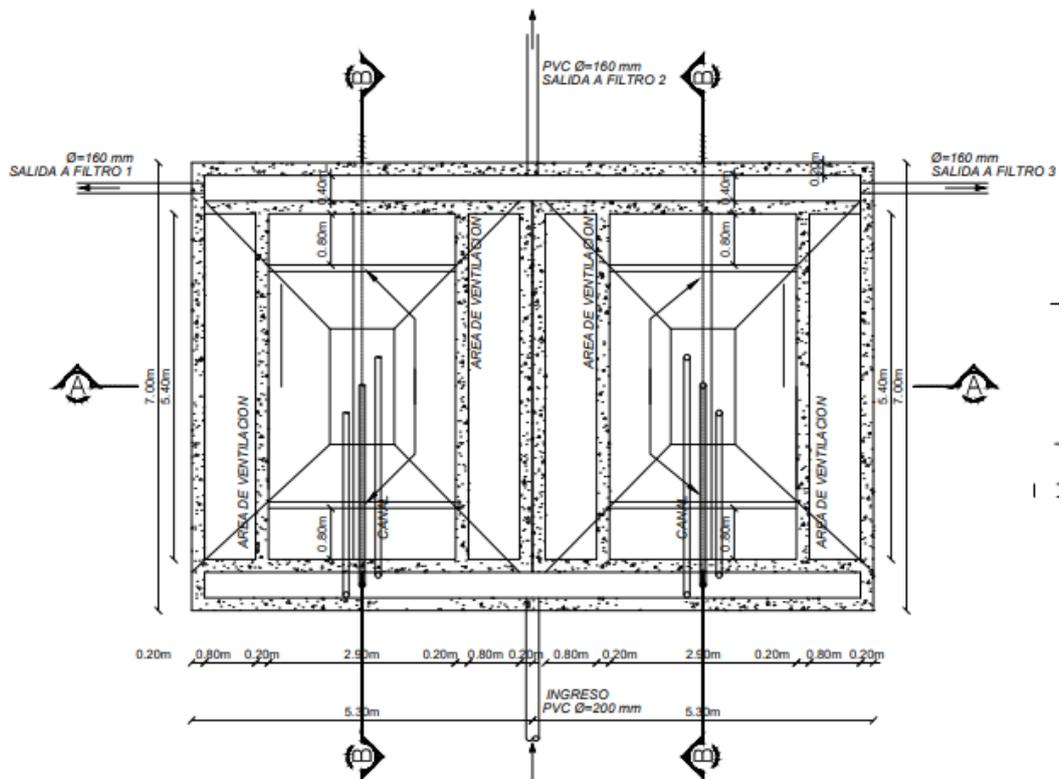


Figura 23. Vista en planta de Reactor Anaerobio de Fujo Ascendente

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

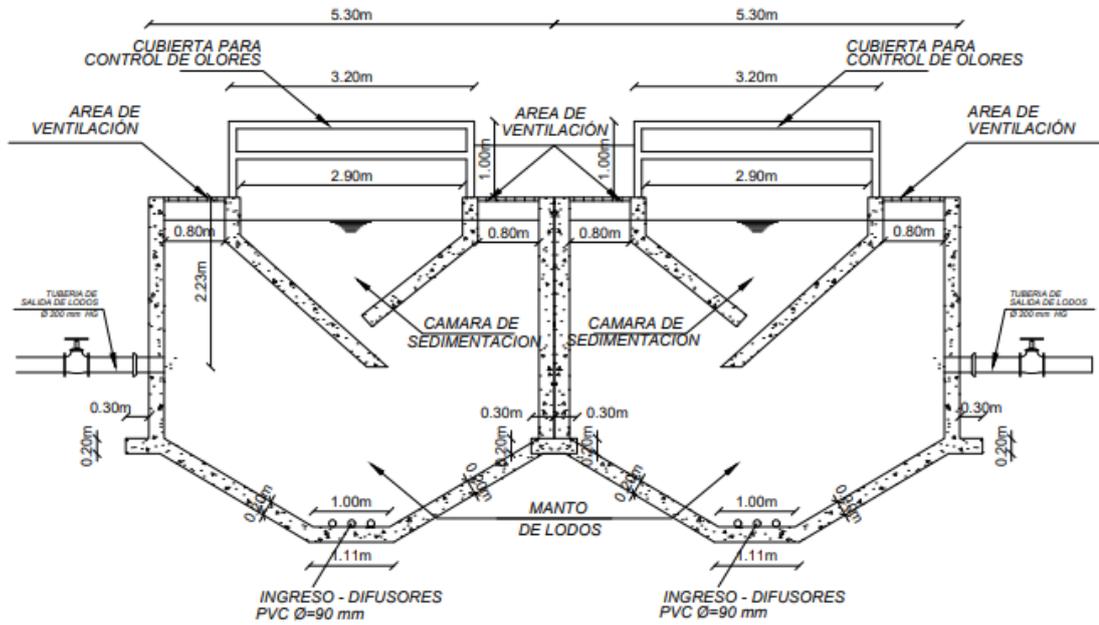


Figura 24. Corte longitudinal A-A' del Reactor Anaerobio de Fujo Ascendente

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

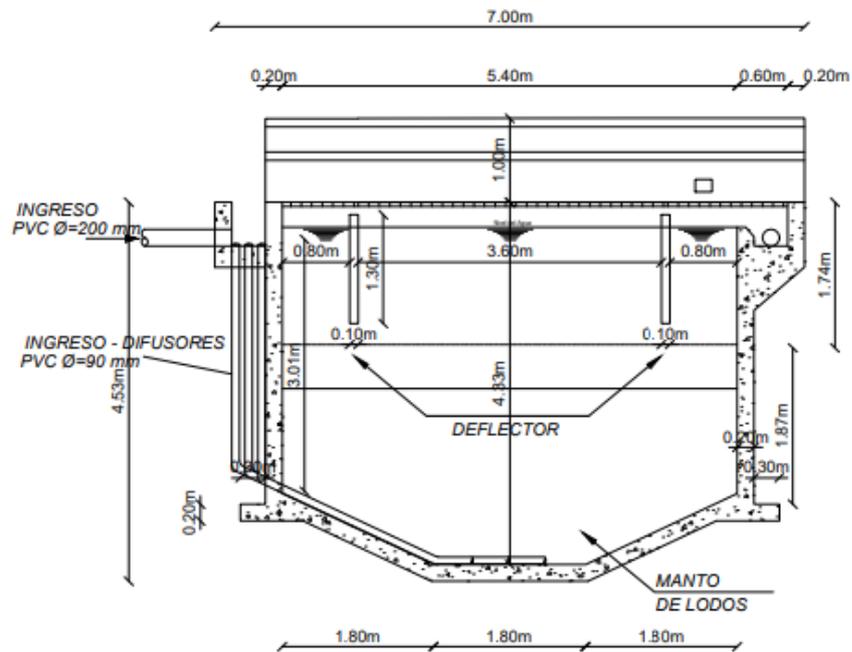


Figura 25. Corte Transversal B-B' del Reactor Anaerobio de Fujo Ascendente

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Lecho de secado de lodos

Esta unidad consiste en dos cámaras acopladas para recibir los lodos provenientes del reactor, mediante tuberías de 180 mm de diámetro, cada cámara abarca un volumen de 26.4 m³ aproximadamente y se encuentran conectadas a válvulas o llaves de paso, su estructura es constituida de hormigón armado tal como se muestra en la Figura 26.



Figura 26. Lecho de secado de lodos

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Las dimensiones de esta unidad se indican en la Tabla 6 y el diseño de una vista en planta, corte longitudinal como se observa en las Figuras 27 y 28.

Tabla 6. Dimensiones de Lecho de secado de lodos

Dimensión	Unidad (m)
Largo	5.80
Ancho	5.80
Profundidad	2.45
Espesor de paredes	0.40

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

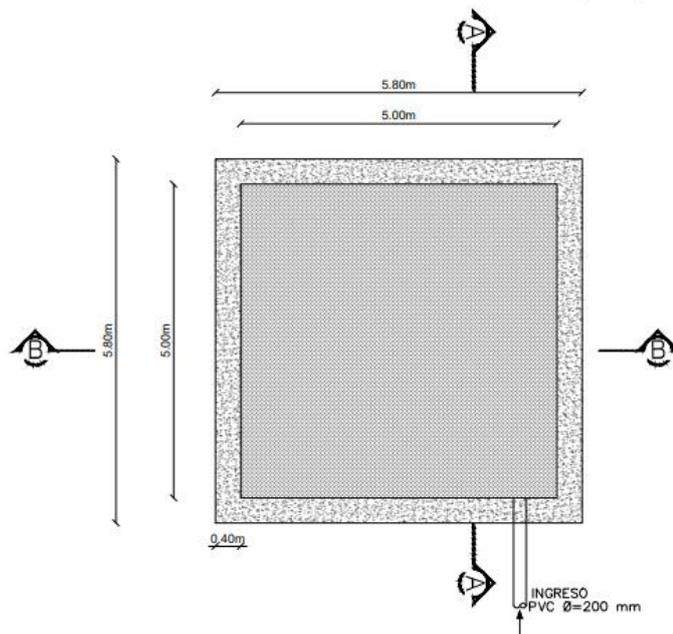


Figura 27. Vista en planta lecho de secado de lodos

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

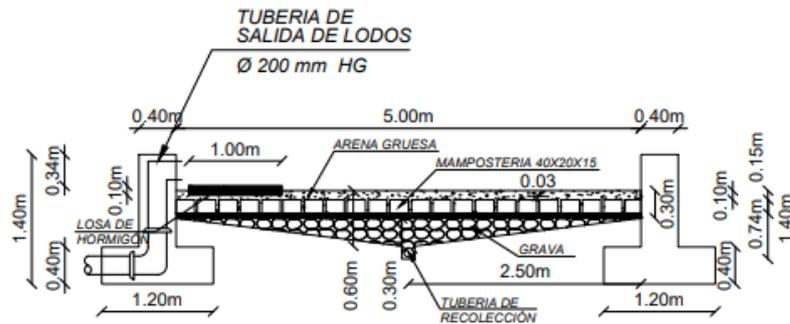


Figura 28. Corte longitudinal A-A' de lecho de secado de lodos

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)

La planta posee tres filtros biológicos. Cada uno está constituido por un tanque de geometría circular tal como se observa en la Figura 29., con un volumen aproximado de 21 m³. Los filtros reciben el agua previamente tratada en el reactor UASB con el fin de lograr una mayor remoción de los sólidos remanentes y reducir la carga contaminante del tratamiento anterior. Su descarga es a través de una tubería de 200 mm de diámetro [22].



Figura 29. Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

A continuación, se muestra el diseño de una vista en planta, corte longitudinal como se observa en las Figuras 30 y 31.

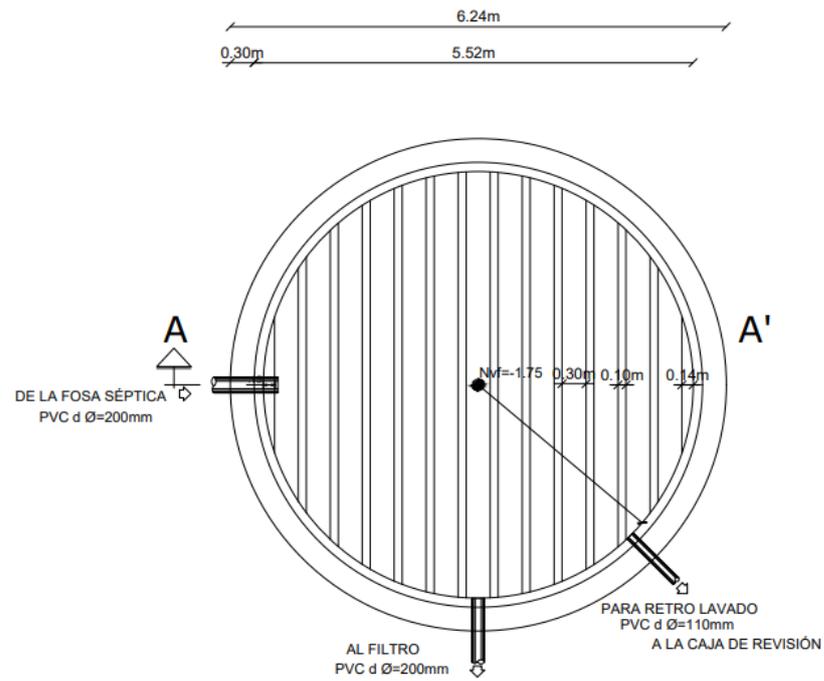


Figura 30. Vista en planta filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

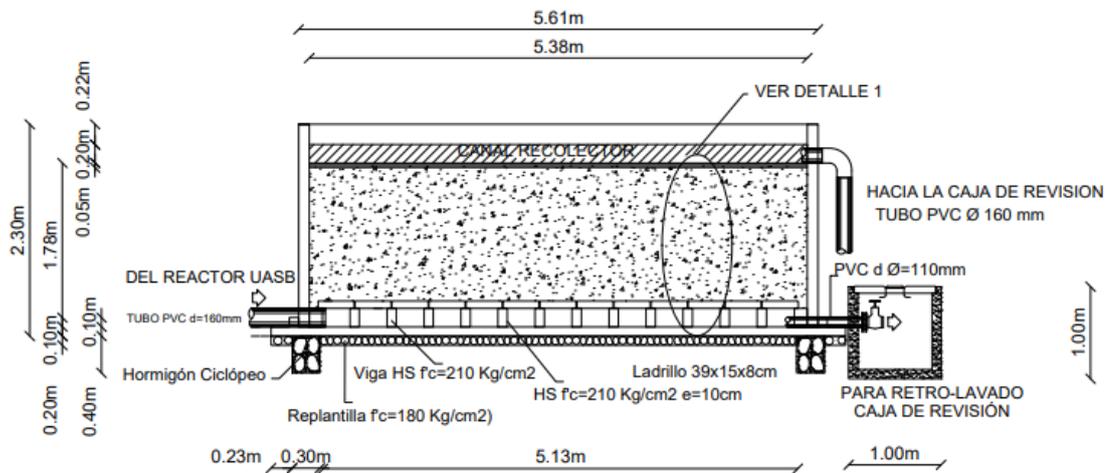


Figura 31. Corte longitudinal A-A' del flujo anaerobio ascendente (FAFA)

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

3.1.2.2. Medición de caudales

La medición de caudales de la PTAR del sector el Artesón se realizó mediante el método volumétrico, este procedimiento es el más exacto, a condición de que el recipiente sea bastante grande y pueda medir su capacidad de manera precisa. El método consiste en llenar un depósito impermeable cuyo volumen sea conocido y tomar el tiempo con algún instrumento, además este método se utilizó cuando se trata de mediciones de pequeños caudales, en este caso se utilizaron dos recipientes, uno de 2 L para el caudal de entrada y otro de 3 L para el caudal de salida [23].

Según los autores Metcalf & Eddy del libro "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse" es recomendable tomar los datos de un caudal en un plazo de 30 días, siendo suficientes para que los resultados sean cercanos a la realidad y con sus observaciones respectivas en tanto al clima, vegetación y actividades socioeconómicas del lugar de estudio, mostrando así confiabilidad en sus resultados [19].

La recolección de datos se realizó desde las 8:00 am hasta las 15:00 pm durante 30 días consecutivos, desde el 6 de marzo hasta el 4 de abril del 2023. La medición se llevó a cabo cada hora tomando 10 valores tanto del afluente y del efluente, las Tablas 7,8,9,10,11 y 12 muestran los resultados obtenidos.

Medición del caudal de entrada

Tabla 7. Resumen medición de caudales semana 1

SEMANA 1-CAUDAL DE ENTRADA DEL 06 AL 12 DE MARZO DEL 2023 (L/s)							
Hora de medición	Lunes 6 - Marzo	Martes 7 - Marzo	Miércoles 8 - Marzo	Jueves 9 - Marzo	Viernes 10 - Marzo	Sábado 11 - Marzo	Domingo 12 - Marzo
8:00 a. m.	0,691	0,857	0,689	0,856	0,925	0,945	0,811
9:00 a. m.	0,792	0,716	0,696	0,666	0,892	0,980	0,754
10:00 a. m.	0,827	0,657	0,725	0,783	0,723	0,865	0,881
11:00 a. m.	0,783	0,691	0,618	0,742	0,790	0,947	0,588
12:00 p. m.	0,700	0,663	0,637	0,653	0,667	0,961	0,644
1:00 p. m.	0,632	0,627	0,651	0,656	0,745	0,806	0,610
2:00 p. m.	0,629	0,606	0,541	0,713	0,661	0,922	0,643
3:00 p. m.	0,558	0,544	0,554	0,673	0,704	0,858	0,608

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Tabla 8. Resumen medición de caudales semana 2

SEMANA 2-CAUDAL DE ENTRADA DEL 13 AL 19 DE MARZO DEL 2023 (L/s)							
Hora de medición	Lunes 13 - Marzo	Martes 14 - Marzo	Miércoles 15 - Marzo	Jueves 16 - Marzo	Viernes 17 - Marzo	Sábado 18 - Marzo	Domingo 19 - Marzo
8:00 a. m.	0,701	0,929	0,946	0,929	0,938	0,949	0,954
9:00 a. m.	0,899	0,669	0,856	0,684	0,896	0,970	0,936
10:00 a. m.	0,921	0,636	0,920	0,698	0,702	0,968	0,883
11:00 a. m.	0,876	0,689	0,648	0,653	0,662	0,902	0,935
12:00 p. m.	0,723	0,654	0,874	0,674	0,625	0,958	0,917
1:00 p. m.	0,670	0,705	0,669	0,635	0,618	0,957	0,929
2:00 p. m.	0,627	0,814	0,640	0,645	0,627	0,936	0,646
3:00 p. m.	0,664	0,650	0,656	0,703	0,616	0,969	0,629

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Tabla 9. Resumen medición de caudales semana 3

SEMANA 3-CAUDAL DE ENTRADA DEL 20 AL 26 DE MARZO DEL 2023 (L/s)							
Hora de medición	Lunes 20 - Marzo	Martes 21 - Marzo	Miércoles 22 - Marzo	Jueves 23 - Marzo	Viernes 24 - Marzo	Sábado 25 - Marzo	Domingo 26 - Marzo
8:00 a. m.	0,912	0,919	0,811	0,719	0,857	0,958	0,937
9:00 a. m.	0,907	0,917	0,644	0,847	0,883	0,945	0,939
10:00 a. m.	0,943	0,794	0,677	0,636	0,627	0,974	0,914
11:00 a. m.	0,640	0,627	0,885	0,632	0,880	0,980	0,933
12:00 p. m.	0,628	0,709	0,635	0,617	0,635	0,937	0,851
1:00 p. m.	0,950	0,694	0,624	0,633	0,637	0,867	0,613
2:00 p. m.	0,758	0,648	0,630	0,634	0,647	0,640	0,721

SEMANA 3-CAUDAL DE ENTRADA DEL 20 AL 26 DE MARZO DEL 2023 (L/s)							
3:00 p. m.	0,629	0,637	0,633	0,616	0,652	0,637	0,629

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Tabla 10. Resumen medición de caudales semana 4

SEMANA 4-CAUDAL DE ENTRADA DEL 27 AL 02 DE ABRIL DEL 2023 (L/s)							
Hora de medición	Lunes 27 - Marzo	Martes 28 - Marzo	Miércoles 29 - Marzo	Jueves 30 - Marzo	Viernes 31 - Marzo	Sábado 01 - Abril	Domingo 02 - Abril
8:00 a. m.	0,943	0,938	0,882	0,930	0,872	0,985	0,983
9:00 a. m.	0,923	0,898	0,896	0,867	0,873	1,015	0,952
10:00 a. m.	0,915	0,625	0,711	0,639	0,633	0,884	0,647
11:00 a. m.	0,629	0,885	0,640	0,581	0,640	0,907	0,627
12:00 p. m.	0,634	0,637	0,627	0,791	0,930	0,631	0,932
1:00 p. m.	0,786	0,618	0,698	0,605	0,646	0,932	0,630
2:00 p. m.	0,624	0,624	0,610	0,616	0,622	0,647	0,882
3:00 p. m.	0,630	0,750	0,811	0,619	0,742	0,628	0,806

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Tabla 11. Resumen medición de caudales semana 5

SEMANA 5-CAUDAL DE ENTRADA 03-04 DE ABRIL DEL 2023 (L/s)							
Hora de medición	Lunes 03 - Abril	Martes 04 - Abril	Miércoles 05 - Abril	Jueves 06- Abril	Viernes 07 - Abril	Sábado 08 - Abril	Domingo 09 - Abril
8:00 a. m.	0,848	0,963	-	-	-	-	-
9:00 a. m.	0,958	0,949	-	-	-	-	-
10:00 a. m.	0,621	0,638	-	-	-	-	-
11:00 a. m.	0,697	0,895	-	-	-	-	-
12:00 p. m.	0,620	0,626	-	-	-	-	-
1:00 p. m.	0,640	0,724	-	-	-	-	-
2:00 p. m.	0,614	0,632	-	-	-	-	-
3:00 p. m.	0,611	0,622	-	-	-	-	-

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

A continuación, se muestra la Tabla 12. que resume el promedio de los datos medidos del caudal de entrada durante los 30 días las fechas del 6 de marzo al 4 de abril.

Tabla 12. Resumen de medición de caudales de entrada

TABLA RESUMEN DE CAUDALES (L/s)							
CAUDAL DE ENTRADA DEL 06 MARZO AL 04 DE ABRIL DEL 2023 (L/s)							
Hora de medición	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
8:00 a. m.	0,819	0,921	0,832	0,858	0,898	0,959	0,921
9:00 a. m.	0,896	0,830	0,773	0,766	0,886	0,978	0,895

TABLA RESUMEN DE CAUDALES (L/s)							
10:00 a. m.	0,845	0,670	0,758	0,689	0,671	0,923	0,831
11:00 a. m.	0,725	0,757	0,697	0,652	0,743	0,934	0,771
12:00 p. m.	0,661	0,658	0,693	0,684	0,714	0,872	0,836
1:00 p. m.	0,736	0,673	0,660	0,632	0,661	0,891	0,695
2:00 p. m.	0,650	0,665	0,605	0,652	0,639	0,786	0,723
3:00 p. m.	0,618	0,641	0,664	0,653	0,678	0,773	0,668
PROMEDIO	0,744	0,727	0,710	0,698	0,736	0,889	0,793
	0,757						

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Como se pudo observar, los momentos de mayor demanda de caudal ocurren en días laborables entre las 8:00 am y las 9:00 am, no obstante, los días sábado y domingo se registra un caudal más elevado de agua residual doméstica en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales. Según los datos recolectados en el lugar, se identificó que el caudal máximo horario se presenta los sábados a las 9:00 am, alcanzando un valor de 0.978 L/s.

En la Tabla 13 se muestra el resumen estadístico de los datos previamente recopilados:

Tabla 13. Resumen de estadística descriptiva del caudal de ingreso

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA CAUDALES DE INGRESO (L/S)							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Media:	0,744	0,727	0,710	0,698	0,736	0,889	0,793
Mediana:	0,730	0,672	0,695	0,668	0,696	0,907	0,801
Desviación Estándar (%):	10,06%	10,10%	7,29%	7,68%	10,12%	7,59%	9,31%
Máximo:	0,896	0,921	0,832	0,858	0,898	0,978	0,921
Mínimo:	0,618	0,641	0,605	0,632	0,639	0,773	0,668

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Como se observa en la tabla anterior de la estadística descriptiva de los caudales medidos del afluyente de la PTAR, se analizó que la media obtenida es de 0.889 L/s para los días con sábados en donde se presenta el mayor caudal. Es importante el cálculo de la mediana porque permite entender el valor que se sitúa en medio de los datos y puede ser menos sensible a valores atípicos. El valor mayor de la mediana fue de 0.907 L/s que corresponde a los días sábados. Por otra parte, la desviación estándar obtenida muestra que los valores son bajos entendiendo que no existe una variabilidad en cuanto a los datos recolectados, el valor mínimo se observó los días lunes con un valor de 0.618 L/s y el valor máximo se registró es el día sábado con un valor de 0.978 L/s. Por último, se recalca que al calcular estas estadísticas se podrá comprender mejor

la variabilidad, la amplitud y los extremos de los caudales en la PTAR, esto es importante para tomar decisiones acerca del diseño y operación del sistema de tratamiento, así como a planificar adecuadamente para diferentes condiciones hidrológicas.

En la Figura 32. se evidencia la toma de datos realizados in situ del caudal de entrada:



Figura 32. Medición de caudal de entrada de la PTAR

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Medición del caudal de salida

En las siguientes tablas se muestra los datos recolectados de la medición del caudal de salida.

Tabla 14. Resumen medición de caudales semana 1

SEMANA 1-CAUDAL DE SALIDA DEL 06 AL 12 DE MARZO DEL 2023 (L/s)							
Hora de medición	Lunes 6 - Marzo	Martes 7 - Marzo	Miércoles 8 - Marzo	Jueves 9 - Marzo	Viernes 10 - Marzo	Sábado 11 - Marzo	Domingo 12 - Marzo
8:00 a. m.	0,444	0,449	0,514	0,481	0,498	0,635	0,552
9:00 a. m.	0,421	0,397	0,503	0,379	0,397	0,720	0,496
10:00 a. m.	0,507	0,714	0,598	0,354	0,357	0,669	0,463
11:00 a. m.	0,483	0,404	0,338	0,328	0,322	0,825	0,458
12:00 p. m.	0,552	0,488	0,403	0,465	0,388	0,668	0,440
1:00 p. m.	0,522	0,450	0,384	0,433	0,331	0,580	0,512
2:00 p. m.	0,467	0,376	0,301	0,399	0,362	0,612	0,454
3:00 p. m.	0,485	0,392	0,332	0,347	0,304	0,535	0,418

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Tabla 15. Resumen medición de caudales semana 2

SEMANA 2-CAUDAL DE SALIDA DEL 13 AL 19 DE MARZO DEL 2023 (L/s)							
Hora de medición	Lunes 13 - Marzo	Martes 14 - Marzo	Miércoles 15 - Marzo	Jueves 16 - Marzo	Viernes 17 - Marzo	Sábado 18 - Marzo	Domingo 19 - Marzo
8:00 a. m.	0,436	0,460	0,570	0,601	0,524	0,736	0,632
9:00 a. m.	0,375	0,423	0,693	0,525	0,688	0,824	0,579
10:00 a. m.	0,340	0,564	0,600	0,467	0,514	0,700	0,573
11:00 a. m.	0,389	0,386	0,448	0,358	0,408	0,654	0,555
12:00 p. m.	0,401	0,442	0,522	0,339	0,531	0,838	0,639
1:00 p. m.	0,328	0,342	0,414	0,403	0,380	0,717	0,527
2:00 p. m.	0,329	0,309	0,329	0,513	0,367	0,709	0,483
3:00 p. m.	0,287	0,369	0,394	0,401	0,339	0,853	0,533

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Tabla 16. Resumen medición de caudales semana 3

SEMANA 3-CAUDAL DE SALIDA DEL 20 AL 26 DE MARZO DEL 2023 (L/s)							
Hora de medición	Lunes 20 - Marzo	Martes 21 - Marzo	Miércoles 22 - Marzo	Jueves 23 - Marzo	Viernes 24 - Marzo	Sábado 25 - Marzo	Domingo 26 - Marzo
8:00 a. m.	0,392	0,652	0,567	0,573	0,522	1,038	0,934
9:00 a. m.	0,398	0,519	0,443	0,520	0,413	1,370	0,961
10:00 a. m.	0,444	0,566	0,700	0,564	0,817	1,134	1,034
11:00 a. m.	0,387	0,419	0,443	0,408	0,446	0,864	0,648
12:00 p. m.	0,355	0,398	0,729	0,332	0,345	0,806	0,574
1:00 p. m.	0,331	0,345	0,610	0,305	0,278	0,583	0,414
2:00 p. m.	0,306	0,430	0,447	0,441	0,390	0,486	0,479
3:00 p. m.	0,295	0,382	0,414	0,367	0,287	0,687	0,441

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Tabla 17. Resumen medición de caudales semana 4

SEMANA 4-CAUDAL DE SALIDA DEL 27 AL 02 DE ABRIL DEL 2023 (L/s)							
Hora de medición	Lunes 27 - Marzo	Martes 28 - Marzo	Miércoles 29 - Marzo	Jueves 30 - Marzo	Viernes 31 - Marzo	Sábado 01 - Abril	Domingo 02 - Abril
8:00 a. m.	0,383	0,366	0,541	0,639	0,474	0,915	0,653
9:00 a. m.	0,398	0,443	0,527	0,565	0,387	0,794	0,529
10:00 a. m.	0,316	0,631	0,767	0,622	0,313	0,713	0,621
11:00 a. m.	0,263	0,437	0,437	0,417	0,272	0,598	0,514
12:00 p. m.	0,511	0,689	0,441	0,357	0,481	0,805	0,518
1:00 p. m.	0,435	0,475	0,367	0,323	0,393	0,709	0,565
2:00 p. m.	0,406	0,409	0,383	0,413	0,347	0,519	0,890
3:00 p. m.	0,336	0,522	0,344	0,362	0,353	0,572	0,477

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Tabla 18. Resumen medición de caudales semana 5

SEMANA 5-CAUDAL DE ENTRADA 03-04 DE ABRIL DEL 2023 (L/s)							
Hora de medición	Lunes 03 - Abril	Martes 04 - Abril	Miércoles 05 - Abril	Jueves 06- Abril	Viernes 07 - Abril	Sábado 08 - Abril	Domingo 09 - Abril
8:00 a. m.	0,499	0,503	-	-	-	-	-
9:00 a. m.	0,388	0,710	-	-	-	-	-
10:00 a. m.	0,619	0,841	-	-	-	-	-
11:00 a. m.	0,480	0,517	-	-	-	-	-
12:00 p. m.	0,421	0,385	-	-	-	-	-
1:00 p. m.	0,349	0,353	-	-	-	-	-
2:00 p. m.	0,343	0,362	-	-	-	-	-
3:00 p. m.	0,410	0,415	-	-	-	-	-

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Tabla 19. Resumen de medición de caudales de salida

TABLA RESUMEN DE CAUDALES (L/s)							
CAUDAL DE SALIDA DEL 06 DE MARZO AL 04 DE ABRIL DEL 2023 (L/s)							
Hora de medición	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
8:00 a. m.	0,431	0,486	0,548	0,574	0,505	0,831	0,693
9:00 a. m.	0,396	0,498	0,542	0,497	0,471	0,927	0,641
10:00 a. m.	0,445	0,663	0,666	0,502	0,500	0,804	0,673
11:00 a. m.	0,400	0,433	0,416	0,378	0,362	0,735	0,544
12:00 p. m.	0,448	0,480	0,524	0,373	0,436	0,779	0,543
1:00 p. m.	0,393	0,393	0,444	0,366	0,345	0,647	0,505
2:00 p. m.	0,370	0,377	0,365	0,442	0,367	0,582	0,577
3:00 p. m.	0,363	0,416	0,371	0,369	0,321	0,662	0,467
PROMEDIO	0,406	0,468	0,485	0,438	0,413	0,746	0,580
	0,505						

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Como se evidenció, los caudales de mayor demanda en los días laborables se presentan en el horario de 8:00 am a 10:00 am, sin embargo, los días sábados y domingos existe un mayor caudal de agua tratada en la salida de la PTAR que según los datos recopilados en situ el caudal máximo horario se da el día sábado a las 9:00 am y fue de 0.927 L/s.

En la Tabla 20. se muestra la estadística descriptiva de los datos obtenidos anteriormente:

Tabla 20. Resumen de estadística descriptiva del caudal de salida

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA CAUDALES DE SALIDA (L/S)							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Media:	0,406	0,468	0,485	0,438	0,413	0,746	0,580
Mediana:	0,398	0,457	0,484	0,410	0,401	0,757	0,560
Desviación Estándar (%):	3,24%	9,05%	10,38%	7,90%	7,34%	11,24%	8,12%
Máximo:	0,448	0,663	0,666	0,574	0,505	0,927	0,693
Mínimo:	0,363	0,377	0,365	0,366	0,321	0,582	0,467

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

En la tabla anterior de la estadística descriptiva de los caudales medidos del efluente de la PTAR, se analiza que la media obtenida es de 0.746 L/s para los días con sábados en donde se presenta el mayor caudal. Es importante el cálculo de la mediana porque permite entender el valor que se sitúa en medio de los datos y puede ser menos sensible a valores atípicos. El valor mayor de la mediana fue de 0.757 L/s que corresponde a los días sábados. Por otra parte, la desviación estándar obtenida muestra que los valores son bajos entendiendo que no existe una variabilidad en cuanto a los datos recolectados, el valor mínimo se observó los días viernes con un valor de 0.321 L/s y el valor máximo se registró es el día sábado con un valor de 0.927 L/s. Por último, se recalca que al calcular estas estadísticas se podrá comprender mejor la variabilidad, la amplitud y los extremos de los caudales en la PTAR, esto es importante para tomar decisiones acerca del diseño y operación del sistema de tratamiento, así como a planificar adecuadamente para diferentes condiciones hidrológicas.

En la Figura 33. se muestra una fotografía de la toma de datos realizados in situ:



Figura 33. Medición de caudal de salida de la PTAR

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Los datos analizados estadísticamente revelaron que los días sábados presentan el mayor caudal tanto en el afluente como en el efluente de la PTAR. Esta observación se puede atribuir al hecho de que los habitantes se encuentran en casa realizando diversas actividades durante los fines de semana. Los resultados fueron respaldados por entrevistas realizadas a los moradores de la zona. Durante las entrevistas, se recopilaban datos sobre los patrones de comportamiento de los residentes y sus actividades habituales durante los días de mayor caudal. Esto brinda una comprensión más profunda de los factores que influyen en los caudales observados en la PTAR.

Tomando en cuenta la importancia de la información recolectada para el diseño y la gestión adecuada de la planta de tratamiento. Al ser conscientes de los días en que se espera un mayor caudal, se pueden ajustar los procesos y la capacidad de la PTAR para garantizar un tratamiento efectivo del agua residual en momentos de alta demanda.

3.1.2.3. Toma de muestras

La recolección de muestras del agua residual se realizó mediante el método experimental, donde se seleccionó el día miércoles 10 de mayo del 2023, esta elección se basó en el hecho de que, en ese día específico, se observó que el caudal de entrada no presenta una variación considerable en comparación con los fines de semana.

Es importante tener en cuenta que la elección del día miércoles 10 de mayo del 2023 fue influenciada por factores específicos del estudio siendo que se consideró la disponibilidad de recursos y la entrega de muestras a los laboratorios, por lo que se evitó seleccionar un día de fin de semana debido a la falta de operatividad de los laboratorios y para minimizar posibles interferencias en la recolección de muestras. Además, se tuvo en cuenta la estabilidad del caudal de entrada en ese día en particular, estas consideraciones contribuyen a garantizar la integridad y la calidad de los datos recolectados durante el estudio.

Durante la toma de muestras se aplicaron los parámetros y las técnicas de muestreo establecidos por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) según la norma NTE INEN 2176:98. Estos parámetros y técnicas garantizan la calidad y la confiabilidad de los resultados obtenidos, lo que a su vez permite una evaluación precisa de la calidad del agua.

De acuerdo con la norma aplicada, se utilizó un método de muestreo compuesto tanto en la entrada como en la salida de la PTAR, esto implica que se recolectaron muestras representativas del agua residual en intervalos regulares a lo largo del horario que se estableció desde las 8:00 am hasta las 15:00 pm, con una toma de muestra cada hora.

Cabe mencionar que el uso de un muestreo compuesto implica que se combinaron las muestras recolectadas en diferentes momentos en un solo recipiente, lo que resulta en una muestra representativa de un período específico por lo que esto ayuda a reducir las posibles fluctuaciones y variaciones que podrían ocurrir en el flujo de agua residual.

Al aplicar este enfoque de muestreo compuesto, se obtiene una visión más completa y representativa de la calidad del agua tanto en la entrada como en la salida de la PTAR, permitiendo evaluar la eficacia del proceso de tratamiento.

Es importante mencionar que la obtención de las muestras se realizó mediante la determinación de volúmenes proporcionales en función del caudal promedio horario, en la Tabla 21. se muestran los valores obtenidos para el caudal de entrada de la PTAR.

Tabla 21. Volumen proporcional para la recolección del muestreo compuesto del afluente.

Hora de medición	Miércoles	% Proporción	Volumen parcial para muestra de 1L (mL)	Volumen parcial para muestra de 500 (mL)
8:00 a. m.	0,832	14,637	146,37	73,18
9:00 a. m.	0,773	13,604	136,04	68,02
10:00 a. m.	0,758	13,343	133,43	66,71
11:00 a. m.	0,697	12,273	122,73	61,36
12:00 p. m.	0,693	12,195	121,95	60,98
1:00 p. m.	0,660	11,620	116,20	58,10
2:00 p. m.	0,605	10,652	106,52	53,26
3:00 p. m.	0,664	11,676	116,76	58,38
Volumen total	5,683	100	100	500

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

En la Tabla 22. se muestra el volumen proporcional para el caudal de salida

Tabla 22. Volumen proporcional para la recolección del muestreo compuesto del efluente

Hora de medición	Miércoles	% Proporción	Volumen parcial para muestra de 1L (mL)	Volumen parcial para muestra de 500 (mL)
8:00 a. m.	0,548	14,143	141,43	70,71
9:00 a. m.	0,542	13,973	139,73	69,87
10:00 a. m.	0,666	17,189	171,89	85,95
11:00 a. m.	0,416	10,743	107,43	53,71
12:00 p. m.	0,524	13,513	135,13	67,56
1:00 p. m.	0,444	11,452	114,52	57,26
2:00 p. m.	0,365	9,419	94,19	47,10
3:00 p. m.	0,371	9,568	95,68	47,84
Volumen total	3,876	100	1000	500

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

La recolección de las muestras se evidencia en las Figuras 34 y 35.



Figura 34. Toma de muestras de agua residual de entrada de la PTAR

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña



Figura 35. Toma de muestras de agua residual de salida de la PTAR

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Posteriormente, cumpliendo con lo mencionado en la normativa NTE INEN 2169:98 sobre calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de las muestras, donde señala el uso de recipientes opacos o de vidrio color ámbar y siendo preservadas por congelación hasta llegar al lugar de análisis, así como se muestra en la Figura 36.



Figura 36. Conservación de muestras de la PTAR

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

De la misma forma, las muestras fueron recolectadas y enviadas al Laboratorio ambiental de investigación de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato para su análisis respectivo y determinar sus parámetros más importantes, tal como se indica en la Figura 37.



Figura 37. Muestras enviadas a los laboratorios de la Facultad en Alimentos de la UTA

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

3.1.3. Etapa III: Investigación de laboratorio

Los valores obtenidos en el análisis del agua residual, tanto en el afluente como en el efluente de la PTAR, se presentan en las Tablas 23 y 24. Donde estos resultados fueron proporcionados por el Ing. Rodny Peñafiel, quien llevó a cabo el análisis en el Laboratorio Ambiental e Investigación de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para evaluar la calidad del agua residual, los valores obtenidos en el análisis se compararon con los niveles máximos permisibles establecidos en la normativa. En este caso, se hizo referencia al TULSMA 2015, Libro VI Anexo 1-Tablas 8 y 9, que establece los estándares para la descarga al sistema de alcantarillado público y para el vertido del efluente a un cuerpo de agua dulce.

En el Anexo 1 de este trabajo se muestran los valores obtenidos del análisis físico-químico de las aguas residuales.

Tabla 23. Comparación de resultados de la muestra de entrada

	UNIDADES	VALOR	NORMA TULSMA TABLA 8 DESCARG A ALCANTA RILLADO	CUMPLIMIENTO	MÉTODO
Parámetros globales¹					
pH		7,1	6 a 9	Sí cumple	SM 4500 B
Conductividad	μS/cm	400,0	-	Sí cumple	SM 2510 B
Turbidez	NTU	237,0	-	Sí cumple	SM 2130 B
Parámetros en laboratorio²					
Demanda Química de Oxígeno. DQO	mg/l	200,0	500	Sí cumple	SM 5220 D
Demanda Bioquímica de Oxígeno. DBO5	mg/l	120,0	250	Sí cumple	SM 5210 D
Sólidos Totales. ST	mg/l	220,0	1600	Sí cumple	SM 2540 B
Sólidos Suspendidos Totales. SST	mg/l	20,0	220	Sí cumple	SM 2540 D
Sólidos Disueltos Totales. SDT	mg/l	200,0	-	Sí cumple	SM 2540 C
Nitrógeno amoniacal. N-NH3	mg/l	18,9	60*	Sí cumple	ASTM D1426. Nessler method

	UNIDADES	VALOR	NORMA TULSMA TABLA 8 DESCARG A ALCANTA RILLADO	CUMPLIMIENTO	MÉTODO
Nitrato. NO ₃ ⁻	mg/l	27,6	-	Sí cumple	SM 4500 NO ₃ E
Fosfato. P-PO ₃ 4 ⁻	mg/l	0,0	15**	Sí cumple	SM 4500 P E
Cloruros. Cl ⁻	mg/l	19,0	-	Sí cumple	SM 4500 P E
Sulfatos. SO ₄ 2 ⁻	mg/l	150,0	400	Sí cumple	4500-Cl G
Cromo VI. Cr+6	mg/l	n/d	0,5	Sí cumple	ASTM D1687-92. Diphenylcar bohydrazide method
Zinc. Zn	mg/l	0,500	10	Sí cumple	SM 3500- Zn B
Hierro. Fe	mg/l	0,30	25	Sí cumple	EPA Phenanthrol ine method 315B
Aluminio. Al	mg/l	0,16	5	Sí cumple	SM 3500- Al B
Manganeso. Mn	mg/l	4,0	10	Sí cumple	SM 3500- Mn B
Cobre. Cu	mg/l	0,6	1	Sí cumple	SM 3500- Cu B
Metales por Absorción Atómica³					
Cadmio. Cd	mg/l	0,0012	0,02	Sí cumple	SM 3113 B PGI AA 500 Graphite Element Data Sheets Cd. Ni. Cr. Pb. As
Niquel. Ni	mg/l	n/d	2,0	Sí cumple	
Cromo total. Cr	mg/l	n/d	-		
Plomo. Pb	mg/l	0,0267	0,5	Sí cumple	
Arsénico. As	mg/l	n/d	0,1	Sí cumple	
* Como Nitrógeno Total Kjeldahl					
** Como fósforo total					
n/d: no detectado					
SM: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. APHA					
¹ Medidor multiparámetro HANNA HI 9829					
² Fotómetro multiparamétrico con DQO HI 83399					
³ Espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito PG Instruments AA500					

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Al comparar los resultados analíticos con los límites permitidos, se pudo comprobar que los parámetros analizados cumplen con los estándares establecidos, indicando que se encuentran dentro de los límites aceptables y cumplen con los requisitos normativos.

En la Tabla 24. se muestran los resultados obtenidos del muestreo del agua residual de salida:

Tabla 24. Comparación de resultados de la muestra de salida

	UNIDADES	VALOR	NORMA TULSMA TABLA 9 DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE	CUMPLIMIENTO	MÉTODO
Parámetros globales¹					
pH		7,3	6 a 9	Sí cumple	SM 4500 B
Conductividad	µS/cm	673,0	-	Sí cumple	SM 2510 B
Turbidez	NTU	240,0	-	Sí cumple	SM 2130 B
Parámetros en laboratorio²					
Demanda Química de Oxígeno. DQO	mg/l	100,0	200	Sí cumple	SM 5220 D
Demanda Bioquímica de Oxígeno. DBO5	mg/l	55,0	100	Sí cumple	SM 5210 D
Sólidos Totales. ST	mg/l	320,0	1600	Sí cumple	SM 2540 B
Sólidos Suspendidos Totales. SST	mg/l	22,0	130	Sí cumple	SM 2540 D
Sólidos disueltos totales. TDS	mg/l	298,0	-	Sí cumple	SM 2540 C
Nitrógeno amoniacal. N-NH3	mg/l	42,3	30	No cumple	ASTM D1426. Nessler method
Nitrato. NO3-	mg/l	5,8	-	Sí cumple	SM 4500 NO3 E
Fosfato. P-PO3 4-	mg/l	26,7	10*	No cumple	SM 4500 P E
Cloruros. Cl-	mg/l	13,0	-	Sí cumple	SM 4500 P E
Sulfatos. SO4 2-	mg/l	110,0	1000	Sí cumple	4500-Cl G
Cromo VI. Cr+6	mg/l	0,010	0,5	Sí cumple	ASTM D1687-92. Diphenylcarb ohydrazide

	UNIDADES	VALOR	NORMA TULSMA TABLA 8 DESCARGA ALCANTARIL LADO	CUMPLIMIENTO	MÉTODO
Zinc. Zn	mg/l	0,20	5	Sí cumple	SM 3500-Zn B
Hierro. Fe	mg/l	0,10	10	Sí cumple	EPA Phenanthrolin 315B
Aluminio. Al	mg/l	0,17	5	Sí cumple	SM 3500-Al B
Manganeso. Mn	mg/l	2,00	2	Sí cumple	SM 3500-Mn B
Cobre. Cu	mg/l	0,30	1	Sí cumple	SM 3500-Cu B
Metales por Absorción Atómica³					
Cadmio. Cd	mg/l	0,0007	0,02	Sí cumple	SM 3113 B PGI AA 500 Graphite Element Data Sheets Cd. Ni. Cr. Pb. As
Niquel. Ni	mg/l	n/d	2,0	Sí cumple	
Cromo total. Cr	mg/l	0,0206	-		
Plomo. Pb	mg/l	0,0115	0,2	Sí cumple	
Arsénico. As	mg/l	n/d	0,1	Sí cumple	
* Como fósforo total					
n/d: no detectado					
SM: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. APHA					
¹ medidor multiparámetro HANNA HI 9829					
² fotómetro multiparamétrico con DQO HI 83399					
³ espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito PG Instruments AA500					

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

La comparación entre los resultados del efluente y las regulaciones ambientales revela que no se cumplen en su totalidad, por ejemplo, el parámetro de nitrógeno amoniacal (N-NH₃) muestra un exceso de 12.3 mg/l en relación al valor de la normativa, esto se debe a que el agua residual que ingresa a la PTAR proviene de fertilizantes eliminados del suelo por el agua o el viento, excreciones humanas y animales donde esto contiene nitrógeno en forma de amoníaco y nitrógeno orgánico, los cuales son solubles y se presentan en partícula y que durante los procesos de tratamiento no se elimina completamente.

Además, las actividades llevadas a cabo por los moradores, como la limpieza con detergentes y el uso de fertilizantes, son responsables de la presencia de fosfato. Según los resultados, se ha observado que este parámetro (P-PO₃) excede en 16.7 mg/l los

límites establecidos por la normativa. Los compuestos de fosfato son nutrientes para las plantas, y tan solo 1 gramo de fosfato puede promover el crecimiento de hasta 100 gramos de algas, esto implica que cuando hay una mayor concentración de fosfatos (PO₄-), el crecimiento de las algas se vuelve desmedido, y por ende, el crecimiento excesivo de algas afectando la cantidad de oxígeno presente en el agua promoviendo el crecimiento descontrolado de materia orgánica viva, esta situación conduce a una mayor tasa de descomposición, lo que a su vez lleva a un proceso acelerado de eutrofización [24][25].

Finalmente, el Manganeseo al ser analizado, se encuentra en el límite máximo permitido según las regulaciones establecidas, sin embargo, este parámetro se puede disminuir realizando un correcto mantenimiento a las unidades de tratamiento. Por lo tanto, considerando los parámetros mencionados, se determinó que es necesario llevar a cabo un análisis técnico del funcionamiento de la PTAR y de las unidades de tratamiento existentes.

3.1.4. Etapa IV: Análisis y verificación de funcionamiento de la PTAR

La información recolectada de la PTAR proporciona datos relevantes para realizar un diagnóstico del rendimiento de los elementos hidráulicos. Este diagnóstico evalúa la eficiencia, capacidad y funcionamiento de cada unidad de tratamiento en términos de rendimiento hidráulico y reducción de contaminantes, por lo que los resultados del diagnóstico ayudan a identificar áreas de mejora y optimización, asegurando un funcionamiento eficiente de la PTAR a largo plazo.

3.1.4.1. Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento

En la Tabla 25. se evaluó el nivel de eficiencia de depuración de los parámetros importantes mediante la ecuación 1.

Tabla 25. Porcentaje de eficiencia del tratamiento de la PTAR

Parámetro	Unidad	Líquido de ingreso (Afluente)	Líquido de descarga (Efluente)	%Eficiencia del tratamiento
Ph	-	7.5	7.3	2.66
DQO	mg/l	200	100	50

Parámetro	Unidad	Líquido de ingreso (Afluente)	Líquido de descarga (Efluente)	%Eficiencia del tratamiento
DB05	mg/l	120	55	54.16
Nitrógeno amoniaco	mg/l	18.9	42.3	-123.80
Manganeso	mg/l	4	2	50
Sólidos suspendidos	mg/l	20	22	-10
Sólidos totales	mg/l	220	320	-45.45

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Según la Tabla 25., el nitrógeno amoniaco se encuentra en -123.80 % recalando así con los resultados de análisis del agua residual de salida de la PTAR la alta presencia de este parámetro debido a que el nitrógeno orgánico soluble generalmente se encuentra en forma de urea y aminoácidos, siendo que, en el afluente, las concentraciones de nitrito y nitrato suelen ser bajas o nulas por lo que una parte de la materia orgánica en partículas se elimina en el proceso de decantación primaria. Sin embargo, para los siguientes procesos de tratamiento biológico, la mayoría del nitrógeno orgánico en partículas se convierte en amoniaco y otras formas inorgánicas. Una fracción del amoniaco se asimila en la biomasa celular. En los efluentes de los decantadores secundarios, la mayor parte del nitrógeno se presenta en forma de amoniaco. Con los sistemas de tratamiento secundario convencionales, se elimina menos del 30% del nitrógeno total [19].

De igual manera sucede con los sólidos suspendidos, se encuentran con un valor negativo de -10% la eficiencia de remoción y con los sólidos totales teniendo un -45.45%. Esto sucede debido a que en el proceso de tratamiento no se elimina completamente el material orgánico, siendo así que la PTAR no se encuentra en un buen funcionamiento, tanto que es necesario el diagnóstico técnico de las unidades que conforman el tratamiento.

Es importante destacar que para el diagnóstico de las unidades de tratamiento se toma en cuenta el caudal medido; sin embargo, para este caso se utilizará un factor de

mayoración para compensar ciertas incertidumbres y garantizar que la PTAR se encuentre diseñada para un caudal realista y seguro, a continuación, se detalla su cálculo.

Cálculo de caudal del afluente con el factor de mayoración

En el diagnóstico de la PTAR se consideró un caudal mayorado para comprobar si la estructura construida cumplirá su vida útil, por lo que en base a la norma ecuatoriana NTE INEN 1996-041 se considera utilizar la siguiente fórmula:

$$QMH = Kmaxdía * Kmaxhor * Qmed$$

Donde:

QMH: caudal máximo horario (L/s)

Kmax.día: Coeficiente del consumo máximo diario

Kmax.hor: Coeficiente del consumo máximo horario

Qmed: Caudal medio diario (L/s)

Según la normativa los coeficientes se encuentran regidos por rangos como se muestra a continuación.

Kmax.día = 1.3 – 1.5

Kmax.hor= 2 a 2.3

Por lo tanto, para los cálculos se utilizó el valor más crítico que podría llegar el caudal a la PTAR, siendo Kmax.día = 1.5 y Kmax.hor= 2.3, mientras que para el caudal medio diario se utilizó el promedio de los caudales medidos que según la Tabla 12. el Qmed es de 0.757 L/s [26].

$$QMH = Kmaxdía * Kmaxhor * Qmed$$

$$QMH = 1.5 * 2.3 * 0.757 L/s$$

$$QMH = 2.61 L/s$$

Además, en la NTE INEN 1996-041 menciona que, para el transporte de agua a una planta de tratamiento, el caudal se incrementará un 10% para satisfacer las necesidades propias de la PTAR [26].

$$Q_{MH} = Q_{med} + 10 \% (Q_{med})$$

$$Q_{MH} = 2.61 \frac{L}{s} + 10 \% (2.61 \frac{L}{s})$$

Por lo tanto, el $Q_{MH} = 2.87 \frac{L}{s}$

$$Q_{MH} = 10.33 \text{ m}^3/h$$

3.1.4.2. Diagnóstico del tanque repartido de caudales

Esta es la primera unidad de la PTAR y permite el paso del afluente hacia los siguientes procesos de tratamiento, por lo tanto, no cumple ninguna otra función en relación al pre tratamiento del agua residual, siendo esta la razón en no ser considerado para un diagnóstico con más detalle.

3.1.4.3. Diagnóstico del desarenador

Dentro de esta unidad se encuentra el proceso de cribado por medio de una rejilla y desarenador donde para su diagnóstico se utilizó el manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento de CONAGUA, donde se encuentra la información para el dimensionamiento y funcionamiento para esta unidad [27].

En la Tabla 26. se muestran los parámetros necesarios para el diagnóstico de la rejilla.

Tabla 26. Parámetros para la utilización de rejillas en cribado

TIPO DE REJILLA	CAUDAL (m ³ /h)	PROFUNDIDAD DEL CANAL (m)	ANCHO DEL CANAL (m)	ESPACIO ENTRE BARRAS (mm)
Rejilla simple	10 a 5000	0.43 a 1.68	0.30 a 2.00	12 a 80
Reja de cremallera	100 a 10000	1.50 a 5.00	0.60 a 2.00	12 a 80
Reja de cables con rastrillo	100 a 15000	2.50 a 10.00	0.60 a 4.50	12 a 80
Reja de cables con garfio	1000 a 40000	2.50 a 10.00	1.50 a 5.50	12 a 100
Reja con escobillas sobre cadena sin fin	100 a 15000	1.50 a 8.00	0.80 a 3.00	12 a 25
Reja de peines sobre cadena sin fin	500 a 30000	1.50 a 6.00	0.8 a 4.00	10 a 60

TIPO DE REJILLA	CAUDAL (m ³ /h)	PROFUNDIDAD DEL CANAL (m)	ANCHO DEL CANAL (m)	ESPACIO ENTRE BARRAS (mm)
Reja de rastrillos sobre cadena sin fin	1000 a 30000	2.00 a 6.00	1.00 a 4.00	50 a 100

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Con los datos presentados en la tabla anterior y teniendo en cuenta un caudal máximo horario calculado de 10.34 m³/h, por lo tanto, se verifica que cumple con el diseño de una rejilla simple, en la Tabla 27. se muestra los parámetros según establecido en el manual de CONAGUA.

Tabla 27. Verificación de cumplimiento rejillas de cribado

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR REAL	VALOR RECOMENDADO	CUMPLIMIENTO
Profundidad del canal	m	0.75	0.43 a 1.68	SI
Ancho del canal	m	0.70	0.30 a 2.00	SI
Espacio entre barras	mm	60	12 a 80	SI
Angulo de colocación	°	60	45 a 60	SI

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Con lo mencionado en la Tabla 27., se puede decir que la rejilla cumple con el dimensionamiento recomendado según la normativa, sin embargo, no se encuentra realizando su correcto funcionamiento debido a que la rejilla no cubre todo el ancho del canal siendo así que el material pasa hacia los siguientes tratamientos, además, se requiere de mantenimiento y limpieza constante debido a que no se encuentra en buenas condiciones.

En la Tabla 28. se presenta los valores recomendados del manual de CONAGUA y la Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), para el diagnóstico del desarenador donde se indican los valores que debe cumplir este elemento de tratamiento de tipo horizontal, con dos unidades en paralelo. Para el análisis se consideran parámetros como la profundidad del agua, su longitud, relación ancho/profundidad, ángulo de transición y periodo de operación [27] [28].

Tabla 28. Parámetros de diseño para desarenadores horizontales

PARÁMETRO	VALOR RECOMENDADO	CUMPLIMIENTO
Profundidad	0.60 a 1.50 m	CONAGUA
Longitud del desarenador	3.00 a 25 m	CONAGUA
Ángulo de divergencia en transición	12 a 30°	OPS
Relación ancho/profundidad	1 a. 1.5	OPS
Periodo de operación	24 horas	OPS

Fuente: CONAGUA y OPS [27] [28].

A continuación, se presentan los datos para realizar el diagnóstico:

Profundidad real: 0.75 m

Longitud real del desarenador: 8.61 m

Ángulo de divergencia en transición: dato que se obtuvo de la longitud de las paredes de la sección divergente y la longitud de la sección divergente.

Longitud de las paredes de la sección divergente: 0.92 m

Longitud de la sección divergente: 0.83 m

$$\phi = \text{Arccos} \left(\frac{0.83}{0.92} \right)$$

$$\phi = 25^\circ$$

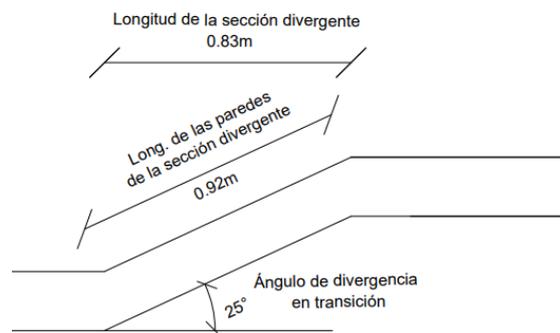


Figura 38. Dimensiones de sección divergente del desarenador

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Relación ancho/profundidad: 1 a 1.5 m

B= ancho real = 0.92 m

H=profundidad real = 0.75 m

$$B/H = 1.226$$

$$B = 1.226H$$

$$B = 1.226 (0.75 \text{ m})$$

$$\mathbf{B = 0.92 \text{ m}}$$

Error aproximado- relación ancho/profundidad

$$Err. Aprox = \left(\frac{\text{valor real} - \text{valor esperado}}{\text{valor esperado}} \right) * 100$$

$$Err. Aprox = \left(\frac{0.92 - 1.125}{1.125} \right) * 100$$

$$Err. Aprox = 0.018 * 100 = 18.22\%$$

Periodo de operación real: 24 horas

Teniendo en cuenta los parámetros mencionados en la Tabla 28., se verifica el cumplimiento de los mismos en la Tabla 29.

Tabla 29. Verificación de parámetros de diseño desarenador

PARÁMETRO	DIMENSIÓN REAL	DIMENSIÓN RECOMENDADA	CUMPLIMIENTO
Profundidad	0.75 m	0.60 a 1.50 m	SI
Longitud del desarenador	8.61 m	3.00 a 25 m	SI
Ángulo de divergencia en transición	25°	12 a 30°	SI
Relación ancho/profundidad	0.92 m	1.226 m	SI
Periodo de operación	24 horas	24 horas	SI

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Se muestra que los resultados obtenidos cumplen con todos los parámetros según las normativas.

3.1.4.4. Diagnóstico del reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB)

Para el diagnóstico de esta unidad de tratamiento se lo realizó en base a la normativa CONAGUA para reactores anaerobios de flujo ascendente, donde mediante datos de

la PTAR se tiene en cuenta el volumen del tanque siendo un valor de 253.68 m³ y se utilizó el caudal máximo horario calculado siendo de 2.87 L/s. Para la verificación del dimensionamiento del reactor se realizó obteniendo primero el valor de su TRH para corroborar si se encuentra dentro de los rangos recomendados por normativa, en la Tabla 30. se muestran los datos a utilizarse en los respectivos cálculos [27].

Tabla 30. Datos para el cálculo del TRH del reactor UASB

Parámetro	Simbología	Valor	Unidad
Caudal promedio del afluente	Q	10.34	m ³ /h
Volumen del reactor	V	247.23	m ³

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

- **Cálculo del tiempo de residencia hidráulica (TRH)**

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

$$TRH = \frac{247.23 \text{ m}^3}{10.34 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$TRH = 23.91 \text{ h}$$

En la Tabla 31. se presentan los valores del tiempo de residencia hidráulica recomendados para reactores anaerobios de flujo ascendente según Metcalf & Eddy:

Tabla 31. Tiempo de residencia hidráulica recomendados para un reactor UASB

Temperatura del agua residual (°C)	Tiempo de residencia hidráulica (h)
	Promedio diario
16-19	10-14
22-26	7-9
>26	6-8

Fuente: Metcalf & Eddy [19]

Dado que el sector donde se encuentra la PTAR posee una temperatura promedio de 13 °C, por lo tanto, en comparación con la Tabla 31. y el TRH calculado se puede decir que no se encuentra dentro de un rango, es así que su valor es elevado el cual indica que el tiempo que permanece el agua residual dentro del reactor UASB se encuentra en contacto con el lodo, y que mediante los cálculos realizados la planta está trabajando

con un TRH de 23.91 h. con lo que se esperaría mejores eficiencias en los parámetros analizados. Por otra parte, se puede decir que el caudal de entrada es menor lo cual influye para que la planta aun no alcance remociones superiores como es el caso del nitrógeno amoniacal, solidos suspendidos y totales. No obstante, en estas circunstancias no es necesario llevar a cabo un rediseño del reactor UASB, sino más bien mejorar el mantenimiento del mismo. Además, es importante destacar que se realizó una visita in situ y reveló que al reactor aun llegan materiales orgánicos.

3.1.4.5. Diagnóstico del filtro biológico de flujo ascendente

El componente fue diagnosticado técnicamente siguiendo los criterios de diseño de filtros anaerobios de flujo ascendente propuestos por el manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (CONAGUA). En la Tabla 32. se encuentran los detalles de los datos necesarios para verificar mediante las fórmulas expuestas en ese manual. El valor de cada parámetro se ajusta a las condiciones específicas del sector y los resultados obtenidos mediante la medición del caudal en etapas anteriores [27].

Tabla 32. Datos para el diagnóstico del filtro biológico de flujo ascendente

Parámetro	Simbología	Valor	Unidad
Caudal máximo de ingreso	Q	10.34	m ³ /h
DBO presente en el afluente	So	120	mgO ₂ /l
Diámetro del filtro	D	6.24	m
Altura del filtro	H	2.20	m
Longitud del borde libre	b	0.45	m
Longitud del bajo dren	d	0.28	m

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

- **Área superficial del filtro (A):**

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (6.24 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 30.58 \text{ m}^2$$

- **Volumen total del filtro (Vt):**

$$Vt = A * H$$

$$Vt = 30.58 \text{ m}^2 * 2.20 \text{ m}$$

$$Vt = 67.28 \text{ m}^3$$

- **Altura del medio filtrante (hm):**

$$hm = H - b - d$$

$$hm = 2.2 \text{ m} - 0.45 \text{ m} - 0.28 \text{ m}$$

$$hm = 1.47 \text{ m}$$

- **Volumen del lecho filtrante (Vm):**

$$Vm = hm * A$$

$$Vm = 1.47 \text{ m} * 30.58 \text{ m}^2$$

$$Vm = 44.95 \text{ m}^3$$

- **Estimación del tiempo de residencia hidráulica (TRH)**

$$TRH = \frac{Vm}{Q}$$

$$TRH = \frac{44.95 \text{ m}^3}{247.97 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$TRH = 0.18 \text{ día} = 4.35 \text{ horas}$$

- **Cálculo de la carga hidráulica superficial (CHS)**

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

$$CHS = \frac{247.97 \text{ m}^3/\text{día}}{30.58 \text{ m}^2}$$

$$CHS = 8.11 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}^2$$

- **Cálculo de la carga orgánica volumétrica total (COV)**

$$COV = \frac{Q * So}{Vt}$$

$$COV = \frac{247.97 \frac{m^3}{día} * 0.120kg * DBO_5/m^3}{67.28 m^3}$$

$$COV = 0.44 \frac{kg * DBO_5}{m^3 * día}$$

- **Cálculo de la carga orgánica volumétrica del medio filtrante (COVm)**

$$COV = \frac{Q * So}{Vm}$$

$$COV = \frac{247.97 \frac{m^3}{día} * 0.120kg * DBO_5/m^3}{44.95 m^3}$$

$$COV = 0.66 \frac{kg * DBO_5}{m^3 * día}$$

- **Eficiencia esperada de la remoción (E)**

$$E = 100[1 - 0.87(TRH^{-0.5})]$$

$$E = 100[1 - 0.87(4.35^{-0.5})]$$

$$E = 58.29 \%$$

Los valores obtenidos fueron comparados con los estándares de diseño establecidos por la normativa CONAGUA para los filtros anaerobios, como se muestra en la Tabla 33.

Tabla 33. Comparación de los parámetros reales de la PTAR con los parámetros de diseño recomendados por la normativa CONAGUA.

Parámetro de diseño	Rango de valores		
	Normativa para Q máximo diario	Valor real calculado	Verificación
Medio de empaque	Piedra	Piedra	Cumple
Altura del medio filtrante (m)	0.8 a 3.0	1.47	Cumple

Tiempo de residencia hidráulica (horas)	4 a 8	4.35	Cumple
Carga hidráulica superficial (m ³ /m ² d)	8 a 12	8.11	Cumple
Carga orgánica volumétrica (Kg DBO/m ³ d)	0.15 a 0.50	0.20	Cumple
Carga orgánica en el medio filtrante (Kg DBO/m ³ d)	0.25 a 0.75	0.30	Cumple

Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento [27].

Según se evidencia en la Tabla 33., los valores reales de los parámetros del componente analizado en la planta de tratamiento de aguas residuales del sector El Artesón cumplen con los parámetros de diseño establecidos para filtros anaerobios en el manual de CONAGUA, con estos hallazgos, no se considera necesario realizar cambios en el diseño de la unidad.

Además, durante la visita de campo, se pudo observar que el filtro no presenta problemas estructurales, solamente muestra un desgaste en la pintura de las paredes debido a la presencia de humedad y además se evidenció que 2 de sus 3 filtros se encuentran en funcionamiento.

3.1.4.6. Diagnóstico del lecho de secado de lodos

Con el fin de verificar la adecuada dimensión del lecho de secado de lodos, se empleó la guía de diseño OPS 2015. Los datos necesarios para evaluar este componente se encuentran especificados en la Tabla 34 [28].

Tabla 34. Datos utilizados para el diagnóstico del lecho de lodos

Parámetro	Simbología	Valor	Unidad
Caudal promedio de aguas residuales	Q	2.87	l/s
Sólidos en suspensión presentes en el agua residual cruda	SS	20	mg/l

Parámetro	Simbología	Valor	Unidad
Densidad de lodos	ρ_{lodo}	1.04	kg/l
Largo actual del componente	a	5.80	m
Ancho actual del componente	b	5.80	m

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

- **Determinación del porcentaje de sólidos presentes en el lodo**

De acuerdo con las regulaciones establecidas, este parámetro debe estar dentro del rango del 8% al 12%. Por lo tanto, el valor elegido es:

$$\%sólidos = 10\%$$

- **Tiempo de digestión de lodos**

El cálculo del tiempo de digestión de lodos se realizó utilizando la Tabla proporcionada en la normativa OPS como se muestra en la Tabla 35. Teniendo en cuenta que la temperatura en el sector el Artesón oscila entre los 12 y 15 °C, el tiempo de digestión de lodos seleccionado es:

Tabla 35. Tiempo requerido para la digestión de lodos

Temperatura	Tiempo de digestión (días)
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Fuente: Manual OPS [28].

$$Td = 55 \text{ días}$$

- **Profundidad de aplicación (ha)**

Según lo establecido por la norma, este parámetro debe estar dentro del rango de 0.20 a 0.40 m. Por lo tanto, se ha decidido tomar el valor promedio:

$$Ha = 0.30$$

- **Carga de sólidos que ingresa al sedimentador (C)**

$$C = Q * SS * 0.0864$$

$$C = 2.87 \frac{l}{s} * 20mg/l * 0.0864$$

$$C = 4.96 \text{ kg de SS/día}$$

- **Masa de sólidos que conforman los lodos (Msd)**

$$Msd = (0.5 * 0.7 * 0.5 * C) + (0.5 * 0.3 * C)$$

$$Msd = (0.5 * 0.7 * 0.5 * 4.96 \text{ kg de SS/día}) + (0.5 * 0.3 * 4.96 \text{ kg de SS/día})$$

$$Msd = 1.09 \text{ kg de SS/día}$$

- **Volumen diario de lodos digeridos (Vld)**

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{lodo} * (\%sólidos/100)}$$

$$Vld = \frac{1.09 \text{ kg de SS/día}}{1.04 \text{ kg/l} * (10/100)}$$

$$Vld = 10.49 \text{ l/día}$$

- **Volumen de lodos a extraerse del tanque (Vel)**

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000}$$

$$Vel = \frac{10.49 \text{ l/día} * 55 \text{ días}}{1000}$$

$$Vel = 0.58 \text{ m}^3$$

- **Área calculada del lecho de secado (Als)**

$$Als = \frac{Vel}{Ha}$$

$$Als = \frac{0.58 \text{ m}^3}{0.30 \text{ m}}$$

$$Als = 1.92 \text{ m}^2$$

- **Área real del lecho de secado de lodos (Ar)**

$$Ar = a * b$$

$$Ar = 5.80 * 5.80$$

$$Ar = 33.64 \text{ m}^2$$

Al comparar el área del lecho de secado de lodos calculada (Als) según la normativa con el área real (Ar), se observa que el área real es mayor que la calculada. Esto sugiere que el lecho de secado de lodos ha sido dimensionado de manera adecuada para cumplir con su función. Además, dado que el ancho del componente es de 5.80 m, también cumple con la recomendación de la norma OPS, que establece que el ancho debe estar entre 3 y 6 metros.

A pesar de que el lecho de secado de lodos cumple con un dimensionamiento adecuado según la normativa, se ha observado que el mantenimiento del componente no es apropiado. En ocasiones, se ha notado demoras en el proceso de limpieza, lo que ha permitido el crecimiento excesivo de maleza. Además, el componente carece de un techo que permita un secado óptimo de los lodos. Todos estos factores pueden resultar en una disminución en la vida útil de esta unidad de tratamiento.

3.1.5. Etapa V: Verificación y mejoramiento de la PTAR

En base a la información proporcionada en la etapa anterior, la PTAR cumple con las consideraciones de diseño según las normativas internacionales, esto significa que no es necesario realizar un rediseño en el tren de tratamiento actual de la planta. Sin embargo, con el objetivo de prolongar la vida útil del sistema depurador de aguas residuales y mejorar el estado actual de sus componentes para garantizar un correcto funcionamiento, se propone implementar macrófitas en los filtros de flujo ascendente para contrarrestar la presencia excesiva de nutrientes en las aguas residuales tratadas en la PTAR como es el nitrógeno amoniacal y el fosfato, una cubierta metálica en el lecho de secado de lodos y un plan de operación y mantenimiento para cada componente hidráulico presente en el proceso depurador de aguas residuales.

3.1.6. Implementación de macrófitas flotantes en los filtros anaeróbicos de flujo ascendente.

Después de analizar los resultados de laboratorio, se observó que dos parámetros, el nitrógeno amoniacal (N-NH₃) y el fosfato (P-PO₃), excedían los límites establecidos por la normativa. Como una propuesta para abordar esta situación, se consideró incorporar un sistema de tratamiento natural utilizando acuicultura mediante la inclusión de plantas macrófitas flotantes en los filtros de flujo ascendente que están en operación en la actualidad.

Ante la existencia una amplia variedad de especies macrófitas flotantes que se pueden utilizar para eliminar nutrientes en aguas residuales, donde para efectuar la selección de una de ellas se consideró varios factores como son: el clima y la disponibilidad en el mercado. Se decidió utilizar *Eichhornia crassipes*, conocida como "Jacinto de agua", que, gracias a su capacidad de adaptación y alta productividad, esta especie crece abundantemente en cuerpos de agua que están contaminados con materia orgánica y contienen altos niveles de compuestos nitrogenados y fosfatados, además de tener una circulación limitada [29].

En cuanto a sus características, estas plantas son especies acuáticas vasculares que se encuentran en agua dulce. Tienen hojas perennes de forma redondeada y brillante, y producen flores de color lavanda, las hojas de la planta son esponjosas y contienen numerosos poros de aire. Cuando crecen en agua residual, la distancia total desde la parte superior de la planta hasta las raíces puede variar entre 0,3 y 1,2 metros. Las plantas se extienden lateralmente cubriendo la superficie del agua y luego comienzan a crecer verticalmente. Su principal método de reproducción es a través de la propagación vegetativa, aunque las semillas también pueden ser una fuente importante de regeneración una vez que las plantas adultas han sido eliminadas, como se muestra en la Figura 39 [19].

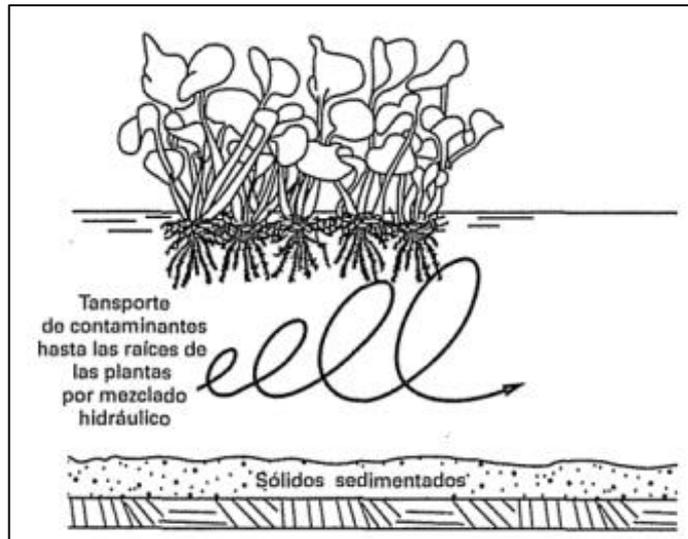


Figura 39. Funcionamiento de proceso de tratamiento con *Eichhornia crassipes*

Fuente: Metcañ & Eddy [19]

El crecimiento de los Jacintos de agua está influenciado por varios factores, como la eficiencia en la utilización de la energía solar por parte de la planta, la composición de nutrientes del agua, los métodos de cultivo y los factores ambientales. El crecimiento puede describirse de dos formas: por el porcentaje de superficie ocupada por los Jacintos de agua durante un período de tiempo específico, o por la densidad de plantas medida como masa de plantas mojadas por superficie unitaria. En condiciones normales, los jacintos de agua pueden cubrir la superficie del agua con densidades relativamente bajas, alrededor de 10 kg/m² de peso mojado. Sin embargo, pueden alcanzar densidades de hasta 80 kg/m². Al igual que otros procesos biológicos, la velocidad de crecimiento de los jacintos de agua está influenciada por la temperatura [19].

Además, se ha verificado la efectividad del cultivo para la depuración del agua, con un costo inferior a comparación con la utilización de sustancias químicas. El lirio de agua posee la capacidad sorprendente de filtrar agua contaminada al absorber los contaminantes, lo que le permite purificar el agua al capturar Plomo, Mercurio, detergentes y otras sustancias, incluso hidrocarburos. Aunque su principal ventaja como método de descontaminación es su rápida reproducción, es importante tener en cuenta que tiene una baja tolerancia a climas fríos. Por lo tanto, este tratamiento del agua resulta más eficaz en regiones cálidas o templadas [30].

Para la colocación de plantas flotantes, existen dos métodos que se pueden emplear: el primero consiste en pesar la biomasa y agregarla a la laguna, o cubrir la laguna con las plantas hasta alcanzar el 50% del espejo de agua al inicio del tratamiento. A través de cosechas periódicas, se mantiene el valor de la biomasa dentro del rango recomendado de operación. En el segundo método, se mantiene una cobertura del 75% del espejo de agua. En este caso, no es necesario retirar toda la biomasa para restablecer el peso necesario, como en el primer método. Solo se retira la biomasa que cubra más del 75% del espejo de agua [31].

La cosecha y procesado de los Jacintos de agua depende de la calidad de las aguas, de la velocidad de crecimiento de las plantas y la eliminación de nutrientes. Se lo realiza con frecuencia, generalmente cada tres o cuatro semanas, para facilitar la eliminación de nutrientes. Solo mediante cosechas frecuentes se logra eliminar cantidades significativas de fósforo. Por lo general, los Jacintos cosechados se secan y luego se aplican al suelo o se distribuyen sobre el terreno mediante arados. Otra opción es compostar los jacintos de agua de manera sencilla [19].

3.1.6.1. Remoción del material granular del filtro anaerobio de flujo ascendente

Debido a que las raíces de la planta acuática alcanzan los 30 cm, se propone retirar material filtrante de la unidad, donde se realizó nuevamente el diagnóstico de la unidad.

Tabla 36. Datos para el diagnóstico del filtro biológico de flujo ascendente

Parámetro	Simbología	Valor	Unidad
Caudal máximo de ingreso	Q	3.52	m ³ /h
Diámetro del filtro	D	5.38	m
Altura del filtro	H	2.20	m
Longitud del borde libre	b	0.75	m
Longitud del bajo dren	d	0.28	m

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

- **Área superficial del filtro (A):**

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (5.38 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 22.73 \text{ m}^2$$

- **Volumen total del filtro (Vt):**

$$Vt = A * H$$

$$Vt = 22.73 \text{ m}^2 * 2.20 \text{ m}$$

$$Vt = 50.006 \text{ m}^3$$

- **Altura del medio filtrante (hm):**

$$hm = H - b - d$$

$$hm = 2.20 \text{ m} - 0.75 \text{ m} - 0.28 \text{ m}$$

$$hm = 1.17 \text{ m}$$

- **Volumen del lecho filtrante (Vm):**

$$Vm = hm * A$$

$$Vm = 1.17 \text{ m} * 22.73 \text{ m}^2$$

$$Vm = 26.59 \text{ m}^3$$

- **Cálculo de la carga hidráulica superficial (CHS)**

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

$$CHS = \frac{84.47 \text{ m}^3/\text{dia}}{22.73 \text{ m}^2}$$

$$CHS = 3.71 \text{ m}^3/\text{dia}/\text{m}^2$$

Los valores obtenidos fueron comparados con los estándares de diseño establecidos por la normativa CONAGUA para los filtros anaerobios.

Tabla 37. Comparación de los parámetros reales de la PTAR con los parámetros de diseño recomendados por la normativa CONAGUA.

Parámetro de diseño	Rango de valores		
	Normativa para Q máximo horario	Valor real calculado	Verificación
Medio de empaque	Piedra	Piedra	Cumple
Altura del medio filtrante (m)	0.8 a 3.0	1.17	Cumple

Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento [27].

En la Tabla 36. se observa el cumplimiento de la altura calculada para la colocación de los “Jacintos de agua” en el filtro anaerobio de flujo ascendente.

3.1.7. Implementación de cubierta metálica en los dos lechos de secado de lodos.

Se realizará una cubierta utilizando una estructura metálica para proteger los lechos de secado de lodos de las condiciones climáticas específicas de la zona, a continuación, se detalla su prediseño.

Para el prediseño se utilizaron los siguientes datos:

Luz (L): 5.80 m

Altura (H): 2.0 m

Longitud entre Cerchas (s): 2.55 m

Pendiente: 20%

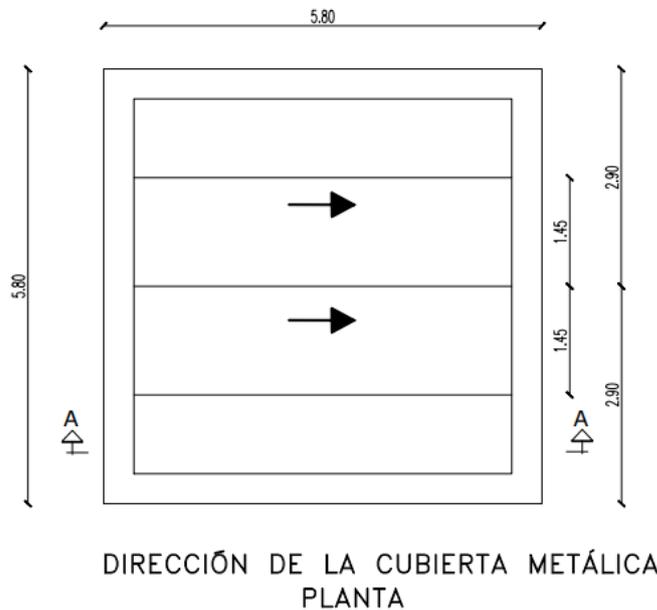


Figura 40. Dirección de la cubierta metálica en planta

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

➤ **Cuantificación de cargas**

Cálculo de la Carga Muerta (CM)

Peso propio de la estructura metálica

$$P.p. \text{ estructura metálica} = 1 \text{ kg/m}^2 * m_{luz}$$

$$P.p. \text{ estructura metálica} = 1 \text{ kg/m}^2 * 5.80m$$

$$P.p. \text{ estructura metálica} = 5.80 \text{ kg/m}$$

$$P.p. \text{ techo (Zinc DIPAC[32] ; e = 0.20 mm;) ; } P = 1.8 \text{ kg/m}^2$$

$$CM = P.p. \text{ estructura metálica} + P.p. \text{ techo}$$

$$CM = 5.80 \text{ kg/m} + 1.8 \text{ kg/m}$$

$$CM = 7.60 \text{ kg/m}^2$$

Cálculo de la Carga Viva (CV)

CV Según NEC SE-CG

$$CV \text{ Según NEC SE-CG} = 70 \text{ kg/m}^2$$

Mayoración de Cargas.

$$U = 1.2D + 1.6L$$

$$U = 1.2(7.60 \text{ kg/m}^2) + 1.6(70 \text{ kg/m}^2)$$

$$U = 121.12 \text{ kg/m}^2$$

Carga Última.

$$q_u = U(\text{kg/m}^2) * \text{Área cooperante}$$

$$q_u = 121.12 \text{ kg/m}^2 * 1.45 \text{ m} * 5.80 \text{ m}$$

$$q_u = 1018.62 \text{ Kg}$$

➤ **Prediseño de columna y viga metálica**

Datos:

Fy: 2530 [kg/cm²] – Acero A36

Longitud de la Columna: 2 m

Carga Mayorada: 121.12 Kg/m²

Carga Última: 1018.62 Kg

Cálculo de la relación de esbeltez

Para obtener el valor de la Tabla 38. se asume la esbeltez. Donde el proceso de diseño a compresión es un tema de ensayo y error, debido a que el esfuerzo de diseño " ϕf_c " no se conoce hasta que sea seleccionado el perfil y viceversa, por otra parte, el manual AISC en su Tabla 4-22 brinda esfuerzos de diseño " ϕf_c " para determinadas relaciones

de esbeltez, por lo que estas tablas se las utiliza a partir de la relación de esbeltez asumida " KL/r "

AISC recomienda:

✓ Diseño óptimo $KL/r = 40-60$

Se asumió:

$$\frac{KL}{r} = 50$$

Verificación de " ϕF_{cr} " (Tabla 4-22) A36 [33].

Tabla 38. Estrés crítico disponible para miembros de compresión

Table 4-22 (continued) Available Critical Stress for Compression Members														
$F_y = 35$ ksi			$F_y = 36$ ksi			$F_y = 42$ ksi			$F_y = 46$ ksi			$F_y = 50$ ksi		
$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$
	ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi
	ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD
41	19.2	28.9	41	19.7	29.7	41	22.7	34.1	41	24.6	37.0	41	26.5	39.8
42	19.2	28.8	42	19.6	29.5	42	22.6	33.9	42	24.5	36.8	42	26.3	39.5
43	19.1	28.7	43	19.6	29.4	43	22.5	33.7	43	24.3	36.6	43	26.2	39.3
44	19.0	28.5	44	19.5	29.3	44	22.3	33.6	44	24.2	36.3	44	26.0	39.1
45	18.9	28.4	45	19.4	29.1	45	22.2	33.4	45	24.0	36.1	45	25.8	38.8
46	18.8	28.3	46	19.3	29.0	46	22.1	33.2	46	23.9	35.9	46	25.6	38.5
47	18.7	28.1	47	19.2	28.9	47	22.0	33.0	47	23.8	35.7	47	25.5	38.3
48	18.6	28.0	48	19.1	28.7	48	21.8	32.8	48	23.6	35.4	48	25.3	38.0
49	18.5	27.9	49	19.0	28.5	49	21.7	32.6	49	23.4	35.2	49	25.1	37.7
50	18.4	27.7	50	18.9	28.4	50	21.6	32.4	50	23.3	35.0	50	24.9	37.5
51	18.3	27.6	51	18.8	28.3	51	21.4	32.2	51	23.1	34.8	51	24.8	37.2
52	18.3	27.4	52	18.7	28.1	52	21.3	32.0	52	23.0	34.5	52	24.6	36.9
53	18.2	27.3	53	18.6	28.0	53	21.2	31.8	53	22.8	34.3	53	24.4	36.7
54	18.1	27.1	54	18.5	27.8	54	21.0	31.6	54	22.6	34.0	54	24.2	36.4
55	18.0	27.0	55	18.4	27.6	55	20.9	31.4	55	22.5	33.8	55	24.0	36.1
56	17.9	26.8	56	18.3	27.5	56	20.7	31.2	56	22.3	33.5	56	23.8	35.8
57	17.7	26.7	57	18.2	27.3	57	20.6	31.0	57	22.1	33.3	57	23.6	35.5
58	17.6	26.5	58	18.1	27.1	58	20.5	30.7	58	22.0	33.0	58	23.4	35.2
59	17.5	26.4	59	17.9	27.0	59	20.3	30.5	59	21.8	32.8	59	23.2	34.9
60	17.4	26.2	60	17.8	26.8	60	20.2	30.3	60	21.6	32.5	60	23.0	34.6
61	17.3	26.0	61	17.7	26.6	61	20.0	30.1	61	21.4	32.2	61	22.8	34.3

Fuente: AISC-Tabla 4.22 [33]

Cálculo del área requerida

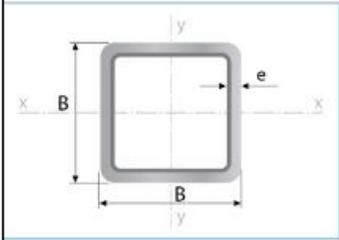
$$\phi F_{cr} = 28.40 \text{ Ksi} = 1996.718 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{req} = \frac{Pu}{\phi F_{cr}}$$

$$A_{req} = \frac{1018.62 \text{ vKg}}{1996.72 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$A_{req} = 0.51 \text{ cm}^2$$

El área requerida calculada es de 0.51 cm² lo que es un valor menor al área de acero utilizada en construcción, además dentro del catálogo de IPAC, el área calculada es inferior al área del perfil mínimo. Por lo que se optó escoger un perfil óptimo de 5 mm x 5 mm x 1.40 mm de espesor, debido a la ejecución real en obra. Por lo que en la Figura 41. se indica el perfil seleccionado.



Designaciones	Área	Peso	Propiedades Estáticas			
			Eje x-x' = y-y'			
			Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
20	1,40	0,99	0,78	0,56	0,56	0,75
	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,75
	1,80	1,23	0,96	0,66	0,66	0,73
	2,00	1,34	1,05	0,70	0,70	0,72
25	1,40	1,27	1,00	1,16	0,93	0,95
	1,50	1,35	1,06	1,22	0,97	0,95
	1,80	1,59	1,25	1,39	1,11	0,94
	2,00	1,74	1,36	1,49	1,19	0,93
30	1,40	1,55	1,22	2,08	1,39	1,16
	1,50	1,65	1,30	2,20	1,47	1,15
	1,80	1,95	1,53	2,53	1,68	1,14
	2,00	2,14	1,68	2,73	1,82	1,13
38	1,40	2,00	1,57	4,41	2,32	1,48
	1,50	2,13	1,67	4,67	2,46	1,48
	1,80	2,52	1,98	5,42	2,85	1,47
	2,00	2,78	2,18	5,89	3,10	1,46
40	1,40	2,11	1,66	5,18	2,59	1,57
	1,50	2,25	1,77	5,49	2,75	1,56
	1,80	2,67	2,09	6,39	3,19	1,55
	2,00	2,94	2,31	6,95	3,47	1,54
	2,50	3,59	2,82	8,23	4,12	1,51
	3,00	4,21	3,30	9,36	4,68	1,49
	4,00	5,35	4,20	11,18	5,59	1,45
50	1,40	2,67	2,10	10,42	4,17	1,97
	1,50	2,85	2,24	11,07	4,43	1,97
	1,80	3,39	2,66	12,95	5,18	1,96
	2,00	3,74	2,93	14,15	5,66	1,95
	2,50	4,59	3,60	16,96	6,78	1,92
	3,00	5,41	4,25	19,50	7,80	1,90
	4,00	6,95	5,45	23,84	9,54	1,85
60	1,50	3,45	2,71	19,52	6,51	2,38
	1,80	4,11	3,22	22,95	7,65	2,36
	2,00	4,54	3,56	25,15	8,38	2,35
	2,50	5,59	4,39	30,36	10,12	2,33
	3,00	6,61	5,19	35,17	11,72	2,31
	4,00	8,55	6,71	43,65	14,55	2,26
70	1,50	4,05	3,18	31,46	8,99	2,79
	1,80	4,83	3,79	37,09	10,60	2,77
	2,00	5,34	4,19	40,73	11,64	2,76
	2,50	6,59	5,17	49,43	14,12	2,74

Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Calidad de Acero:
JIS G 3132, ASTM A 36 y ASTM A572 Gr 50
Norma de Fabricación:
ASTM A 500/ NTE INEN 2415
Espesores:
Desde 1,40 a 6,00 mm
Observaciones:
Otras dimensiones y largos,
previa consulta

Figura 41. Catálogo DIPAC

Fuente: DIPAC [34]

Para la estructura de la viga metálica, se utiliza principalmente como una cubierta básica para protección contra la lluvia, por lo que se decidió utilizar una sección de viga de dimensiones 100 mm x 100 mm con un espesor de 2 mm. Esta elección se debe a que la longitud del lecho de secado de lodos es de 5.80 metros, por lo tanto, se optó por utilizar la misma sección de viga para las columnas, de manera que sean

capaces de soportar el peso de la viga. En la Figura 42. se muestra las dimensiones seleccionadas.

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

Figura 42. Catálogo DIPAC

Fuente: DIPAC [34]

Cálculo de la correa de la cubierta.

En el caso de las correas de la cubierta el diseño será de forma básica para el requerimiento de esta se encuentra establecido en el catálogo IPAC 2019.

Parámetros de la correa estructural

Separación entre correas: 0.60 cm

Luz libre de la correa: 5.80 m

Para poder encontrar la correa óptima se opta por encontrar la carga admisible con la siguiente fórmula.

$$P = Q * A$$

Dónde:

P: Carga admisible de la correa (kg/m)

Q: Carga por m² elegido

A: Separación entre correas

Traslape de la plancha: 10 cm

$$P = Q * A$$

$$P = 60 \frac{kg}{m^2} * (1.10 m - 0.10 m)$$

$$P = 60 \frac{kg}{m}$$

Después de determinar la carga máxima, se procede a buscar en el catálogo de IPAC 2019 una correa que tenga una capacidad de carga admisible mayor y sea capaz de soportar dicha carga, en la Figura 43. se muestra las dimensiones seleccionadas.

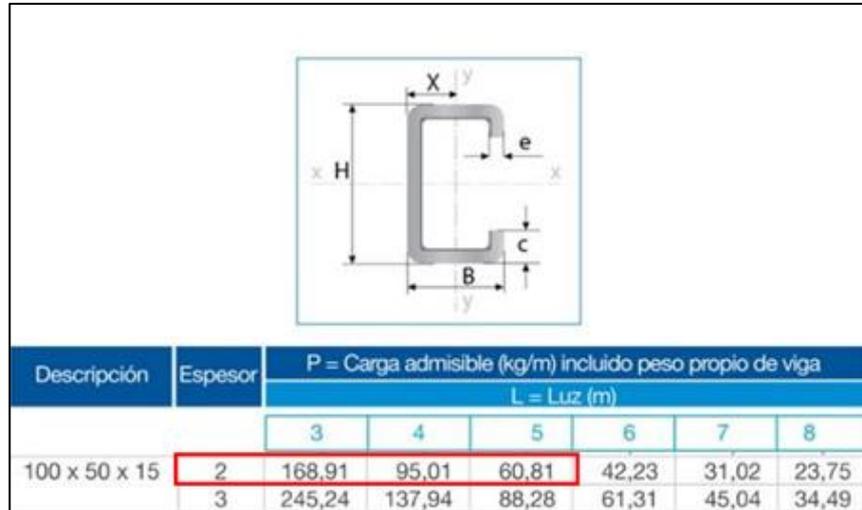


Figura 43. Detalle de la correa estructural-Catálogo IPAC

Fuente: DIPAC [34]

Como se puede observar, la correa escogida para la distancia libre tiene una capacidad de carga admisible de 60.81 kg/m, lo cual supera la carga calculada previamente.

Carga Admisile Catálogo > Carga Admisible

$$60.81 \frac{kg}{m} > 60 \frac{kg}{m} \rightarrow Ok, Cumple$$

Por lo tanto, el prediseño realizado cumple según las dimensiones establecidas, en cuanto a su diseño se observa en el Anexo 2.

3.1.8. Plan de Operación y mantenimiento

El plan de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento del sector el Artesón en la parroquia Píllaro tiene como objetivo proporcionar una descripción detallada de las actividades necesarias, así como de las herramientas y recursos requeridos. Esto permitirá que el operario realice sus tareas de manera organizada y eficiente, optimizando así el uso del tiempo y los recursos disponibles.

Es relevante resaltar que, aunque la PTAR cumpla con las regulaciones establecidas, resulta esencial llevar a cabo una supervisión constante del sistema y realizar ajustes

en el plan de operación y mantenimiento de acuerdo a las necesidades, a fin de adaptarse a los cambios en las condiciones de funcionamiento y las actualizaciones correspondientes.

Es fundamental que los operadores encargados de la planta posean el conocimiento y la formación adecuada para manipular los componentes hidráulicos y comprender su funcionamiento. Además, es esencial que cada operador cuente con el equipo de protección personal (EPP) necesario antes de ingresar a la planta de tratamiento de aguas residuales.

A continuación, se menciona el equipo de protección recomendado para llevar a cabo el mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR):

- Casco de seguridad
- Guantes de látex
- Botas de caucho
- Gafas y mascarilla contra gases
- Overol de trabajo

Además de lo anteriormente mencionado, es igualmente crucial realizar una limpieza adecuada de las herramientas y equipos utilizados durante la limpieza, así como mantener una higiene apropiada al entrar y salir de la PTAR.

A continuación, se detalla las medidas que se implementarán en la PTAR, tomando en cuenta las propuestas mencionadas anteriormente.

Medida 1: Limpieza general de la PTAR

Descripción de actividades:

- ✓ **Limpieza y mantenimiento**
- Realizar una poda completa en la PTAR
- Retirar escombros fuera de la PTAR

A continuación, en la Tabla 39. se detalla la frecuencia, materiales, personal y costo para la medida propuesta.

Tabla 39. Resumen plan de operación y mantenimiento de la limpieza general de la PTAR

Actividad	Frecuencia	Materiales y Herramientas	Personal	Costo
Cortar o podar la vegetación en el área alrededor de las unidades hidráulicas	1 vez/mes	Pala, carretilla, guadaña	1 peón, 1 operador	\$25.52

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

✓ **Responsable**

GAD Municipal Santiago de Píllaro-Departamento de obras públicas

Medida 2: Mantenimiento y operación del tanque repartidor de caudales

Descripción de actividades:

Siendo la primera unidad de tratamiento en recibir el flujo de aguas residuales de la red de alcantarillado está construida con hormigón armado y consta de tuberías de entrada, tuberías de salida hacia la siguiente unidad y una tubería adicional hacia una caja de control.

✓ **Limpieza y mantenimiento**

Implica el retiro de sedimentos, escombros y lavado de sus paredes interiores y de las tuberías existentes, de manera que en la Tabla 40. se detalla la frecuencia, personal y el costo para esta actividad.

Tabla 40. Resumen planta de operación y mantenimiento tanque repartidor de caudales.

Actividad	Frecuencia	Materiales y Herramientas	Personal	Costo
Limpieza y transporte de los sólidos acumulados en la rejilla	1 vez/ mes	Herramienta menor	1 operador	\$ 10.12

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

✓ **Responsable**

GAD Municipal Santiago de Píllaro-Departamento de obras públicas

Medida 3: Mantenimiento y operación del canal, cribado y desarenador

Descripción de actividades:

✓ **Limpieza y mantenimiento**

- Extraer los desechos y objetos grandes de las rejillas de cribado que son arrastrados por el flujo de agua.
- Una vez finalizada la limpieza, se procede a reinstalar las rejillas en su posición original, manteniendo una inclinación de 60°.
- Realizar una inspección del nivel de acumulación de sólidos en el fondo del desarenador y, en caso de ser necesario, interrumpir el flujo en el canal para proceder a su extracción.
- Llevar a cabo el raspado de las superficies internas del canal con el fin de prevenir la acumulación de material orgánico y sedimentos.

En la Tabla 41. se detalla la frecuencia, materiales, personal y costo de la actividad

Tabla 41. Resumen plan de operación y mantenimiento rejillas de cribado y desarenador

Actividad	Frecuencia	Materiales y Herramientas	Personal	Costo
Limpieza y desalojo de material acumulado en el interior de la unidad	2 vez/ mes	Pala, escoba, carretilla, cortadora de guadaña	1 peón, 1 operador	\$15.84

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

✓ **Responsable**

GAD Municipal Santiago de Píllaro-Departamento de obras públicas

Medida 4: Mantenimiento y operación del reactor UASB

Descripción de actividades:

✓ **Limpieza y mantenimiento**

- Limpieza del conducto de la cámara de repartición de caudales cada año.

- Realizar el escobillado de la capa de espuma flotante y natas que se encuentran en la parte superior del reactor.
- Abrir las tapas de inspección para permitir la ventilación de los gases acumulados.
- Eliminar los lodos al abrir la válvula que dirige los lodos hacia el lecho de secado correspondiente.

En la Tabla 42. se detalla los materiales, frecuencia, personal y costo para esta actividad.

Tabla 42. Resumen plan de operación y mantenimiento del Reactor UASB

Actividad	Frecuencia	Materiales y Herramientas	Personal	Costo
Limpieza de las paredes de la unidad y abrir la válvula de salida de lodos	Cada 2 meses	Pala, manguera y carretilla, coladera	1 peón, 1 operador	\$60.84

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

✓ **Responsable**

GAD Municipal Santiago de Píllaro-Departamento de obras públicas

Medida 5: Mantenimiento y operación del lecho de secado de lodos

Descripción de actividades:

✓ **Limpieza y mantenimiento**

- Garantizar una distribución uniforme de los lodos al ser descargados en el lecho de secado para asegurar un proceso de secado adecuado.
- Realizar una verificación para asegurarse de que los lodos estén completamente secos antes de proceder a su extracción manual.

Si se tiene la intención de utilizar el material del lecho como abono, es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Aplicar una capa de cal en toda la superficie superior de los lodos para controlar la proliferación de organismos patógenos y promover un secado más eficiente.

- Una vez que el proceso de secado esté completo, se deben extraer los lodos y trasladarlos de manera apropiada a una zona designada para evitar cualquier impacto ambiental negativo. Posteriormente, se procederá a su tratamiento para su uso en la agricultura.
- Por último, una vez se hayan retirado los lodos, se llevará a cabo la limpieza del lecho de secado.

En la Tabla 43. se detalla la frecuencia, materiales, personal y costo para la propuesta de esta medida.

Tabla 43. Resumen plan de operación y mantenimiento lecho de secado de lodos

Actividad	Frecuencia	Materiales y Herramientas	Personal	Costo
Limpieza de la unidad retirando el lodo removido	1 vez/3 meses	Pala, escoba, carretilla, cortadora de guadaña	1 peones, 1 operador	\$ 21.12

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

✓ **Responsable**

GAD Municipal Santiago de Píllaro-Departamento de obras públicas

Medida 6: Mantenimiento y operación del filtro anaerobio de flujo ascendente

Descripción de actividades:

✓ **Limpieza y mantenimiento**

- Realizar una inspección de las tuberías y válvulas de entrada y salida de los filtros para verificar su correcto funcionamiento.
- Drenar completamente el agua presente en el filtro y durante este proceso, cepillar las paredes laterales para remover los sedimentos acumulados.
- Antes de ponerlo en funcionamiento nuevamente, es necesario eliminar todos los residuos orgánicos (como hojas, ramas, etc.) que hayan caído en el filtro.

En la Tabla 44. se detalla la frecuencia, materiales, personal y costo utilizado para esta medida.

Tabla 44. Resumen plan de operación y mantenimiento filtro anaerobio de flujo ascendente

Actividad	Frecuencia	Materiales y Herramientas	Personal	Costo
Limpieza de los materiales del filtro	Cada 6 meses	Pala, escoba, carretilla, cortadora de guadaña	1 peón, 1 operador	\$ 21.12
Remoción de material filtrante	1 vez	Manguera, carro cisterna	1 peón, 1 operador	\$ 76.31

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

✓ **Responsable**

GAD Municipal Santiago de Píllaro-Departamento de obras públicas

Medida 7: Mantenimiento y operación las plantas acuáticas “jacinto de agua”

Descripción de actividades:

✓ **Limpieza y mantenimiento**

- Realizar una inspección de las tuberías y válvulas de entrada y salida de los filtros para verificar su correcto funcionamiento.
- Drenar completamente el agua presente en el filtro y durante este proceso, cepillar las paredes laterales para remover los sedimentos acumulados.
- Antes de ponerlo en funcionamiento nuevamente, es necesario eliminar todos los residuos orgánicos (como hojas, ramas, etc.) que hayan caído en el filtro.

En la Tabla 45., se muestra la frecuencia, materiales, personal y costo que se utilizará para esta actividad.

Tabla 45. Resumen plan de operación y mantenimiento filtro anaerobio de flujo ascendente con plantas acuáticas

Actividad	Frecuencia	Materiales y Herramientas	Personal	Costo
Limpieza y mantenimiento	1 vez/mes	Pala, carretilla	1 peón, 1 operador	\$ 21.12

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

✓ **Responsable**

GAD Municipal Santiago de Píllaro-Departamento de obras públicas

Medida 8: Pintura de las unidades hidráulicas

Descripción de actividades:

✓ **Pintura**

- Tareas de limpieza y mantenimiento.
- Si la estructura de la unidad hidráulica presenta algún deterioro, se realizará el proceso de lijado y reparación correspondiente.
- Aplicar pintura anticorrosiva en todas las partes de la unidad para protegerla contra la corrosión.

En la Tabla 46. se detalla la frecuencia, materiales, personal y costo para la medida propuesta.

Tabla 46. Resumen plan de operación y mantenimiento de la limpieza general de la PTAR

Actividad	Frecuencia	Materiales y Herramientas	Personal	Costo
Retirar el moho presente en las paredes Impermeabilización de cada una de las paredes de las unidades hidráulicas Pintura en las paredes	1 vez/mes	Pala, carretilla, guadaña	1 peón, 1 pintor	\$338.96

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

✓ **Responsable**

GAD Municipal Santiago de Píllaro-Departamento de obras públicas

Medida 9: Monitoreo del agua residual tratada

Descripción de actividades:

Con el fin de comprobar el correcto funcionamiento de la PTAR, se llevará a cabo una recolección de muestras al final del proceso de tratamiento, siguiendo la normativa NTE INEN 2176:2013. Estas muestras serán analizadas en un laboratorio especializado y certificado.

En la Tabla 47. se muestra la frecuencia, materiales, personal y costo que se utilizará para esta actividad.

Tabla 47. Resumen plan de operación y mantenimiento monitoreo del agua residual tratada

Actividad	Frecuencia	Materiales y Herramientas	Personal	Costo
Monitoreo de los análisis físicos químicos del efluente	1 vez/6 mes	Botella de vidrio color ámbar, EPP	1 laboratorista	\$385.42

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

✓ **Responsable**

GAD Municipal Santiago de Píllaro-Departamento de obras públicas

Medida 10. Presupuesto del plan de mejoras de la PTAR

La Tabla 48. proporciona una representación del presupuesto estimado relacionado con las acciones implementadas en el plan de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento.

Tabla 48. Presupuesto de plan de mejoras de la PTAR el Artesón

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

PROYECTO: "EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR PLAYA GRANDE EL ARTESÓN DE LA PARROQUIA PÍLLARO DEL CANTÓN SANTIAGO DE PÍLLARO DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA"

No.	Rubro / Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
	Implementación de la especie "Jacinto de agua" en el FAFA 1 y 2				
1	Remoción de capa vegetal y limpieza del material filtrante	u	2	76,31	152,62
2	Suministro y colocación de especie "jacinto de agua"	u	2	18,00	35,99
				Subtotal 1	188,61
	Implementación de cubierta metálica para el lecho de secado de lodos				
3	Instalación de estructura metálica, acero A36	Kg	732,14	4,30	3148,85
4	Instalación de zinc translucido e=20mm	m2	12	13,57	162,80
5	Canal y bajante de agua lluvia	m2	12	25,68	308,22
				Subtotal 2	3619,86

No.	Rubro / Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Plan de Operación y Mantenimiento					
6	Limpieza general de la PTAR	u	1	24,45	24,45
7	Mantenimiento y operación del tanque repartidor de caudales	u	1	10,12	10,12
8	Mantenimiento y operación del canal, cribado y desarenador	u	1	15,18	15,18
9	Mantenimiento y operación del reactor UASB	u	1	58,30	58,30
10	Mantenimiento y operación del lecho de secado de lodos	u	2	10,12	20,24
11	Mantenimiento y operación del filtro anaerobio de flujo ascendente	u	2	10,12	20,24
12	Mantenimiento y operación las plantas acuáticas “jacinto de agua”	u	2	10,12	20,24
13	Pintura de las unidades hidráulicas	m ²	110	2,95	324,83
14	Monitoreo del agua residual tratada	u	2	184,68	369,36
				Subtotal 2	862,96
TOTAL					4671,44

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

Por último, para el plan de mantenimiento de cada unidad de tratamiento, la implementación de planta acuática Eichhornia crassipes y la cubierta metálica de la PTAR el Artesón, se obtuvo una cantidad correspondiente al costo total de \$ 4867. 47 (Cuatro mil ochocientos sesenta y siete con cuarenta y siete centavos).

El detalle de los precios de cada rubro se presenta en el Anexo 3.

3.2. Planteamiento y Verificación de hipótesis

Hipótesis de trabajo

La planta de tratamiento de aguas residuales del sector Playa Grande el Artesón, perteneciente a la parroquia Píllaro, del cantón Santiago de Píllaro de la provincia de Tungurahua se encuentra funcionando de manera correcta en sus condiciones actuales.

Hipótesis Nula

La planta de tratamiento de aguas residuales del sector Playa Grande el Artesón, perteneciente a la parroquia Píllaro, del cantón Santiago de Píllaro de la provincia de Tungurahua no se encuentra funcionando de manera correcta en sus condiciones actuales.

Verificación de hipótesis

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del sector Playa Grande el Artesón en el cantón Santiago de Píllaro se encuentra experimentando problemas en su funcionamiento actual. Aunque logra reducir los contaminantes del agua residual, no lo hace de manera óptima. Esto se basa en los resultados presentados en las Tablas 23 y 24, donde se observa que ciertos parámetros analizados cumplen con los límites establecidos por la norma TULSMA 2015, excepto en el caso de dos parámetros que superan dichos límites como es el nitrógeno amoniacal y el fosfato. Sin embargo, según la evaluación realizada a cada unidad de tratamiento, esto se debe a la falta de mantenimiento de los mismos.

Según la información recopilada, la planta actualmente recibe aproximadamente el 25% del caudal para el cual fue diseñada. Esto permitió verificar que los componentes del tratamiento cumplen con las normas de diseño de CONAGUA según las cuales fueron evaluados. Sin embargo, no está logrando reducir los parámetros de manera adecuada.

A partir de la evaluación del funcionamiento actual de la PTAR, se ha podido confirmar la hipótesis inicial del estudio, que indica que la planta de tratamiento de aguas residuales del sector Playa Grande el Artesón en el cantón Santiago de Píllaro de la provincia de Tungurahua, no está operando correctamente, como se muestra en la Tabla 49.

Tabla 49. Cuadro resumen del funcionamiento actual de los componentes de la PTAR el Artesón

Componente	Funcionamiento actual vs. Teórico calculado	Observación	Cumplimiento
Desarenador	Tanto el largo del desarenador (8.30 m) como su profundidad (0.75 m) se encuentran dentro del rango recomendado por la norma CONAGUA, que establece una longitud de 3 a 25 metros y una profundidad de 0.6 a 1.5 metros. Además, al calcular el ancho mínimo según la norma OPS, se obtuvo un valor de 1.125 metros. Sin embargo, durante la verificación en campo se constató que el ancho real es de 0.92 metros, lo cual indica que este parámetro también cumple con la normativa.	El desarenador no presenta problemas estructurales graves. Sin embargo, se ha verificado que el mantenimiento de esta unidad no se lleva a cabo siguiendo criterios técnicos, lo cual puede afectar su rendimiento y eficiencia.	El desarenador cumple con el dimensionamiento establecido por la Norma CONAGUA y OPS 2015. Sin embargo, no se cumple con un plan adecuado de operación y mantenimiento del componente, lo que puede afectar su funcionamiento óptimo y su vida útil.
Reactor UASB	El tiempo de residencia hidráulica calculado para el componente (23.91 horas) por lo que excede el límite del rango mínimo (7-9 horas) establecido por Metcalf y Eddy.	Se detectaron problemas de desprendimiento de pintura causados por la humedad.	Cumple la normativa CONAGUA y No cumple con las recomendaciones de Diseño de Metcalf y Eddy en cuanto al tiempo de residencia hidráulica. No cumple con un adecuado plan de operación y mantenimiento.
Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente	La altura del medio filtrante (1.57 metros), el tiempo de residencia hidráulica (4.35 horas), la carga hidráulica superficial (8.11 m ³ /m ² d), la carga volumétrica (0.20 kg	Presenta problemas estructurales leves, como el desprendimiento	Cumple con la normativa CONAGUA y recomendaciones de Diseño de Metcalf y

	BDO/m ³ d) y la carga orgánica en el medio filtrante (0.30 kg BDO/m ³ d), calculados con los parámetros actuales del componente, los cuales cumplen con la normativa establecida por CONAGUA.	de pintura debido a la humedad.	Eddy. No cumple con un adecuado plan de operación y mantenimiento.
Lecho de secado de lodos	El área calculada para el lecho de secado (1.92 m ²) es menor que el área real del componente (33.64 m ²). Sin embargo, el ancho actual del lecho de secado (5.80 m) se encuentra dentro del rango recomendado por la norma OPS, que establece un ancho de 3 a 6 metros.	El componente carece de un techo que permita un mejor cumplimiento de su función. Además, se observa que el mantenimiento del componente no es el adecuado.	Cumple la normativa OPS y recomendaciones de Diseño de Metcalf y Eddy. No cumple con un adecuado plan de operación y mantenimiento.

Fuente: Josselin Madelaine Chicaiza Oña

CAPÍTULO III.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.Conclusiones

- Se determinó que la Planta de tratamiento de aguas residuales del sector Playa Grande el Artesón se ubica en la parroquia Píllaro del cantón Santiago de Píllaro y se construyó en el año 2015 recibiendo caudales provenientes propios del sector y que a su vez genera su descarga hacia la Quebrada del rio Ambato, con visitas in situ se identificó que la PTAR cuenta con un pozo recolector, canal Parshall y desarenador, dos reactores anaeróbicos de flujo ascendentes, tres filtros anaerobios de flujo ascendentes, lecho de secado de lodos, bypass, válvulas de control, compuerta metálica con volante y cerramiento. Asimismo, se observó que el estado actual de cada unidad presenta cierta aceptabilidad parcial, ya que se pudo detectar la presencia de vegetación en la mayoría de la planta.
- Se llevó a cabo un levantamiento topográfico de la PTAR ubicada en el sector Playa Grande el Artesón, revelando que la planta ocupa una superficie de 1239.60 m². Además, se generaron planos detallados de cada unidad hidráulica, incluyendo sus dimensiones correspondientes, lo que permitió obtener planos de implantación georreferenciada de la planta evaluada y una visualización completa del perfil del terreno.
- El análisis físico-químico de la calidad del agua residual en la entrada de la PTAR cumple con la norma TULSMA 2015, sin embargo, en la salida se revela que existen dos parámetros, el nitrógeno amoniacal y el fosfato, que no cumplen con los límites establecidos por la norma, estos resultados indicaron la necesidad de implementar medidas adicionales para mejorar la eficiencia del tratamiento en la remoción de estos contaminantes específicos.

- El diagnóstico técnico realizado mediante el dimensionamiento de las unidades hidráulicas de la PTAR, la evaluación físico-química del efluente y la comparación con las normativas de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales de OPS, CONAGUA permitieron concluir que la planta de tratamiento cumple con los estándares de diseño. Sin embargo, se propuso la implementación de un plan de operación y mantenimiento para mejorar las condiciones actuales de la planta y garantizar un funcionamiento óptimo a largo plazo.
- El plan de operación y mantenimiento propuesto para la PTAR del sector el Artesón cuenta con un presupuesto referencial de \$ 4867.47, este presupuesto se basa en un análisis de precios unitarios realizado y abarca una serie de actividades y medidas destinadas a mantener la planta en buen estado y lograr una operación óptima para el proceso de remoción de contaminantes por lo que se espera que este plan contribuya a prolongar la vida útil de la planta y mejorar la calidad del agua que se vierte hacia la quebrada del río Ambato.
- Se propuso como mejoramiento la implementación de la planta *Eichhornia crassipes* en dos de los tres filtros anaerobio de flujos ascendente con el objetivo de disminuir nutrientes en el efluente, además de una cubierta metálica para los lechos de secado de lodos permitiendo un mejor manejo de los lodos.

4.2. Recomendaciones

- Realizar un análisis del agua residual en dos meses para verificar la efectividad de las plantas macrofitas incorporadas en el tratamiento secundario.
- Realizar inspecciones exhaustivas de los elementos clave como tuberías, bypass, válvulas de control de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con el fin de detectar posibles desgastes, corrosión, obstrucciones o fugas, y así poder tomar medidas preventivas y solucionar los problemas identificados de manera oportuna.
- Establecer un programa de limpieza periódico como se nombró en el plan de operación y mantenimiento de la planta, esto asegurará que se realicen actividades de limpieza de manera constante y programada, con el fin de prevenir y controlar la invasión de vegetación en las unidades hidráulicas.
- Brindar capacitación adecuada al personal de mantenimiento de la planta sobre las mejores prácticas de limpieza y control de vegetación, esto asegurará que se realicen las actividades de limpieza de manera adecuada y segura, minimizando los riesgos asociados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Ramírez y J. C. Vega, “AGUA: Fuentes, caracterización, tecnología y gestión sustentable - Santiago Ramírez, Juan Carlos Vega - Google Libros”. <https://n9.cl/oato3> (consultado el 4 de mayo de 2023).
- [2] E. María, L. Benítez, G. Millán Verdecia, M. Antonio, y P. Castell, “Escasez y contaminación del agua: realidades del siglo XXI Autores”.
- [3] UNESCO. D.-G. 2009-2017 (Bokova, I. G.) [writer of foreword] authorCorporate:UNESCO World Water Assessment Programme, “Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2016: agua y empleo”, *Publicado en 2016 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 7, place de Fontenoy, 75352 París 07 SP, Francia*, p. 6, 2016, Consultado: el 4 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244103>
- [4] M. del Rocío García Sánchez, G. Godínez Alarcón, B. Pineda Avonza, y J. Reyes Añorve, “Derecho al agua y calidad de vida Right to water and quality of life”, vol. 6, núm. 11, 2015.
- [5] G. Salas-salgado, “Contaminación del agua”, vol. 2, pp. 1–10, 2016, Consultado: el 4 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: www.ecorfan.org/spain
- [6] M. Eugenia de la Peña Jorge Ducci Viridiana Zamora, “Tratamiento de aguas residuales en México”.
- [7] G. Alabaster y R. Johnston, “Progreso en el tratamiento de las aguas residuales”.
- [8] J. Fernando, L.-M. Carlos González, T. Yennyfer, y M. Olivares, “LAS AgUAS RESIDUALES y SUS CONSECUENCIAS EN EL PERÚ”.
- [9] C. Mora-Aparicio *et al.*, “Aporte ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales Los Tajos en la remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos”, *Uniciencia*, vol. 36, núm. 1, pp. 511–527, ene. 2022, doi: 10.15359/RU.36-1.33.

- [10] V. Opolenko, “Potencialidad de uso de aguas servidas para riego y recarga de acuíferos: cuenca del río La Villa, República de Panamá”, *Revista Geográfica de América Central*, vol. 1, núm. 68, pp. 269–304, nov. 2021, doi: 10.15359/RGAC.68-1.10.
- [11] “El agua, un derecho humano no un negocio – Inredh”. <https://inredh.org/el-agua-un-derecho-humano-no-un-negocio-2/> (consultado el 3 de mayo de 2023).
- [12] C. Terán, J. Argüello, C. Cando, D. Salazar, y J. Muñoz, “Unidad Elaborado por: Revisado por”, Consultado: el 2 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: www.ecuadorencifras.gob.ec
- [13] C. DE Trabajo *et al.*, “La gestión comunitaria del agua para consumo humano y el saneamiento en el Ecuador: DIAGNÓSTICO Y PROPUESTAS”, 2013.
- [14] “Estudio de las tecnologías para el tratamiento de los efluentes generados por una planta de curtiembres en Ecuador”. <https://www.redalyc.org/journal/5075/507567825003/html/> (consultado el 3 de mayo de 2023).
- [15] S. Peña, J. Mayorga, y R. Montoya, “Propuesta de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Yaguachi (Ecuador)”, 2018, Consultado: el 2 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://localhost:8080/xmlui/handle/654321/366>
- [16] INEC, “INFOECONOMÍA”, 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.inec.gob.ec/cenec/index>.
- [17] C. Guamán, E. Vaneza, S. Villa, V. Maribel, y D. J. Calahorrano González Riobamba -Ecuador, “UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL”, 2018.
- [18] M. Yanchatipán *et al.*, “Créditos elaboración de PD y OT AUTORIDADES Y CONCEJO CANTONAL CONSEJO DE PLANIFICACIÓN CANTONAL”.
- [19] Metcalf y Eddy, “Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización, Volumen 2, 3ra Edición”.

- [20] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO”.
- [21] Ministerio del Ambiente, “Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado De Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente”, 2015.
- [22] I. En *et al.*, ““PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SECTOR EL ARTEZÓN, PARROQUIA PÍLLARO, CANTÓN SANTIAGO DE PÍLLARO’ Abril 2018 CONSULTOR RESPONSABLE: GLORIA ROSARIO CHANGO GALARZA INFORMACIÓN GENERAL COLABORACIÓN TÉCNICA: SERVICIOS PROFESIONALES EXTERNOS”.
- [23] Instituto Privado de Investigación sobre el cambio climático, “Manual de Medición de Caudales.”, Guatemala, 2017.
- [24] P. Pütz, “Eliminación y determinación de fosfato”. [En línea]. Disponible en: www.hach-lange.es
- [25] J. D. Bolaños-Alfaro, G. Cordero-Castro, y G. Segura-Araya, “Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)”, *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 30, núm. 4, p. 15, dic. 2017, doi: 10.18845/tm.v30i4.3408.
- [26] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES”. [En línea]. Disponible en: www.pdfactory.com
- [27] CONAGUA, *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*. [En línea]. Disponible en: www.conagua.gob.mx
- [28] OPS, “GUÍA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES”, Lima, 2005.

- [29] C. Polprasert, “Organic Waste Recycling Technology and Management”, Thailand, 2007.
- [30] R. Aurelio, N. López, Y. Meas Vong, R. Ortega Borges, y E. J. Olguín, “E Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones”, 2004.
- [31] A. González Dias, N. Rodríguez V., J. A. García Núñez, E. Ruiz Á., J. H. Acero H, y W. A. Reyes A., *Humedales artificiales como alternativa para el tratamiento terciario de efluentes de planta de beneficio de palma de aceite*. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite - FEDEPALMA, 2022. doi: 10.56866/9789588360942.
- [32] DIPAC, “Planchas de Zinc”, Manta, 2022.
- [33] AISC, “4-322 DESIGN OF COMPRESSION MEMBERS AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION Available Critical Stress for Compression Members”.
- [34] DIPAC, “CATÁLOGO DE PRODUCTOS DIPAC”, 2020.

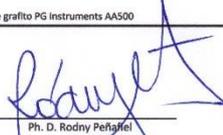
ANEXOS

ANEXO 1

RESULTADOS DE

LABORATORIO

LABORATORIO AMBIENTAL. LABORATORIO INVESTIGACIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIA E ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA UTA					
Nombre del muestreador:	Joselin Chicaiza	Código de la muestra:			
Nombre del responsable del análisis:	Dr.- Ing. Rodny Peñafiel	Punto de muestreo:	Entrada PTAR		
Fecha/hora de muestreo:	10.05.2023/8:00-16:00	Tipo de muestreo:	Compuesto		
Lugar de muestreo:	PTAR PÍLLARO EL ARTESÓN	Modo de conservación:	Refrigeración 2°C		
Tipo de muestra:	AGUA RESIDUAL	Volumen de muestra:	1 Litro / 0.5 Litro		
	UNIDADES	VALOR	DES. EST.	NORMA TULSMA TABLA 8 DESCARGA ALCANTARILLADO	METODO
Parámetros globales¹					
pH		7,1	0,30	6 a 9	SM 4500 B
Conductividad	µS/cm	400,0	2,50	-	SM 2510 B
Turbidez	NTU	237,0	15,70	-	SM 2130 B
Parámetros en laboratorio²					
Demanda Química de Oxígeno. DQO	mg/l	200,0	5,80	500	SM 5220 D
Demanda Bioquímica de Oxígeno. DBO5	mg/l	120,0	3,50	250	SM 5210 D
Sólidos Totales. ST	mg/l	220,0	4,20	1600	SM 2540 B
Sólidos Suspendedos Totales. SST	mg/l	20,0	1,00	220	SM 2540 D
Sólidos Disueltos Totales. SDT	mg/l	200,0	3,10	-	SM 2540 C
Nitrógeno amoniacal. N-NH3	mg/l	18,9	1,70	60*	ASTM D1426. Nessler method
Nitrato. NO3-	mg/l	27,6	0,50	-	SM 4500 NO3 E
Fosfato. P-PO3 4-	mg/l	0,0	1,00	15**	SM 4500 P E
Cloruros. Cl-	mg/l	19,0	0,60	-	SM 4500 P E
Sulfatos. SO4 2-	mg/l	150,0	5,00	400	4500-CI G
Cromo VI. Cr+6	mg/l	n/d	0,003	0,5	ASTM D1887-92. Diphenylcarbohydrazil de method
Zinc. Zn	mg/l	0,500	0,03	10	SM 3500-Zn B
Hierro. Fe	mg/l	0,30	0,04	25	EPA Phenanthroline method 315B
Aluminio. Al	mg/l	0,16	0,04	5	SM 3500-Al B
Manganeso. Mn	mg/l	4,0	0,20	10	SM 3500-Mn B
Cobre. Cu	mg/l	0,6	0,05	1	SM 3500-Cu B
Metales por Absorción Atómica³					
Cadmio. Cd	mg/l	0,0012	0,0005	0,02	SM 3113 B PGI AA 500 Graphite Element Data Sheets Cd. Ni. Cr. Pb. As
Niquel. Ni	mg/l	n/d	-	2,0	
Cromo total. Cr	mg/l	n/d	0,0047	-	
Plomo. Pb	mg/l	0,0267	0,0046	0,5	
Arsénico. As	mg/l	n/d	-	0,1	
* Como Nitrógeno Total Kjeldahl					
** Como fósforo total					
n/d: no detectado					
SM: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, APHA					
¹ Medidor multiparamétrico HANNA HI 9829					
² Fotómetro multiparamétrico con DQO HI 83399					
³ Espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito PG Instruments AA500					


 Ph. D. Rodny Peñafiel
 Docente FCB

LABORATORIO AMBIENTAL. LABORATORIO INVESTIGACIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIA E ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA UTA					
Nombre del muestreador:		Josselin Chicaiza		Código de la muestra:	
Nombre del responsable del análisis:		Dr.- Ing. Rodny Peñafiel		Punto de muestreo:	
Fecha/hora de muestreo:		10.05.2023/8:00-16:00		Salida PTAR	
Lugar de muestreo:		PTAR PILLARO EL ARTESÓN		Tipo de muestreo:	
Tipo de muestra:		AGUA RESIDUAL		Modo de conservación:	
				Refrigeración 2°C	
				Volumen de muestra:	
				1 Litro / 0.5 Litro	
	UNIDADES	VALOR	DES. EST.	NORMA TULSMA TABLA 9 DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE	METODO
Parámetros globales¹					
pH		7,3	0,1	6 a 9	SM 4500 B
Conductividad	µS/cm	673,0	3,7	-	SM 2510 B
Turbidez	NTU	240,0	0,1	-	SM 2130 B
Parámetros en laboratorio²					
Demanda Química de Oxígeno. DQO	mg/l	100,0	12,5	200	SM 5220 D
Demanda Bioquímica de Oxígeno. DBO5	mg/l	55,0	5,0	100	SM 5210 D
Sólidos Totales. ST	mg/l	320,0	4,2	1600	SM 2540 B
Sólidos Suspendedos Totales. SST	mg/l	22,0	0,2	130	SM 2540 D
Sólidos disueltos totales. TDS	mg/l	298,0	3,9	-	SM 2540 C
Nitrógeno amoniacal. N-NH3	mg/l	42,3	2,4	30	ASTM D1426. Nessler method
Nitrato. NO3-	mg/l	5,8	0,5	-	SM 4500 NO3 E
Fosfato. P-PO3 4-	mg/l	26,7	1,0	10*	SM 4500 P E
Cloruros. Cl-	mg/l	13,0	0,6	-	SM 4500 P E
Sulfatos. SO4 2-	mg/l	110,0	5,0	1000	4500-Cl G
Cromo VI. Cr+6	mg/l	0,010	0,005	0,5	ASTM D1687-92. Diphenylcarbohydrazil de method
Zinc. Zn	mg/l	0,20	0,03	5	SM 3500-Zn B
Hierro. Fe	mg/l	0,10	0,04	10	SM 3500-Fe B
Aluminio. Al	mg/l	0,17	0,04	5	SM 3500-Al B
Manganeso. Mn	mg/l	2,00	0,20	2	SM 3500-Mn B
Cobre. Cu	mg/l	0,30	0,05	1	SM 3500-Cu B
Metales por Absorción Atómica³					
Cadmio. Cd	mg/l	0,0007	0,0003	0,02	SM 3113 B PGI AA
Níquel. Ni	mg/l	n/d	-	2,0	500 Graphite Element
Cromo total. Cr	mg/l	0,0208	0,0010	-	Data Sheets Cd, Ni, Cr, Pb, As
Plomo. Pb	mg/l	0,0115	0,0013	0,2	
Arsénico. As	mg/l	n/d	0,0001	0,1	

* Como fósforo total

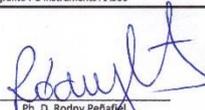
n/d: no detectado

SM: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, APHA

¹ Medidor multiparámetro HANNA HI 9829

² Fotómetro multiparámetro con DQO HI 83399

³ Espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito PG Instruments AA500


 Ph. D. Rodny Peñafiel
 Docente FCIAE

ANEXO 2

PLANOS

ANEXO 3

ANÁLISIS DE

PRECIOS

UNITARIOS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS



HOJA 1 DE 14

RUBRO : 1
 DETALLE : Remoción de capa vegetal y limpieza del material filtrante

Unidad: U

001

<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.	0,05				1,86
SUBTOTAL M					1,86

<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Peón (Estruc. Ocup. E2)	2,00	4,05	8,10	3,000	24,30
Operador responsable de PTAR (Estruc. Ocup. C2)	1,00	4,33	4,33	3,000	12,99
SUBTOTAL N					37,29

<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
Maguera de 30 metros con un diámetro de 3/8"	u	0,08	50,50	4,04
Carro cisterna con bomba de vacío	u	0,17	120,00	20,40
SUBTOTAL O				24,44

<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL P				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	63,59
INDIRECTOS (%)	15,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	73,13
VALOR UNITARIO	73,13

SON: SETENTA Y SEIS, 31/100 CENTAVOS
 ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS



HOJA 2 DE 14

RUBRO : 2
DETALLE : Suministro y colocación de especie "jacinto de agua"

Unidad: U
002

<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.	0,05				0,21
SUBTOTAL M					0,21

<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Peón (Estruc. Ocup. E2)	1,00	4,05	4,05	0,500	2,03
Operador responsable de PTAR (Estruc. Ocup. C2)	1,00	4,33	4,33	0,500	2,17
SUBTOTAL N					4,19

<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
Rizomas de lechugín	u	75,00	0,15	11,25
SUBTOTAL O				11,25

<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL P				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	15,65
INDIRECTOS (%)	15,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	18,00
VALOR UNITARIO	18,00

SON: DIESIOCHO, 78/100 CENTAVOS
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS



HOJA 3 DE 14

RUBRO : 3
 DETALLE : Instalación de estructura metálica, acero A36

Unidad: kg

003

<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.	0,05				0,02
Soldadora eléctrica 300A	1,00	1,88	1,88	0,0546	0,10
Compresor de aire 250 CFM	0,10	15,00	1,50	0,0546	0,08
Amoladora	2,00	3,75	7,50	0,0546	0,41
SUBTOTAL M					0,62

<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Ayudante de fierro (Estruc. Ocup. E2)	1,00	4,05	4,05	0,0550	0,22
Maestro soldador especializado (Estruc. Ocup. C1)	1,00	4,33	4,55	0,0550	0,25
SUBTOTAL N					0,47

<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
Perfil estructural A36	u	1,05	1,50	1,58
Thinner comercial	gl	0,01	16,52	0,17
Disco de corte de metal 350x2,8x25,4mm	u	0,05	7,50	0,38
Electrodo AGA 7018 1/8"	kg	0,05	7,39	0,37
Anicorrosivo Gris mate	gl	0,01	16,45	0,16
SUBTOTAL O				2,65

<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL P				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	3,74
INDIRECTOS (%)	15,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	4,30
VALOR UNITARIO	4,30

SON:CUATRO, 49/100 CENTAVOS
 ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS



HOJA 4 DE 14

RUBRO : 4
DETALLE : Intalación de zinc translucido e=20mm

Unidad: m²

004

<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.	0,05				0,20
Taladro eléctrico	0,50	1,10	0,55	0,5000	0,28
SUBTOTAL M					0,48

<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Peón (Estruc. Ocup. E2)	1,00	4,05	4,05	0,5000	2,03
Albañil (Estruc. Ocup. D2)	1,00	4,10	4,10	0,5000	2,05
SUBTOTAL N					4,08

<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
Alutecho 1030*6000*0,30mm	plancha	0,45	15,7600	7,03
Gancho J"3"	u	1,79	0,08	0,14
Capuchon	u	1,79	0,04	0,07
SUBTOTAL O				7,24

<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL P				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	11,80
INDIRECTOS (%)	15,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	13,57
VALOR UNITARIO	13,57

SON: CATORCE, 49/100 CENTAVOS
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS



HOJA 5 DE 14

RUBRO : 5
DETALLE : Canal y bajante de agua lluvia

Unidad: m²

005

<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.	0,05				0,20
SUBTOTAL M					0,20

<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Peón (Estruc. Ocup. E2)	1,00	4,05	4,05	0,50	2,03
Albañil (Estruc. Ocup. D2)	1,00	4,10	4,10	0,50	2,05
SUBTOTAL N					4,08

<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
Canal agua lluvia PVC Baj.drecho 3mt	ml	1,00	4,1200	4,12
Union de canal a bajante	u	1,00	6,63	6,63
Soporte plástico de canal	u	1,00	1,01	1,01
Tubo PVC 110mmx3m	u	0,42	14,99	6,30
SUBTOTAL O				18,06

<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL P				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	22,33
INDIRECTOS (%)	15,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	25,68
VALOR UNITARIO	25,68

SON:VEINTISEIS, 80/100 CENTAVOS
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS



HOJA 6 DE 14

RUBRO : 6
 DETALLE : Mantenimiento general de la PTAR

Unidad: U

006

<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.	0,05				1,01
SUBTOTAL M					1,01

<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Peón (Estruc. Ocup. E2)	1,00	4,05	4,05	5,00	20,25
SUBTOTAL N					20,25

<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL O				0,00

<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL P				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	21,26
INDIRECTOS (%)	15,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	24,45
VALOR UNITARIO	24,45

SON: VEINTICINCO, 52/100 CENTAVOS
 ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS



HOJA 7 DE 14

RUBRO : 7

Unidad: U

DETALLE : Mantenimiento y operación del tanque repartidor de caudales

007

<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.	0,05				0,42
SUBTOTAL M					0,42

<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Peón (Estruc. Ocup. E2)	1,00	4,05	4,05	1,000	4,05
Operador responsable de PTAR (Estruc. Ocup. C2)	1,00	4,33	4,33	1,000	4,33
SUBTOTAL N					8,38

<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL O				0,00

<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL P				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	8,80
INDIRECTOS (%)	15,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	10,12
VALOR UNITARIO	10,12

SON: UN DOLAR, 52/100 CENTAVOS
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS



HOJA 8 DE 14

RUBRO : 8
DETALLE : Mantenimiento y operación del canal, cribado y desarenador

Unidad: U
008

<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.	0,05				0,63
SUBTOTAL M					0,63

<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Peón (Estruc. Ocup. E2)	1,00	4,05	4,05	1,50	6,08
Operador responsable de PTAR (Estruc. Ocup. C2)	1,00	4,33	4,33	1,50	6,50
SUBTOTAL N					12,57

<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL O				0,00

<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL P				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	13,20
INDIRECTOS (%)	15,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	15,18
VALOR UNITARIO	15,18

SON: QUINCE, 84/100 CENTAVOS
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS



HOJA 9 DE 14

RUBRO : 9
 DETALLE : Mantenimiento y operación del reactor UASB

Unidad: U
 009

<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.	0,05				0,63
Motobomba	1,00	25,00	25,00	1,50	37,50
SUBTOTAL M					38,13

<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Peón (Estruc. Ocup. E2)	1,00	4,05	4,05	1,50	6,08
Operador responsable de PTAR (Estruc. Ocup. C2)	1,00	4,33	4,33	1,50	6,50
SUBTOTAL N					12,57

<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL O				0,00

<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL P				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	50,70
INDIRECTOS (%)	15,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	58,30
VALOR UNITARIO	58,30

SON: SESENTA, 84/100 CENTAVOS
 ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS



HOJA 10 DE 14

RUBRO : 10
DETALLE : Mantenimiento y operación del lecho de secado de lodos

Unidad: U
0010

<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.	0,05				0,42
SUBTOTAL M					0,42

<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Peón (Estruc. Ocup. E2)	1,00	4,05	4,05	1,00	4,05
Operador responsable de PTAR (Estruc. Ocup. C2)	1,00	4,33	4,33	1,00	4,33
SUBTOTAL N					8,38

<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL O				0,00

<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL P				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	8,80
INDIRECTOS (%)	15,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	10,12
VALOR UNITARIO	10,12

SON: DIEZ, 56/100 CENTAVOS
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS



HOJA 11 DE 14

RUBRO : 11
DETALLE : Mantenimiento y operación del filtro anaerobio de flujo ascendente

Unidad: U

0011

<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.	0,05				0,42
SUBTOTAL M					0,42

<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Peón (Estruc. Ocup. E2)	1,00	4,05	4,05	1,00	4,05
Operador responsable de PTAR (Estruc. Ocup. C2)	1,00	4,33	4,33	1,00	4,33
SUBTOTAL N					8,38

<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL O				0,00

<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL P				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	8,80
INDIRECTOS (%)	15,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	10,12
VALOR UNITARIO	10,12

SON: DIEZ, 56/100 CENTAVOS
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS



HOJA 12 DE 14

RUBRO : 12

Unidad: U

DETALLE : Mantenimiento y operación las plantas acuáticas "jacinto de agua"

0012

<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.	0,05				0,42
SUBTOTAL M					0,42

<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Peón (Estruc. Ocup. E2)	1,00	4,05	4,05	1,00	4,05
Operador responsable de PTAR (Estruc. Ocup. C2)	1,00	4,33	4,33	1,00	4,33
SUBTOTAL N					8,38

<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL O				0,00

<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL P				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	8,80
INDIRECTOS (%)	15,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	10,12
VALOR UNITARIO	10,12

SON: DIEZ, 56/100 CENTAVOS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS



HOJA 13 DE 14

RUBRO : 13
DETALLE : Pintura de las unidades hidráulicas

Unidad: m²

0013

<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.	0,05				0,09
SUBTOTAL M					0,09

<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Peón (Estruc. Ocup. E2)	1,00	4,05	4,05	0,22	0,89
Pintor (Estruc. Ocup. D2)	1,00	4,10	4,10	0,22	0,90
SUBTOTAL N					1,79

<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
Agua	m ³	0,01	0,72	0,01
Lija de madera N100	hoja	0,20	0,60	0,12
Pintura de látex vinil acrílico	gl	0,05	11,16	0,56
SUBTOTAL O				0,69

<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL P				0,00

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	2,57
INDIRECTOS (%) 15,00%	0,39
UTILIDAD (%) 0,00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	2,95
VALOR UNITARIO	2,95

SON: TRES, 08/100 CENTAVOS
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS



HOJA 14 DE 14

RUBRO : 14
DETALLE : Monitoreo del agua residual tratada

Unidad: U
0014

<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.	0,05				3,55
SUBTOTAL M					3,55

<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Laboratorista EO.CI	1,00	4,55	4,55	8,00	36,40
Operador responsable de PTAR (Estruc. Ocup. C2)	1,00	4,33	4,33	8,00	34,64
SUBTOTAL N					71,04

<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
Análisis fisicoquímico del agua	u	2,00	43,00	86,00
SUBTOTAL O				86,00

<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL P				0,00

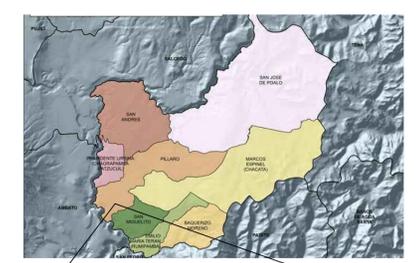
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	160,59
INDIRECTOS (%)	15,00%
UTILIDAD (%)	0,00%
COSTO TOTAL DEL RUBRO	184,68
VALOR UNITARIO	184,68

SON: CIENTO NOVENTA Y DOS, 71/100 CENTAVOS
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA



UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

PROVINCIA: TUNGURAHUA	CANTÓN: SANTIAGO DE PÍLLARO	PARROQUIA: PÍLLARO CENTRO	SECTOR: EL ARTESÓN
SISTEMA DE REFERENCIA		ÁREA	
DATUM : WGS 84		ZONA : 17 SUR	1239.60 m ²



LEYENDA

	PUNTO CON COORDENADAS GEOGRÁFICAS
	POZO DE REVISIÓN DE HORMIGÓN ARMADO
	CAJA DE REVISIÓN CON BYPASS
	POZO DE ALCANTARILLADO

Cuadro de Coordenadas

Punto	Descripción	Norte	Este
1	P1	9867935.58	771698.00
2	P2	9867937.89	771739.00
3	P3	9867907.84	771741.83
4	P4	9867904.34	771700.94

PROYECTO:
EVALUACIÓN DE LA PTAR DEL SECTOR PLAYA GRANDE EL ARTESÓN, PARROQUIA PÍLLARO, CANTÓN SANTIAGO DE PÍLLARO DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA

ELABORADO POR:

Josselin Chicaiza

APROBÓ:

Ing. Fabián Morales Fiallos, Mg.

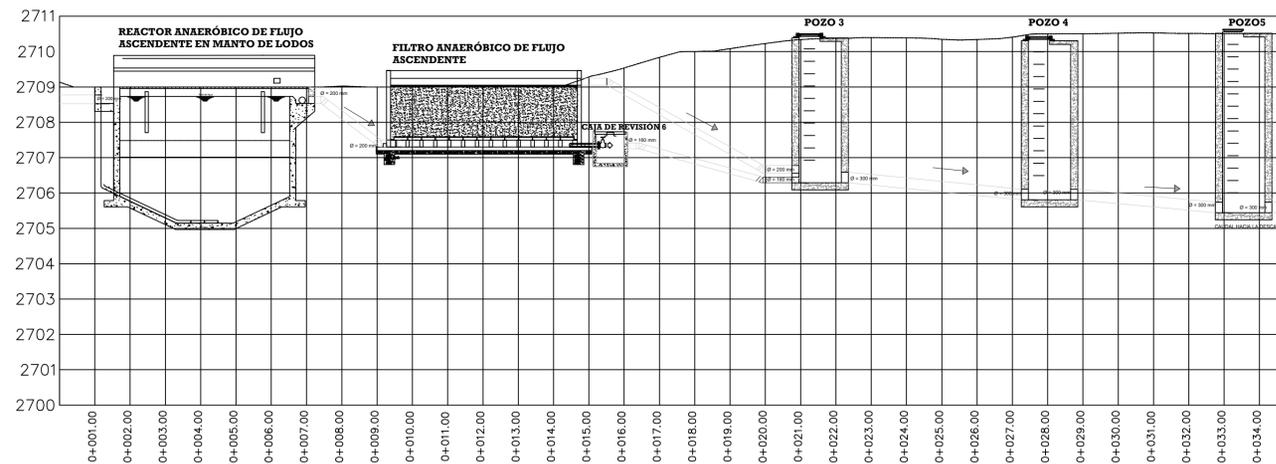
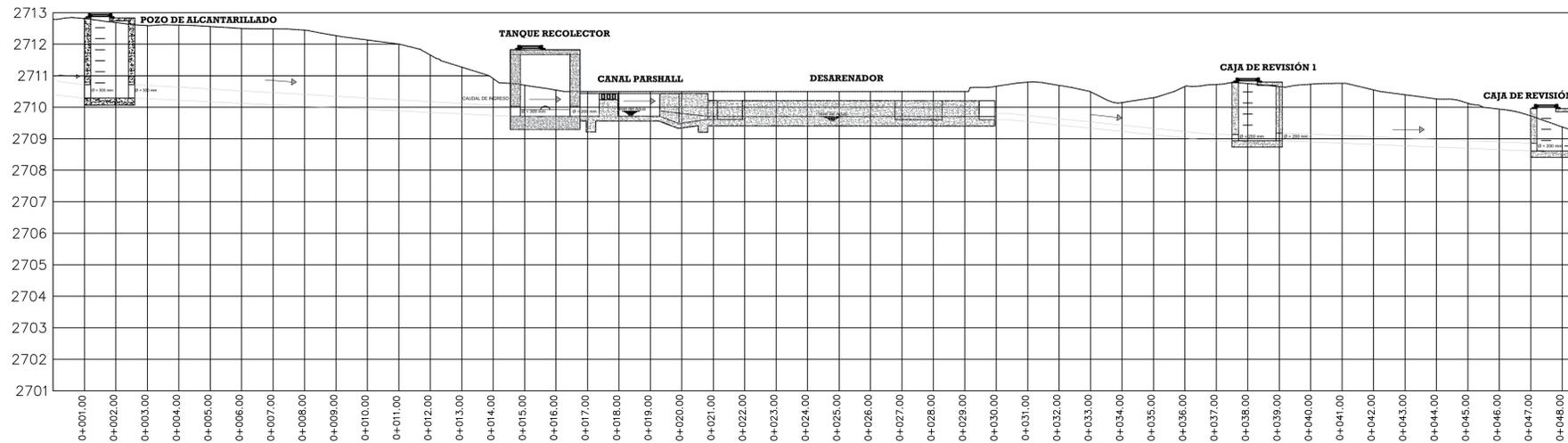
CONTIENE:
IMPLANTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

ESCALA:
INDICADAS

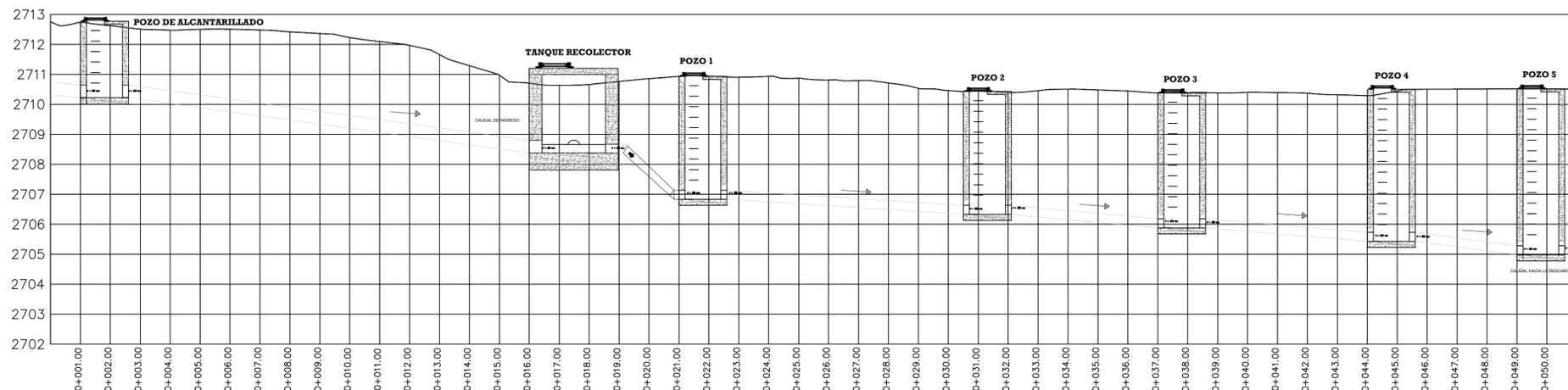
FECHA:
SEPTIEMBRE 2023

LÁMINA:
1/5

PERFIL LONGITUDINAL-FLUJO DE AGUA

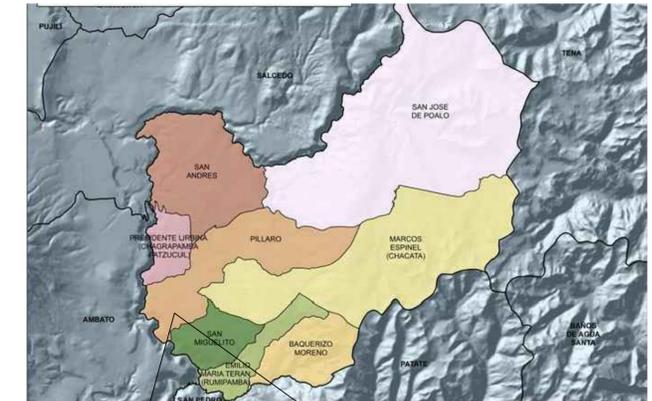


PERFIL DE DESAGUE



UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

PROVINCIA: TUNGURAHUA	CANTÓN: SANTIAGO DE PÍLLARO	PARROQUIA: PÍLLARO CENTRO	SECTOR: EL ARTESÓN
SISTEMA DE REFERENCIA			ÁREA
DATUM : WGS 84		ZONA : 17 SUR	1239.60 m ²



PROYECTO:

EVALUACIÓN DE LA PTAR DEL SECTOR
PLAYA GRANDE EL ARTESÓN, PARROQUIA
PÍLLARO, CANTÓN SANTIAGO DE PÍLLARO
DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA

ELABORADO POR:

Josselin Chicaiza

APROBÓ:

Ing. Fabián Morales Fiallos, Mg.

CONTIENE:

PERFIL LONGITUDINAL- FLUJO DE AGUA Y PERFIL DE DESAGUE

ESCALA:

1/200

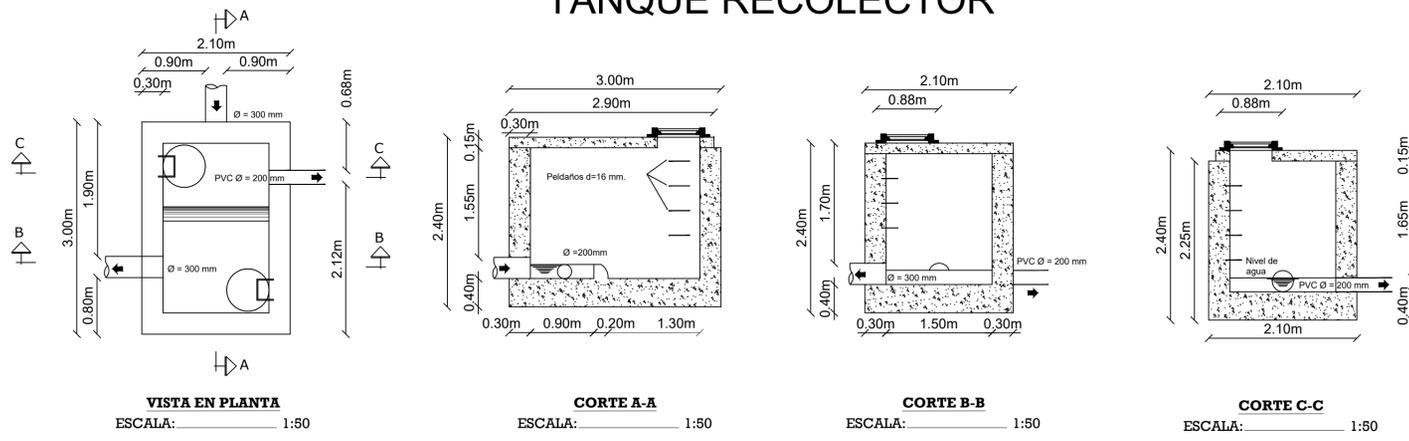
FECHA:

SEPTIEMBRE 2023

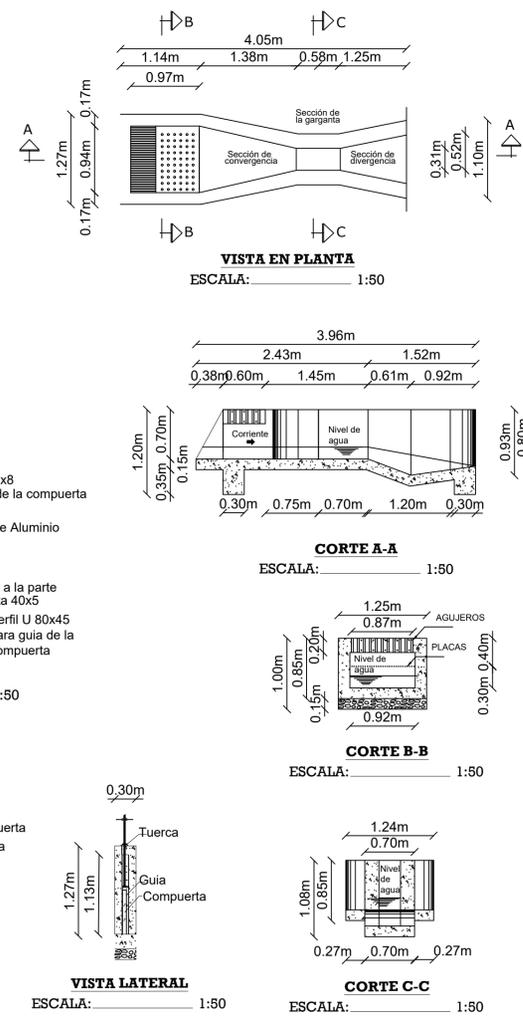
LÁMINA:

2/5

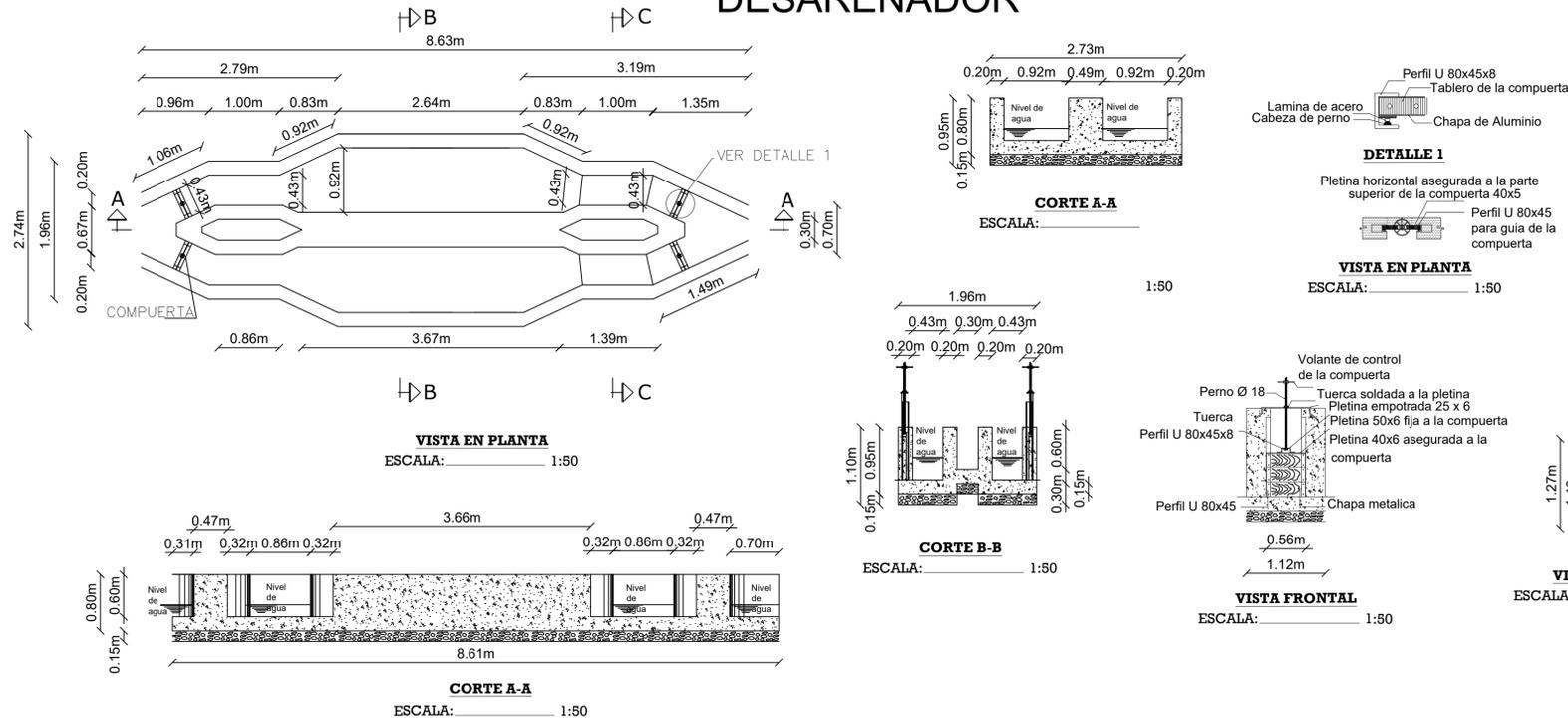
TANQUE RECOLECTOR



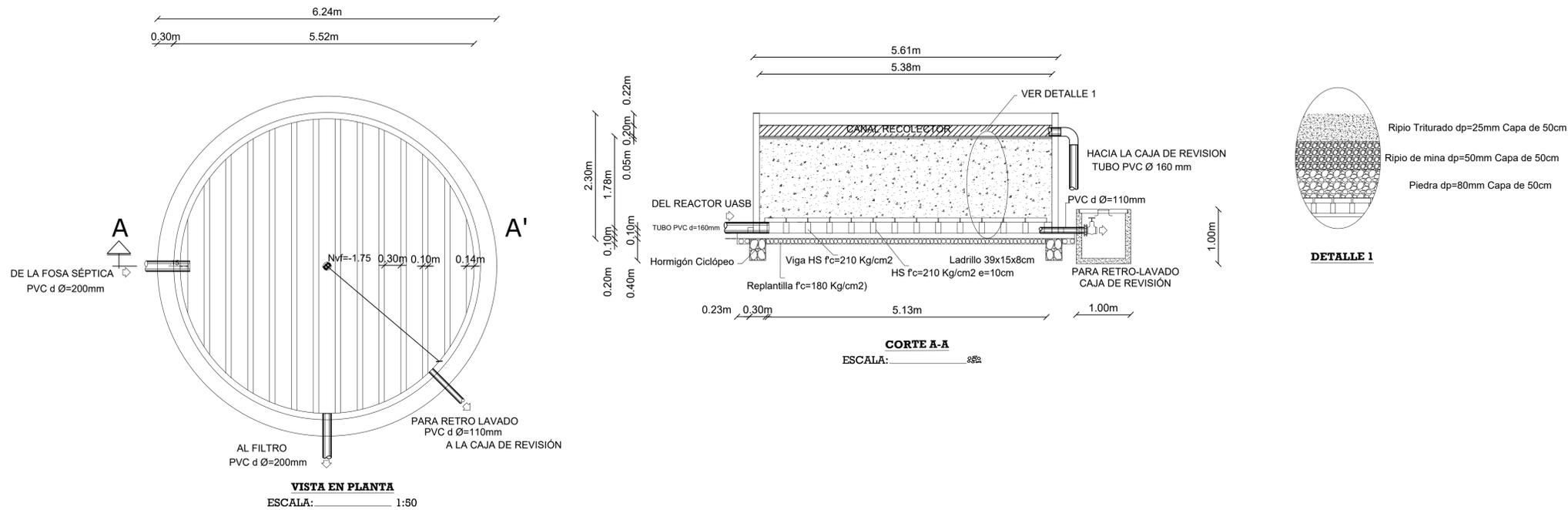
CANAL PARSHALL



DESARENADOR

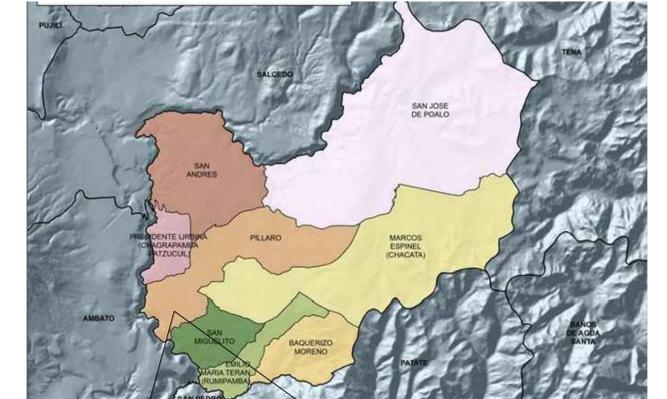


FLITRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE



UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

PROVINCIA: TUNGURAHUA	CANTÓN: SANTIAGO DE PÍLLARO	PARROQUIA: PÍLLARO CENTRO	SECTOR: EL ARTESÓN
SISTEMA DE REFERENCIA			ÁREA
DATUM : WGS 84		ZONA : 17 SUR	1239.60 m ²



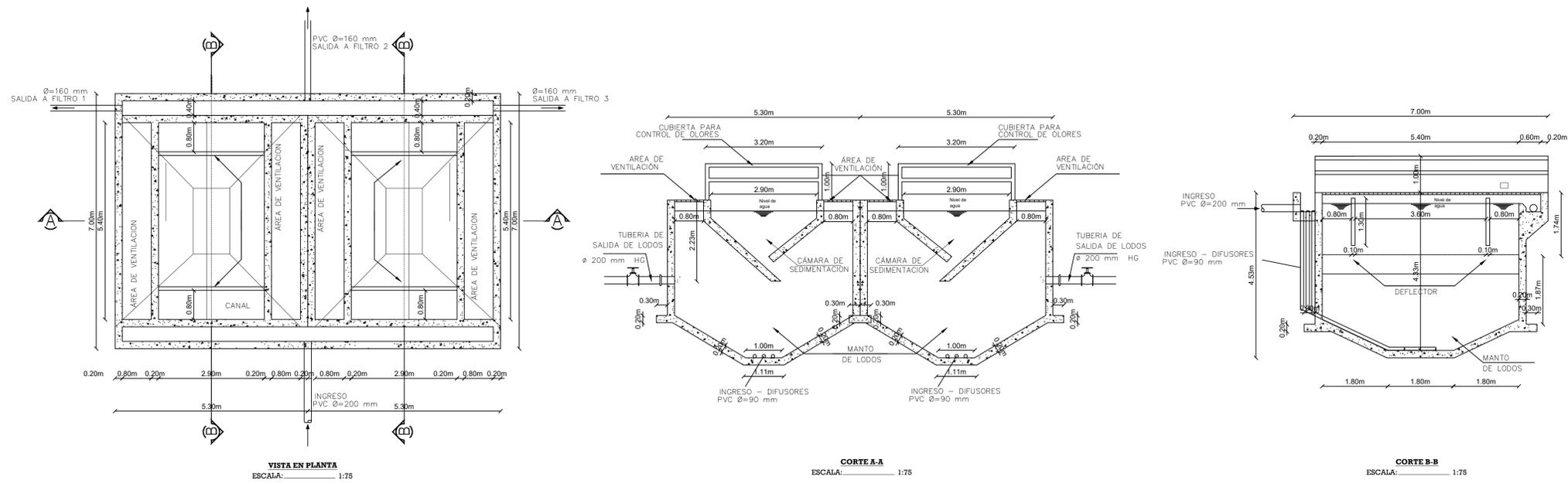
PROYECTO:
EVALUACIÓN DE LA PTAR DEL SECTOR PLAYA GRANDE EL ARTESÓN, PARROQUIA PÍLLARO, CANTÓN SANTIAGO DE PÍLLARO DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA

ELABORADO POR: Josselin Chicaiza	APROBÓ: Ing. Fabián Morales Fiallos, Mg.
---	---

CONTIENE:
DETALLE DE UNIDADES HIDRÁULICAS DE LA PTAR-

ESCALA: INDICADAS	FECHA: SEPTIEMBRE 2023	LÁMINA: 3/5
----------------------	---------------------------	----------------

REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE EN MANTO DE LODOS

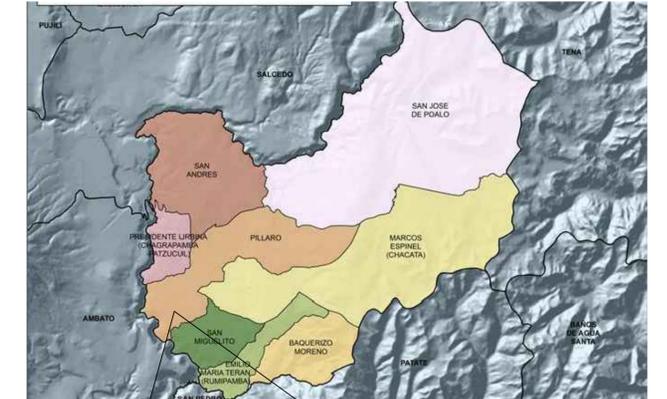


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

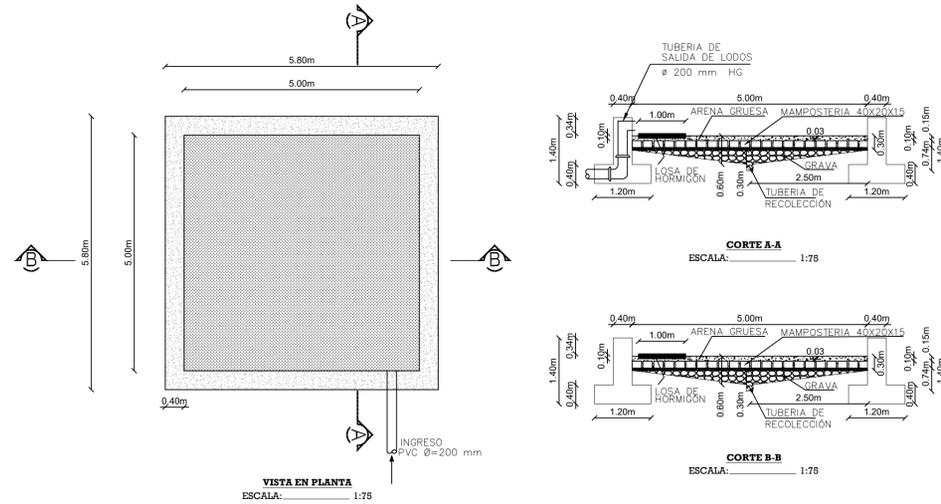


UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

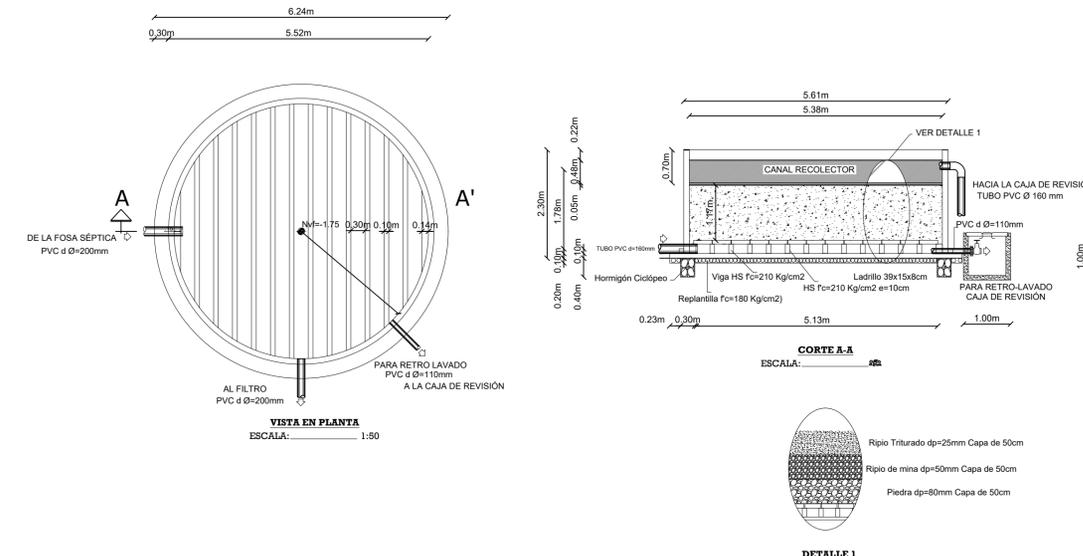
PROVINCIA: TUNGURAHUA	CANTÓN: SANTIAGO DE PÍLLARO	PARROQUIA: PÍLLARO CENTRO	SECTOR: EL ARTESÓN
SISTEMA DE REFERENCIA		ÁREA	
DATUM : WGS 84		ZONA : 17 SUR	
		1239.60 m ²	



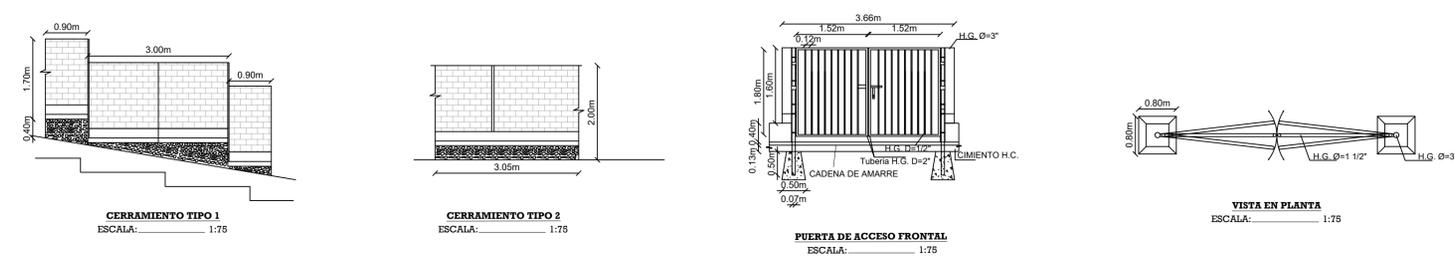
LECHO DE SECADO DE LODOS



REMOCIÓN DE CAPA GRANULAR DEL FILTRO ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE



DETALLE DEL CERRAMIENTO Y PUERTA



PROYECTO:
EVALUACIÓN DE LA PTAR DEL SECTOR PLAYA GRANDE EL ARTESÓN, PARROQUIA PÍLLARO, CANTÓN SANTIAGO DE PÍLLARO DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA

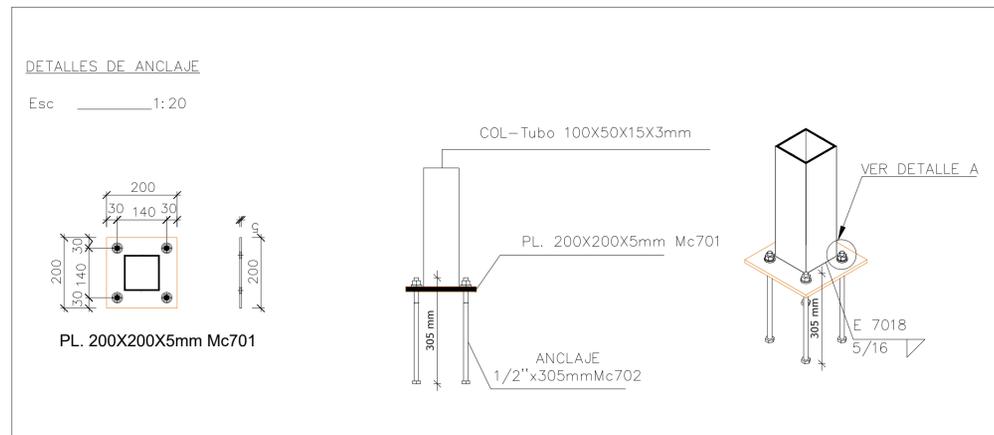
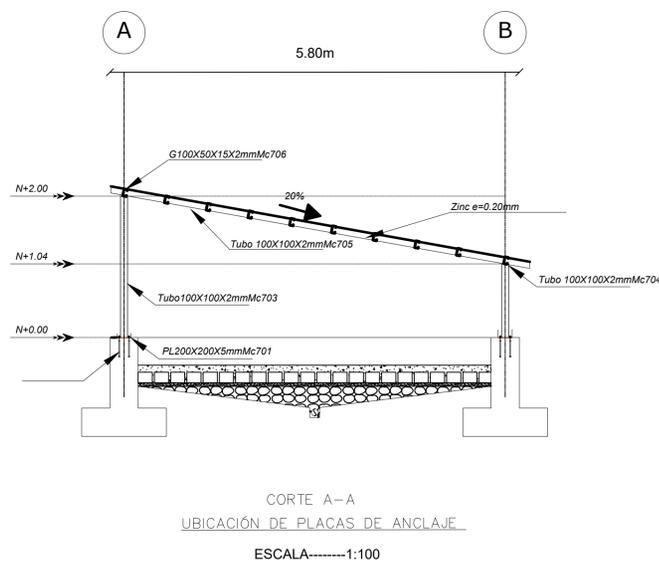
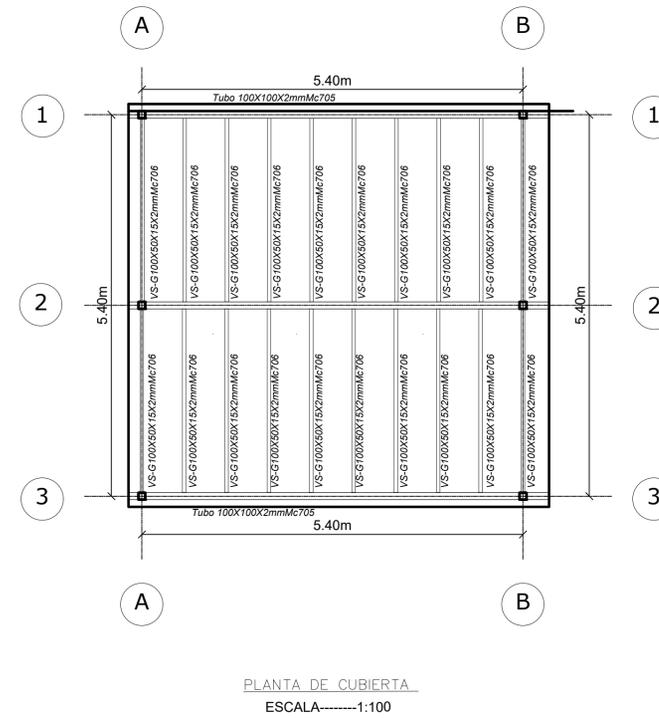
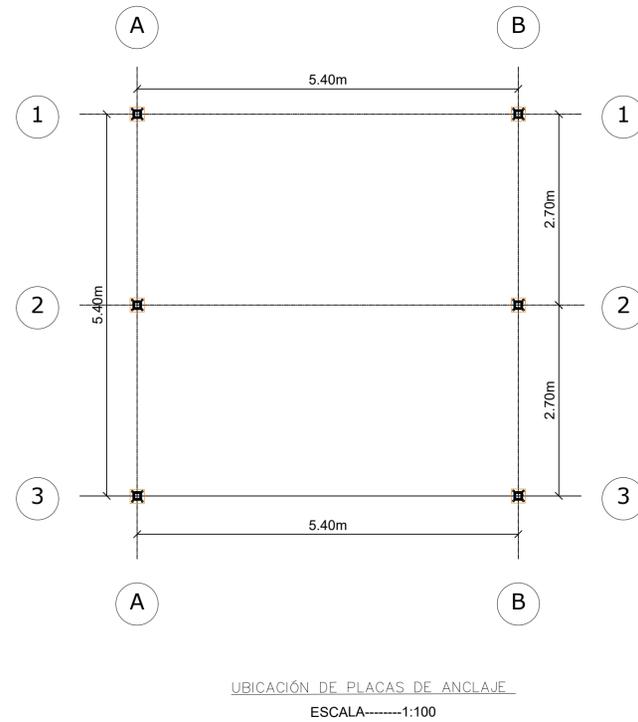
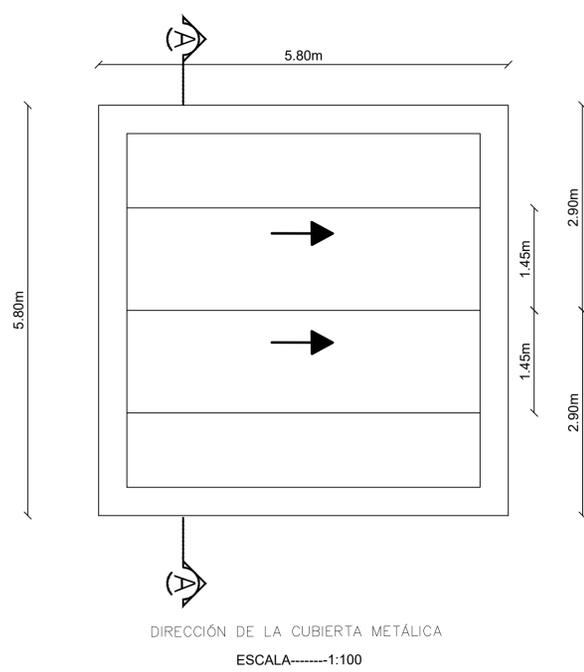
ELABORADO POR: Josselin Chicaiza	APROBÓ: Ing. Fabián Morales Fiallos, Mg.
---	---

CONTIENE:
DETALLE DE LAS UNIDADES HIDRÁULICAS, CERRAMIENTO Y PUERTA PRINCIPAL DE LA PTAR

ESCALA: INDICADAS	FECHA: SEPTIEMBRE 2023	LÁMINA: 4/5
----------------------	---------------------------	----------------



CUBIERTA METÁLICA

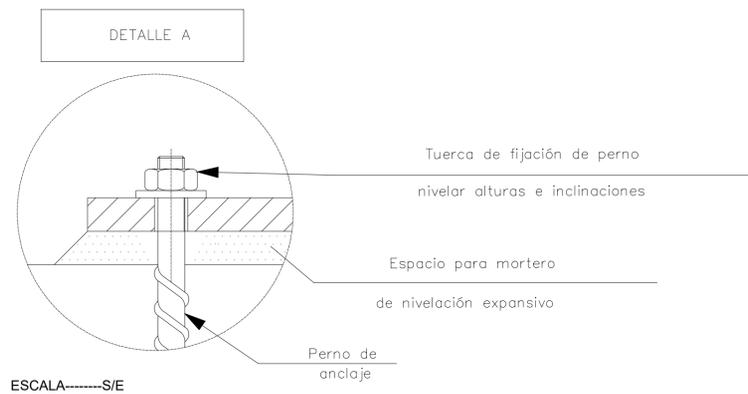


NOTA:

El modelado de la cubierta metálica es el mismo para los dos lechos de secado de lodos de la PTAR

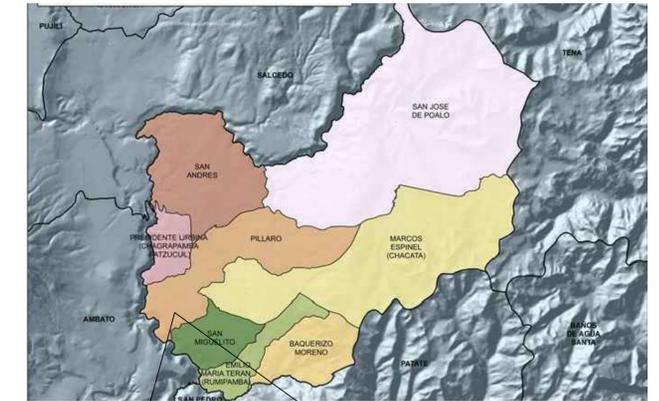
PLANILLA DE PERFILES ESTRUCTURALES A36

Mc	UBICACIÓN	DESIGNACIÓN	PESO Kg/m	Dimensiones [m]		
				Nº (U)	LONGITUD	PESO (kg)
ESTRUCTURA						
701	PLACA DE ANCLAJE	200X200X5mm	1,57	12,00	-	18,84
702	ANCLAJES	1/2"X305mm	2,01	48,00	0,305	29,43
703	COLUMNA	Tubo 100X100X2mm	6,07	6,00	2,00	72,84
704	COLUMNA	Tubo 100X100X2mm	6,07	6,00	1,04	37,88
705	VIGA PRINCIPAL	Tubo 100X100X2mm	6,07	6,00	6,00	218,52
706	VIGA SECUNDARIA	G100X50X15X2mm	3,41	40,00	2,60	354,64
COMPLEMENTOS						
708	CUBIERTA	ZINC e=0.20mm	1,80	12,00	Longitud 6x1.04m	-
709	CUBIERTA	GANCHOS	-	120,00	@25cm	-
TOTAL:						732,14 kg



UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

PROVINCIA: TUNGURAHUA	CANTÓN: SANTIAGO DE PÍLLARO	PARROQUIA: PÍLLARO CENTRO	SECTOR: EL ARTESÓN
SISTEMA DE REFERENCIA		ÁREA	
DATUM : WGS 84		ZONA : 17 SUR	
			1239.60 m ²



PROYECTO:

EVALUACIÓN DE LA PTAR DEL SECTOR PLAYA GRANDE EL ARTESÓN, PARROQUIA PÍLLARO, CANTÓN SANTIAGO DE PÍLLARO DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA

ELABORADO POR:

Josselin Chicaiza

APROBÓ:

Ing. Fabián Morales Fiallos, Mg.

CONTIENE:

DETALLE DE LA CUBIERTA METÁLICA

ESCALA:
INDICADAS

FECHA:
SEPTIEMBRE 2023

LÁMINA:
3/5