

UNIVERSIDAD MAYOR, REAL Y PONTIFICIA DE SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA

VICERRECTORADO

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LOS MUNICIPIOS DE MOJOCOYA Y ZUDÁÑEZ, CHUQUISACA

TRABAJO EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER EN GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS Y AGUAS RESIDUALES

MARCO JAVIER CHOQUE NINA

SUCRE, AGOSTO DE 2025

CESIÓN DE DERECHOS

Al presentar este trabajo como requisito previo para la obtención del GRADO DE MAGISTER EN GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS Y AGUAS RESIDUALES de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, autorizo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación o a la biblioteca de la Universidad, para que se haga de este trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, los derechos de publicación de este trabajo o parte de él, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.

Marco Javier Choque Nina

DEDICATORIA

A mi madre (†) e hijos: son mi fortaleza y horizonte a seguir para lograr cada objetivo planteado.

AGRADECIMIENTOS

Al CEPI por haberme acogido con los brazos abiertos en todo el trascurso de mi proceso de formación superior.

Al Gobierno Autónomo Municipal de Zudáñez y Mojocoya por brindarme la oportunidad de complementar mis estudios superiores y aportar con mi granito de arena en la gestión ambiental municipal.

A mi Tutor, por haber compartido sus conocimientos para la elaboración del trabajo de investigación y sobre todo por su seguimiento, constancia y consejos.

A mi Tribunal, por tan acertadas observaciones y oportunas recomendaciones para mejorar y/o enriquecer la elaboración del trabajo de investigación.

CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
1. ANTECEDENTES	2
2. SITUACIÓN PROBLÉMICA.....	4
3. FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	4
4. JUSTIFICACIÓN	4
5. OBJETO DE ESTUDIO	6
6. CAMPO DE ACCIÓN	6
7. OBJETIVOS	6
7.1. Objetivo General	6
7.2. Objetivos Específicos	6
8. DISEÑO METODOLÓGICO	7
8.1. Tipo de Investigación	7
8.2. Métodos Teóricos.....	7
8.3. Métodos Empíricos.....	8
8.4. Diseño del Cuestionario (Encuesta).....	9
8.5. Población	9
8.6. Selección de la Técnica de Muestreo.....	10
8.7. Tamaño de la Muestra	10
8.8. Criterio de Inclusión y Exclusión.....	12
8.9. Relaciones Esenciales	13
CAPÍTULO I	14
MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL	14
1.1. Marco Teórico	14

1.2. Marco Contextual	30
CAPÍTULO II	39
DIAGNÓSTICO	39
2.1. Evaluación de operatividad y mantenimiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales	39
2.2. Comparación de Resultados del Análisis de Agua Residual de las Plantas de Tratamiento.....	55
2.3. Determinación de la Percepción Socioambiental	59
CAPÍTULO III	79
PROPUESTA	79
3.1. Título	79
3.2. Introducción.....	79
3.3. Justificación.....	80
3.4. Objetivos	80
3.5. Mejoras a las Condiciones Básicas de Operación (CBO).....	81
3.6. Mejoras al Tratamiento de Lodos Generados.....	87
3.7. Mejoras en la Retención de Sólidos Totales Suspendidos	101
3.8. Estimación de Costos.....	104
3.9. Conclusiones.....	104
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	106
CONCLUSIONES	106
RECOMENDACIONES	107
BIBLIOGRAFÍA	110
ANEXOS	114

CONTENIDO DE IMÁGENES

Imagen N° 1. Etapas del tratamiento de las aguas residuales.....	15
Imagen N° 2. Tanque Imhoff.....	18
Imagen N° 3. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA).....	19
Imagen N° 4. Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA)	20
Imagen N° 5. Secciones longitudinal y transversal de un humedal artificial de flujo superficial.	21
Imagen N° 6. Laguna Anaerobia.....	22
Imagen N° 7. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	31
Imagen N° 8. Esquema de la PTAR, Zudáñez	33
Imagen N° 9. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	34
Imagen N° 10. Esquema de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Redención Pampa (Mojocoya)	37
Imagen N° 11. Categorías de una PTAR en base a criterios de población de diseño	40
Imagen N° 13. Actores del sector del agua en Bolivia y competencias.....	81
Imagen N° 14. Espesador por gravedad estático	89
Imagen N° 15. Esquema de estabilización de lodos mediante la adición de cal.	93
Imagen N° 16. Sección de un Lecho de Secado	95
Imagen N° 17. Corte transversal de un Humedal Artificial para el secado de lodos	98
Imagen N° 18. Implementación de un sistema de aireación.....	102

CONTENIDO DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1. Pirámide poblacional	32
Gráfico N° 2. Importancia del tratamiento para la protección del Medio Ambiente	60
Gráfico N° 3. Aspectos del tratamiento de aguas y su relación con el medio ambiente.	61
Gráfico N° 4. Información del tratamiento de aguas y la salud pública	62
Gráfico N° 5. La salud y la operación de la PTAR	63
Gráfico N° 6. Participación social en la operación de la PTAR	64
Gráfico N° 7. Participación social en la evaluación de la PTAR.....	64
Gráfico N° 8. Disposición a pagar por el tratamiento de aguas.....	65
Gráfico N° 9. Medidas efectivas para la sostenibilidad económica	66
Gráfico N° 10. Mejoras a implementar en la PTAR.....	67
Gráfico N° 11. Innovación más relevante para la PTAR	68
Gráfico N° 12. Importancia del tratamiento para la protección del Medio Ambiente	69
Gráfico N° 13. Aspectos del tratamiento de aguas y su relación con el medio ambiente.	70
Gráfico N° 14. Información del tratamiento de aguas y la salud pública	71
Gráfico N° 15. La salud y la operación de la PTAR	72
Gráfico N° 16. Participación social en la operación de la PTAR	73
Gráfico N° 17. Participación social en la evaluación de la PTAR.....	74
Gráfico N° 18. Disposición a pagar por el tratamiento de aguas.....	75
Gráfico N° 19. Medidas efectivas para la sostenibilidad económica	76
Gráfico N° 20. Mejoras a implementar en la PTAR.....	77
Gráfico N° 21. Innovación más relevante para la PTAR	78

CONTENIDO DE CUADROS

Cuadro 1.	Población	9
Cuadro 2.	Los rangos establecidos para el indicador CTUP	24
Cuadro 3.	Tabla 4. Rangos de CBO por Categoría de PTAR	25
Cuadro 4.	Los rangos establecidos para el indicador CTUP	26
Cuadro 5.	Anexo A-2, límites permisibles para descargas líquidas en mg/l.	29
Cuadro 6.	Ubicación política de la PTAR	30
Cuadro 7.	Ubicación geográfica de la PTAR.....	30
Cuadro 8.	Vías de acceso a la zona del proyecto	31
Cuadro 9.	Característica topográfica, clima y vegetación	32
Cuadro 10.	Beneficiarios con sistema de distribución de agua	33
Cuadro 11.	Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales	33
Cuadro 12.	Ubicación política de la PTAR	34
Cuadro 13.	Ubicación geográfica de la PTAR.....	34
Cuadro 14.	Vías de acceso a la zona del proyecto	35
Cuadro 15.	Caracterización de la ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	35
Cuadro 16.	Unidades de tratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Redención Pampa	38
Cuadro 17.	Componentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	40
Cuadro 18.	Resultados de la capacidad de tratamiento utilizada.....	43
Cuadro 19.	Resultado de las condiciones básicas de operación y mantenimiento .	44
Cuadro 20.	Resultado de la gestión de mantenimiento.....	45
Cuadro 21.	Resultado de la eficiencia de tratamiento.....	45
Cuadro 22.	Comparación de parámetros de la PTAR con límites permisibles	46

Cuadro 23.	Resultado del tratamiento de lodos generados	47
Cuadro 24.	Componentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Redención Pampa.....	48
Cuadro 25.	Resultados de la capacidad de tratamiento utilizada.....	51
Cuadro 26.	Resultado de las condiciones básicas de operación y mantenimiento .	52
Cuadro 27.	Resultado de la gestión de mantenimiento.....	53
Cuadro 28.	Resultado de la eficiencia de tratamiento.....	53
Cuadro 29.	Comparación de parámetros de la PTAR con límites permisibles	54
Cuadro 30.	Resultado del tratamiento de lodos generados	55
Cuadro 31.	Análisis de agua residual afluyente (ingreso a la PTAR).....	56
Cuadro 32.	Análisis de agua residual efluente (salida a la PTAR)	57
Cuadro 33.	Análisis de agua residual afluyente (ingreso a la PTAR).....	58
Cuadro 34.	Análisis de agua residual efluente (salida de la PTAR)	59
Cuadro 35.	Estabilización de los lodos en las líneas de tratamiento.....	87
Cuadro 36.	Valores recomendados de la carga de sólidos en función del tipo de lodos	90
Cuadro 37.	Ventajas y desventajas de los espesadores por gravedad.....	90
Cuadro 38.	Cargas de sólidos en función de la zona ecológica.....	99
Cuadro 39.	Ventajas del empleo de humedales artificiales para la deshidratación de los lodos	100
Cuadro 40.	Valores recomendados para el dimensionamiento de desarenadores aireados	103
Cuadro 41.	Resumen de presupuesto	104

RESUMEN

El cambio climático, la actividad de las industrias, el uso irresponsable y la contaminación de las aguas son algunos factores que han incidido en la toma de acciones con respecto a la preservación del agua. Las aguas residuales son las aguas que han sido utilizadas previamente en actividades domésticas, comerciales e industriales y que, para ser tratadas, deben ser conducidas por medio de una red de alcantarillas hasta la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales donde son procesadas, reutilizadas o devueltas al medio ambiente en condiciones y parámetros que exigen el Reglamento Ambiental en Materia de Contaminación Hídrica.

El fundamento principal de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, es lograr la desinfección de líquidos contaminados para preservar el medio ambiente, para esto, Bolivia ha incorporado medidas de control y seguimiento a las PTAR a través de políticas y líneas estratégicas metodológicas para medir la eficacia con la que trabajan las PTAR desde el punto de vista de funcionalidad, operación, mantenimiento, calidad del agua, y de esta manera contribuya a preservar las fuentes de aguas receptoras.

Actualmente, el diseño de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales se desarrolla en el marco de la Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales, aprobadas por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), mediante Resolución Ministerial N°596/2021 de 18/10/2021. Guía mediante el cual se diseñaron las PTAR's para los centros poblados del municipio de Zudáñez y Mojocoya.

El presente trabajo se enfoca a evaluar la eficiencia de dos PTAR diseñadas en el marco de la guía antecedida, en métodos mejorados y/o combinados incorporando un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA), Lagunas de Maduración y Humedales, durante el tratamiento de aguas residuales en los municipios de Mojocoya y Zudáñez, Chuquisaca.

Este análisis, expresa claramente la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales y por ende en la aplicación de la guía, de acuerdo a los valores y estándares de eficiencia aplicados conforme la Resolución Administrativa Regulatoria AAPS N°300/2018 y normativa ambiental vigente.

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES

La ONU indica que, a nivel mundial, cada 15 segundos muere un niño por una enfermedad causada por la falta de acceso a agua segura para beber, el saneamiento deficiente o la falta de higiene (UNESCO, 2017, p. 2). En este marco, el manejo de las aguas residuales, está cobrando importancia como fuente de agua alternativa fiable, cambiando el paradigma de la gestión de aguas residuales de "tratamiento y eliminación" a "reutilización, reciclado y recuperación del recurso".

Mediante la iniciativa ONU-AGUA PARA EL MONITOREO INTEGRADO DEL ODS 6, las Naciones Unidas tratan de apoyar a los países en el monitoreo de los asuntos relacionados con el agua y el saneamiento (Alabaster, 2021, p. 1). Este informe presenta un resumen de los datos disponibles en materia de flujos totales de aguas residuales generados y tratados en 2015-2020, monitoreo que ayudará al cambio hacia una economía circular en la que las aguas residuales se consideren un recurso valioso.

En este sentido, en Bolivia según el (MMAyA, 2023), se evaluó varias PTAR en el País, uno de los principales problemas de que las plantas construidas dejen de funcionar es la falta de operación y mantenimiento.

En lo referente al número de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) construidas en el país, de acuerdo con los datos del Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (VAPSB, 2019, p. 15), este número se eleva a 219 instalaciones, de las cuales tan sólo 106 (50,7%) presentan un estado "bueno" o "regular" y dan servicio a un total de 3.006.656 habitantes (el 26,6% de la población nacional).

Con el paso del tiempo y las nuevas disposiciones legales, el tratamiento de aguas residuales se ha convertido en uno de los objetivos más importantes que deben encarar los municipios, en el marco del Art. 302 parágrafo I numeral 40 de la Constitución Política del Estado Plurinacional, que a la letra indica "*Son competencias exclusivas de los gobiernos municipales autónomos, en su jurisdicción, los servicios básicos en su jurisdicción*" (Constitución, 2009, p. 62).

A lo largo del tiempo los centros poblados de los municipios de Mojocoya y Zudáñez, han contado con sistemas deficientes de acueducto, alcantarillado y manejo de aguas servidas, lo que se refleja en la salud de las personas, especies animales y vegetales, presentes a lo largo del cauce aguas abajo donde se realiza el vertimiento (Mojocoya, 2021, p. 16).

En ese entendido, el Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia, en el marco de la Agenda Patriótica 2025 y de los compromisos adquiridos para dar cumplimiento a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Unidas, 2015), ha desarrollado la Estrategia Nacional de Tratamiento de Aguas Residuales (ENTAR), que contempla una Guía Técnica para la Selección y Diseño de Líneas de Tratamiento de Aguas Residuales, que permite la construcción de proyectos sostenibles para el tratamiento de las aguas residuales, que deben estar bien conceptualizados y adecuarse a la realidad del lugar de construcción, principalmente en lo relacionado con sus condiciones climatológicas y fisiográficas (MMAyA, 2021).

Así el diagnóstico realizado a la operatividad y funcionamiento de las PTAR en los centros poblados de los municipios de Mojocoya (Mojocoya, 2021) y Zudáñez (Zudáñez, 2018), devela altos índices de eficiencia, conforme los valores y estándares aplicados en la guía de seguimiento, monitoreo y control de la operación y mantenimiento de las PTAR (MMAyA, 2018) y reglamento ambiental (RAMCH, 1995), sin embargo, persiste un inadecuado manejo de sólidos y lodos generados, convirtiendo esto en un problema muy grave para cada municipio, debido a que aguas abajo donde se hacen los vertimientos de las aguas residuales, la población rural usa estas fuentes para el riego de sus cultivos y en algunos casos para el consumo.

Es así que, en los centros poblados de los municipios de Mojocoya y Zudáñez, se han diseñado Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales aplicando la Guía Técnica para la Selección y Diseño de Líneas de Tratamiento de Aguas Residuales, combinando métodos mejorados y/o combinados, incorporando Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA), Lagunas de Maduración y Humedales.

Consiguientemente con el fin de evaluar la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales y por ende en la aplicación de la Guía, de acuerdo a los valores y estándares de eficiencia aplicados conforme la (MMAyA, 2018) y (RAMCH, 1995), se ha realizado un diagnóstico antes y posterior a la operación de las nuevas PTARs, tomando en cuenta aspectos como el comportamiento hídrico en tanto la calidad del agua, el sistema de operación, mantenimiento

y la efectividad de su funcionamiento, proponiendo lineamientos técnicos de adecuación y funcionamiento, con el propósito de ejemplificar los alcances de las mejoras para que otros gobiernos municipales o EPSA's (Entidad Prestadora de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario) puedan emplear para mejorar la eficiencia de sus procesos de tratamiento de aguas residuales y en consecuencia la protección del medio ambiente.

2. SITUACIÓN PROBLÉMICA

Las deficiencias que se presentan en las PTAR, están principalmente relacionadas con la sostenibilidad técnica, específicamente en lo referido a su operación y mantenimiento, por la falta de recursos humanos y financieros que garanticen un correcto funcionamiento de las mismas, situación que incide en el tratamiento y vertido de aguas residuales tratadas afectando el uso de fuentes de agua y el medio ambiente.

Otro factor que incide en la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales, está relacionado con la necesidad de fortalecer y mejorar los mecanismos e instrumentos de seguimiento y fiscalización referente a la operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, enfocados a utilizar herramientas y elementos técnicos, que puedan generar información, a fin de identificar aspectos que requieran ser corregidos y/o mejorados, contribuyendo así a optimizar las condiciones operativas de las PTAR.

3. FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en las PTAR basado en su desempeño y percepción socioambiental con relación a los parámetros AAPS N° 300/2018 y el Reglamento Ambiental en Materia de Contaminación Hídrica en la época de estiaje agosto – noviembre?

4. JUSTIFICACIÓN

La evaluación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es un proceso crucial que abarca diversas dimensiones, incluyendo:

a) Justificación Técnica

La evaluación técnica de una PTAR se centra en la eficiencia de los procesos de tratamiento. Se analizan tecnologías como métodos mejorados y/o combinados, como un Reactor

Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) y Humedales de Flujo Subsuperficial (Mojocoya, 2021) y un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) y Lagunas de Maduración (Zudáñez, 2018), asegurando que las PTAR cumpla con los estándares de calidad del agua.

También se evalúan variables, índices e indicadores, que permitirán conocer y evaluar las condiciones técnicas particulares de la operación y mantenimiento de las PTAR (MMAyA, 2018) y la normativa legal aplicable (RAMCH, 1995).

b) Justificación Metodológica

Desde el punto de vista metodológico, la evaluación incluye el uso de indicadores que permiten medir la eficiencia de las PTAR. Se utilizan enfoques como estudios de impacto ambiental (EIA) que proporcionan una visión integral sobre el funcionamiento de las PTAR. Esta metodología permite identificar áreas de mejora y optimización, así como la implementación de prácticas de gestión eficiente de recursos.

c) Justificación Social

La dimensión social implica evaluar el impacto de las PTAR en la comunidad local. Esto incluye la percepción pública y la participación de los ciudadanos. Una PTAR adecuada puede mejorar la salud pública al reducir la contaminación del agua, además de generar empleo y fomentar la conciencia ambiental entre los habitantes. La evaluación social también busca asegurar que las comunidades vulnerables se beneficien equitativamente de los servicios de tratamiento de aguas.

d) Justificación Ambiental

La evaluación ambiental se enfoca en los efectos de las PTAR sobre el ecosistema. Es fundamental analizar cómo las PTAR afectan la calidad del agua en cuerpos receptores, la biodiversidad y los recursos hídricos locales. Se deben considerar las emisiones de gases y otros contaminantes, así como las estrategias de mitigación y compensación. Una PTAR bien diseñada y gestionada puede contribuir a la sostenibilidad ambiental, promoviendo el reciclaje de agua y el uso eficiente de los recursos.

En resumen, la evaluación de una PTAR es un proceso multidimensional que requiere un enfoque integral, considerando aspectos técnicos, metodológicos, sociales y ambientales para garantizar su efectividad y sostenibilidad a largo plazo.

5. OBJETO DE ESTUDIO

Eficiencia del tratamiento de las aguas residuales en las PTAR con métodos mejorados y/o combinados, como un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) y Humedales de Flujo Subsuperficial (Mojocoya, 2021) y un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) y Lagunas de Maduración (Zudáñez, 2018), asegurando que las PTAR cumpla con los estándares de calidad del agua.

6. CAMPO DE ACCIÓN

Eficiencia de las plantas PTAR que demarquen la diferencia del mejor método de tratamiento de aguas residuales (mejorado y/o combinado) y la percepción socioambiental que contribuya a minimizar el impacto ambiental a los recursos hídricos.

7. OBJETIVOS

7.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia operativa de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de los centros poblados de Redención Pampa y Zudáñez, en términos de desempeño en relación a los parámetros AAPS N° 300/2018 y Reglamento Ambiental en Materia de Contaminación Hídrica en la época de estiaje, con la finalidad de proponer una mejora en su operatividad.

7.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la operatividad y mantenimiento de las plantas de tratamiento en estudio bajo indicadores de desempeño establecidos por la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS) mediante Resolución Administrativa Regulatoria AAPS N° 300/2018.
- Comparar los resultados del análisis del agua residual en el marco de los parámetros establecidos en el Reglamento Ambiental en Materia de Contaminación Hídrica.
- Determinar la percepción social sobre la calidad de las aguas tratadas de los centros poblados en estudio.
- Elaborar una propuesta para optimizar la operación de las plantas, basadas en los hallazgos técnicos y sociales, con el fin de mejorar su eficiencia y sostenibilidad.

8. DISEÑO METODOLÓGICO

8.1. Tipo de Investigación

Yazdani, 2021, presenta una taxonomía de estudios de investigación que incluye tipos como investigaciones explicativas, psicométricas, descriptivas, exploratorias, explicativas, teóricas, cuantitativo, cualitativo y cuali-cuantitativo, traslacionales, sintéticas, prescriptivas, de implementación y evaluativas. Esta clasificación destaca la relación entre la posición cognitiva y el desarrollo del conocimiento, resaltando la importancia de seleccionar el enfoque adecuado para cada pregunta de investigación.

Siguiendo a lo descrito por Yazdani, 2021, el presente estudio es de tipo cuantitativo dado que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos (indicadores de desempeño de las PTAR) para identificar patrones, relaciones o tendencias. Así mismo, es de tipo cualitativo, debido a la recolección de datos, utilizando entrevistas semi-estructuradas para recoger datos de diversas perspectivas sociales. Por lo que se clasifica como un estudio cuali-cuantitativo.

8.1.1. Investigación cuali-cuantitativo

Según la estrategia de obtención de la información, el tipo de investigación corresponde a la investigación cuali-cuantitativo (Gayubas, 2025), dado que combina elementos de ambos enfoques para proporcionar una comprensión más integral de los fenómenos estudiados, aprovechando las fortalezas de cada enfoque.

La investigación cuali-cuantitativa en las PTAR, permite una comprensión más completa de su funcionamiento, integrando datos numéricos sobre eficiencia (indicadores de desempeño/cuantitativo) con perspectivas cualitativas de las comunidades. Esto facilita la identificación de áreas de mejora y el fortalecimiento de la relación entre la planta y los usuarios.

8.2. Métodos Teóricos

8.2.1. Método Analítico

El método analítico es un enfoque de investigación que se centra en descomponer un fenómeno complejo en sus componentes más simples para comprender mejor su estructura y funcionamiento (Lopera, 2014).

Este método nos permitió, identificar y descomponer el problema central en indicadores de desempeño, funcionalidad, operación y mantenimiento; analiza de manera detallado los componentes; combina los hallazgos de cada componente para obtener una visión holística del sistema de tratamiento de aguas residuales y con base en el análisis, desarrollamos recomendaciones y un plan de acción para implementar mejoras.

8.2.2. Método bibliográfico

Por método bibliográfico entendemos el conjunto de operaciones o etapas que permiten la elaboración de un repertorio bibliográfico o bibliografía (Martín, 2023).

Este método se empleó durante la revisión bibliográfica (internet, libros, tesis elaboradas y otros), recopilando elementos para fortalecer el objeto de estudio y la construcción del marco teórico, seleccionando información general relacionada a un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA), Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA), Humedales de Flujo Subsuperficial, Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) y Lagunas de Maduración, en función a las características de población y clase de aguas residuales que se generan.

8.3. Métodos Empíricos

8.3.1. Observación de campo

Investigación de campo, estudio de campo o trabajo de campo, es el proceso que permite obtener datos de la realidad y estudiarlos tal y como se presentan, sin manipular las variables. Por esta razón, su característica esencial es que se lleva a cabo fuera del laboratorio, en el lugar de ocurrencia del fenómeno (Rhoton, 2024).

La aplicación de la técnica de observación de campo dentro del método empírico proporciona una perspectiva práctica y directa sobre la efectividad del tratamiento de aguas residuales. Esta técnica permite identificar tanto la operatividad de los sistemas como las condiciones reales de tratamiento, lo que resulta en recomendaciones fundamentadas y prácticas para mejorar la gestión del saneamiento en la comunidad. Al observar en el contexto real, se puede obtener información valiosa que contribuye a la toma de decisiones informadas y efectivas.

8.4. Diseño del Cuestionario (Encuesta)

La encuesta es “una técnica que utiliza un conjunto de procedimientos estandarizados de investigación mediante los cuales se recoge y analiza una serie de datos de una muestra representativa de una población o universo más amplio, del que se pretende explorar, describir, predecir y/o explicar una serie de características” (Anguita, 2025).

8.4.1. Diseño

La encuesta se diseñó en coordinación con el tutor y personal de cada GAM a través de procesos de revisión y retroalimentación mutua. Se definió la población y aplicó técnicas de muestreo para determinar el tamaño de la muestra. Finalmente, se elaboró un cuestionario (encuesta) para cada territorio con preguntas en común. El diseño de la encuesta, se basó en:

- Tipo de Encuesta: Encuesta cerrada (opciones predeterminadas).
- Estructura de las Preguntas Específicas: Relacionadas al objeto de estudio.
- Escalas de Medición: Se utilizó las escalas de Likert, para medir las respuestas.

Para las muestras con facilidad de acceso y manejo del celular, la herramienta utilizada fue Google Forms (Anexo 9), gratuita y fácil de usar para crear encuestas en línea, nos ayuda a personalizar las preguntas y recopilar automáticamente las respuestas para análisis.

Para las muestras con dificultad de acceso y manejo de celular, se utilizó encuestas impresas para luego ser introducidas a Google Forms (Anexo 9).

8.5. Población

Independientemente de la población total que habita en el centro poblado de Zudáñez y/o Redención Pampa (Mojocoya), de acuerdo a la información oficial proporcionada por el personal técnico de las áreas de medio ambiente de los GAM de Zudáñez y GAM de Mojocoya, la población que recibe el servicio de alcantarillado y/o tratamiento de aguas residuales (acometidas domiciliarias), tiene el siguiente universo:

Cuadro 1. Población

Componente	Descripción	Zudáñez	Redención Pampa (Mojocoya)
Conexiones	Usuarios	750	850

Fuente. Elaboración propia en base al EDTP PTAR Zudáñez y PTAR Redención Pampa (Mojocoya).

8.6. Selección de la Técnica de Muestreo

Acorde al alcance de los objetivos, se plantean 2 técnicas de muestreo:

8.6.1. Técnica de Muestreo para la Población

En este caso, la selección se basa en Muestreo Aleatorio Simple, donde cada individuo de la población tiene la misma probabilidad de ser seleccionado, la ventaja es fácil de implementar y minimiza sesgos, la desventaja es que requiere una lista completa de la población.

Para la muestra, se utilizó la siguiente fórmula para determinar el número de muestras en ambas áreas de estudio:

$$n = \frac{z_{(1-\alpha)}^2 * N * d^2}{(N - 1) * E^2 + z_{(1-\alpha)}^2 * d^2}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra.

N = Número de viviendas.

d = Desviación Estándar (0,05 a 0,25).

e = Error permisible (0,04 a 0,07).

z = Percentil normal para nivel de confianza ($\alpha=95\%$).

8.6.2. Técnica de Muestreo para la PTAR

La evaluación de la PTAR se llevó a cabo en tres fases: La 1° fase incluyó el muestreo y la caracterización del agua durante el proceso de tratamiento, en la 2° se obtuvieron los parámetros básicos de operación (índices e indicadores) que fueron calculados a partir de la caracterización y dimensiones de la planta; en la 3° fase se verificó el cumplimiento de los parámetros establecidos en el D.S. N°24176 (RAMCH, 1995).

8.7. Tamaño de la Muestra

El tamaño de la muestra se refiere al número de individuos o unidades que se seleccionan de una población para participar en un estudio. Es un aspecto crucial en la investigación, ya que afecta la validez, la precisión y la generalización de los resultados, teniendo:

8.7.1. Tamaño de la Muestra para la Población

a) Para la población de Zudáñez

$$n = \frac{1.96 * 750 * 0.25^2}{(750 - 1) * 0.05^2 + 1.96 * 0.25^2}$$

Teniendo:

$$n = 85$$

b) Para la población de Redención Pampa (Mojocoya)

$$n = \frac{1.96 * 850 * 0.25^2}{(850 - 1) * 0.05^2 + 1.96 * 0.25^2}$$

Teniendo:

$$n = 86$$

8.7.2. Tamaño de la Muestra para la PTAR

Esta referido a la cantidad de agua a ser analizada en laboratorio y cada que tiempo se hará el muestreo (IBNORCA, 2021).

a) Para la PTAR Zudáñez

250 ml a 300 ml en botellas de incubación para el análisis biológico, para parámetros de Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y coliformes fecales.

100 ml de volumen en envase de polietileno o de vidrio limpio y determinar el análisis físico químico, incluye parámetros de pH y Sólidos Suspendidos Totales.

1 muestra tomada en el afluente (desarenador).

1 muestra tomada en el efluente (Laguna de maduración).

1 vez al año en época de estiaje.

1 vez al año en época de crecida.

b) Para la PTAR Redención Pampa (Mojocoya)

250 ml a 300 ml en botellas de incubación para el análisis biológico, para parámetros de Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y coliformes fecales.

100 ml de volumen en envase de polietileno o de vidrio limpio y determinar el análisis físico químico, incluye parámetros de pH y Sólidos Suspendidos Totales.

1 muestra tomada en el afluente (desarenador).

1 muestra tomada en el efluente (humedal de flujo sub superficial).

1 vez al año en época de estiaje.

1 vez al año en época de crecida.

8.8. Criterio de Inclusión y Exclusión

Los criterios de inclusión son el grupo de características de una muestra de población o información que la hacen elegible para participar en el estudio, mientras que los de exclusión recogen las características que implican el descarte de esas mismas variables. En conjunto, a estos factores también se les llama criterios de elegibilidad (Consultore, 2022).

Estos criterios ayudan a asegurar que la muestra sea relevante y representativa, además de mejorar la validez y la confiabilidad de los resultados, siendo:

8.8.1. Criterios de Inclusión

Se refiere a un conjunto de características o condiciones que deben cumplirse para que un estudio, participante, dato o fuente de información sea considerado relevante y aceptable para la investigación. Estos criterios ayudan a definir el alcance de la investigación y aseguran que la información recopilada sea pertinente al tema en cuestión (Consultore, 2022).

Estos criterios garantizan que los sujetos seleccionados sean pertinentes para los objetivos de la investigación.

8.8.2. Criterios de Exclusión

Se refiere a aquellas características o condiciones que, si se cumplen, descalifican a un estudio, participante, dato o fuente de información de ser considerado para la investigación. Estos criterios ayudan a eliminar datos irrelevantes o no deseados, asegurando que los resultados sean más precisos y aplicables (Consultore, 2022).

Estos criterios evitan la inclusión de datos o individuos que podrían introducir sesgos o no ser relevantes para el estudio.

8.9. Relaciones Esenciales

Las relaciones esenciales en una tesis se refieren a las conexiones fundamentales entre los conceptos, teorías, variables y hallazgos que se exploran a lo largo del trabajo. Estas relaciones ayudan a establecer el marco teórico y metodológico de la investigación, permitiendo una comprensión más profunda del fenómeno estudiado (Consultore, 2022).

Entre estas relaciones se consideraron:

- **Relación entre Variables Operativas y Eficiencia:**
Se examina cómo las variables operativas, como el flujo de entrada de aguas residuales, el tipo de tecnología utilizada y los parámetros de operación (pH, temperatura, etc.), afectan la eficiencia del tratamiento.
- **Relación entre Calidad del Agua y Cumplimiento Normativo:**
Se evalúa la correlación entre los niveles de calidad del agua tratada y el cumplimiento de las normativas ambientales.
- **Relación entre Capacitación del Personal y Desempeño Operativo:**
Analiza cómo la capacitación y experiencia del personal de la PTAR afectan su desempeño operativo y la calidad del tratamiento.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL

1.1. Marco Teórico

1.1.1. Aguas Residuales

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014, p. 2).

Dentro de estos conceptos se incluyen aguas con diversos orígenes:

a) Aguas residuales domésticas

Aguas de origen comercial o residencial que contenga residuos fisiológicos, pero también pueden provenir de actividades humanas, las cuales deben ser dispuestas de forma correcta (OEFA, 2014, p. 3).

b) Aguas residuales industriales

Aguas producidas a partir de algún proceso o desarrollo productivo tales como actividades agrícolas, mineras, energética, petrolífera, agroindustrial, etc. (OEFA, 2014, p. 3).

c) Aguas residuales agrícolas

Aguas que provienen básicamente de actividades agrícolas desarrolladas principalmente en áreas rurales. A veces participan basado a su origen de aguas urbanas las cuales fueron aplicados en diversos lugares como riego agrícola, pero muchas veces sin previamente haberla tratado (García, 2016).

Aguas residuales municipales

Aguas residuales domésticas las cuales usualmente están mezcladas con aguas residuales o de drenaje pluvial, que pueden ser de origen industrial con tratamiento previo, las cuales son admitidas en los diferentes sistemas de alcantarillado (OEFA, 2014, p. 3).

1.1.2. Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

Una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), es vital para conservar el agua y vida dentro la tierra. Estos tratamientos permiten recuperar a través del uso de tecnologías recursos

que pueden ser nuevamente empleados en otras actividades, haciendo que estos recuperen su valor de importancia (Spena, 2016).

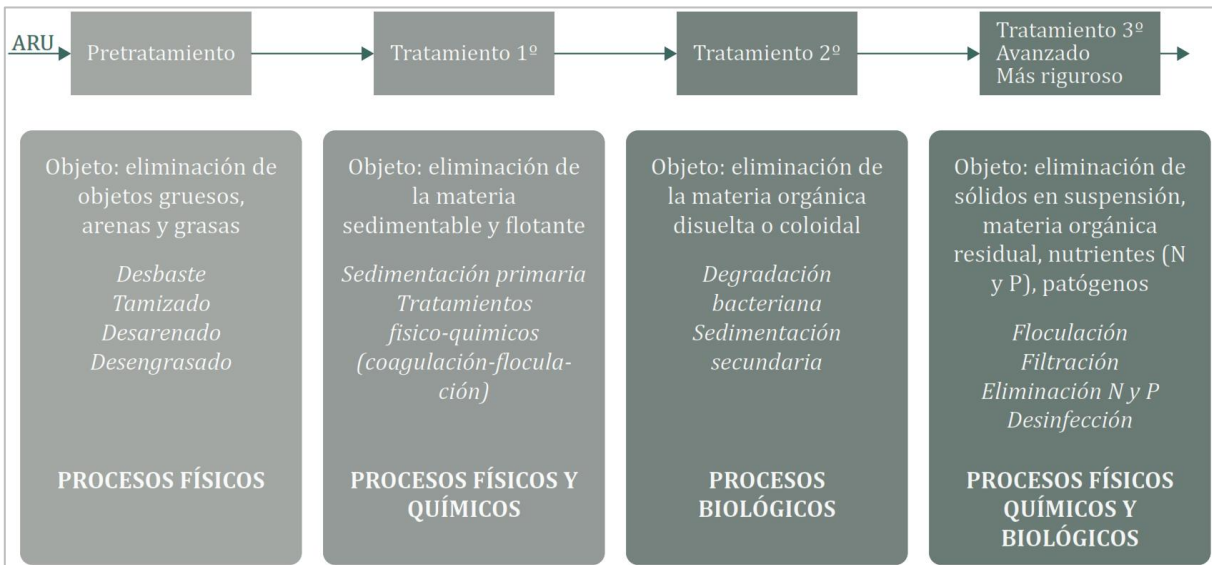
El tratamiento de las aguas residuales urbanas tiene como objetivo básico: “transformar el agua residual bruta en un efluente tratado, que cumpla la legislación vigente que permite su vertido a cauce receptor, con un mínimo costo económico y ambiental” (MMAyA, 2021, p. 85).

a) Función de una planta de tratamiento de aguas residuales

Una PTAR ayuda en limpiar el agua ya sea usada o residual, permitiendo que este líquido regrese de manera segura al ambiente (Spena, 2016), cumpliendo las siguientes funciones:

- Eliminar los sólidos, trapos, vísceras, arena, plásticos, y partículas más pequeñas que están formando parte de las aguas residuales.
- Reducir la materia orgánica y los contaminantes, organismos o bacterias que ayuden a consumir la materia orgánica dentro de estas aguas residuales para posteriormente separarlos.
- Restaurar el oxígeno, proceso que ayuda a que el agua que ingrese de nuevo a cuerpos de agua contenga suficiente oxígeno para mantener vida.

Imagen N° 1. Etapas del tratamiento de las aguas residuales.



Fuente. MMAyA, 2021, p. 85.

En las PTAR se somete a las aguas residuales a una serie de tratamientos concatenados, que tienen por objeto reducir las concentraciones de los contaminantes englobados en los cuatro grupos básicos (Pretratamiento, Tratamiento 1º, Tratamiento 2º, Tratamiento 3º) por debajo de los límites de vertido recogidos en la normativa medioambiental vigente (MMAyA, 2021, p. 85).

1.1.3. Gestión Integral de los Recursos Hídricos

La Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH) es un enfoque estratégico que busca la planificación, desarrollo, distribución y manejo sostenible de los recursos hídricos, considerando su interrelación con el medio ambiente, la economía y la sociedad, cuyos objetivos se centra en optimizar el uso del agua, proteger los recursos hídricos, aumentar la resiliencia y fomentar la equidad (UN, 2024).

La GIRH constituye el paradigma actual de la gestión del agua a nivel mundial, haciéndose explícito en políticas nacionales para la gestión del agua a nivel global, busca orientar el desarrollo de políticas públicas en materia de recursos hídricos, a través de una conciliación entre el desarrollo económico y social y la protección de los ecosistemas (Valdés, 2018, p. 58).

La importancia de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) dentro del marco de la Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH), es crucial para el manejo sostenible del agua, ya que contribuyen a la protección de los recursos hídricos y a la salud pública. Además, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) también respaldan la idea de que las PTAR son componentes esenciales de la GIRH, al promover la reducción de la contaminación y el uso eficiente del agua en el contexto de un manejo integrado (Paucar, 2020).

1.1.4. Tratamiento de Aguas Residuales

El tratamiento, es un proceso físico, químico y/o biológico que modifica alguna propiedad física, química y/o biológica del agua residual cruda (RAMCH, 1995, p. 177).

La disposición satisfactoria de estas aguas crudas y/o residuales, depende del tratamiento apropiado para prevenir que las aguas receptoras sean contaminadas hasta tal punto que no pueda utilizarse, ya sea para riego, recreación y mucho menos como agua potable (Mancilla, 2018, p. 10).

En la presente tesis y de acuerdo al objeto de estudio, se analiza tres (3) tipos de tratamiento:

- Tratamiento primario.
- Tratamiento secundario.
- Tratamiento terciario.

a) Tratamiento Primario

Refiere al tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante un proceso físico o fisicoquímico, que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO de las aguas residuales que entren, se reduzca, por lo menos, en un 20% antes del vertido, y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por lo menos, en un 50% (MMAyA, 2021, p. 1044).

El propósito fundamental de los dispositivos para el tratamiento primario consiste en disminuir suficientemente la velocidad de las aguas residuales para que puedan sedimentarse los sólidos en suspensión (Mancilla, 2018, p. 11).

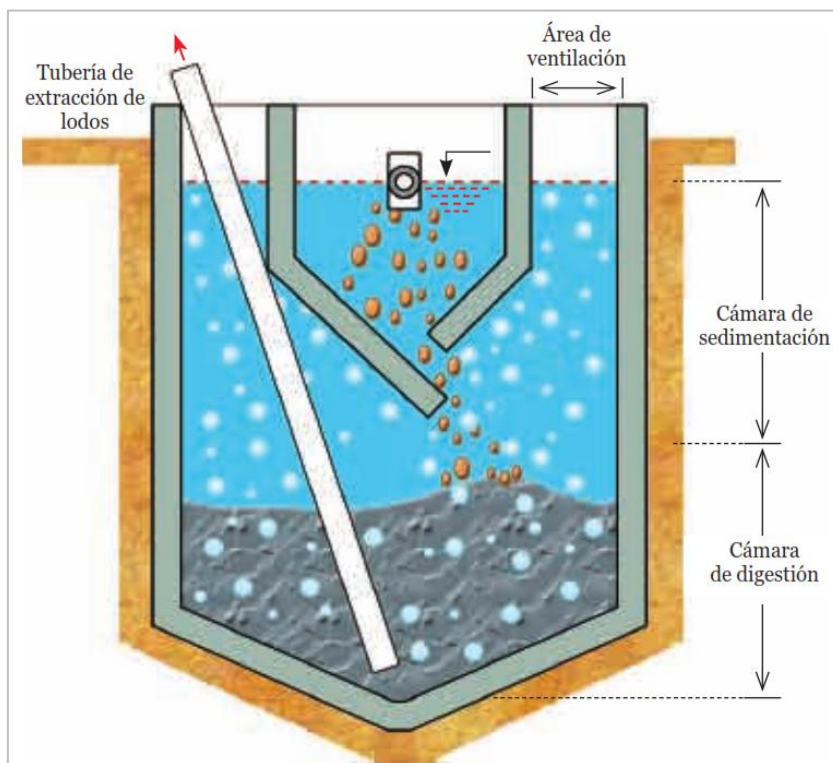
Debido a la diversidad de diseños y operación para este tratamiento, la tesis se centra en dos (2) tipos de tanques de sedimentación utilizados en el objeto de estudio, que son:

- **Tanque Imhoff**

Dispositivo que consta de un único depósito, en el que se separan la zona de sedimentación, que se sitúa en la parte superior, de la de digestión de los sólidos decantados, que se ubica en la zona inferior del depósito. La configuración de la apertura que comunica ambas zonas impide el paso de gases y partículas de fango de la zona de digestión a la de decantación.

De esta forma se evita que los gases que se generan en la digestión afecten a la decantación de los sólidos en suspensión sedimentables (MMAyA, 2021, p. 1042).

Imagen N° 2. Tanque Imhoff



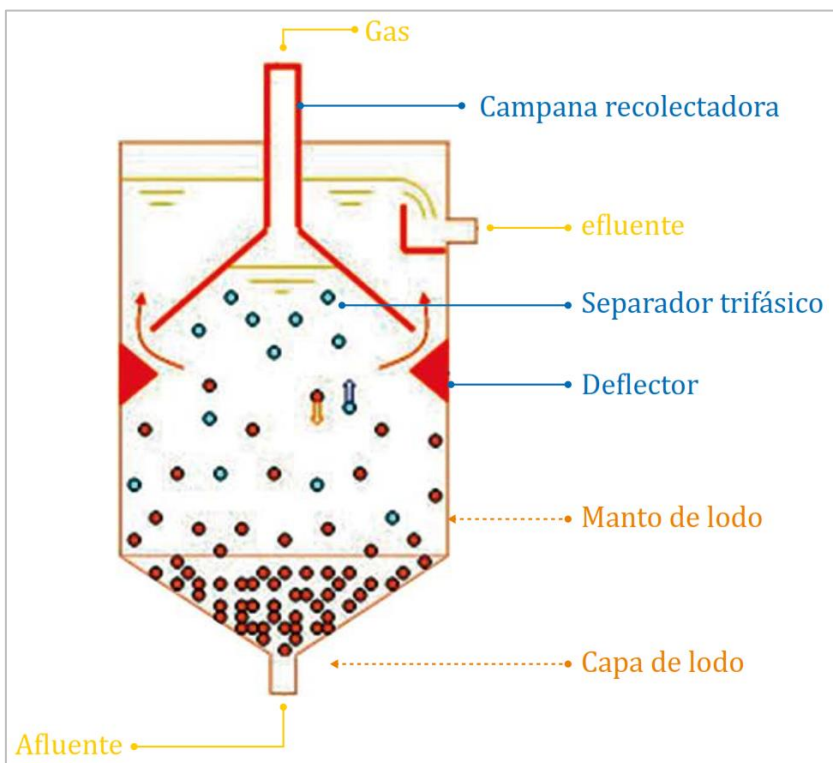
Fuente. Mancilla, 2018, p. 17.

Estos tanques, según (Mancilla, 2018, p. 16):

- Impiden que los sólidos que se han separado de las aguas residuales se mezclen nuevamente con ellas, permitiendo la retención de estos sólidos para su descomposición en la misma unidad.
- Proporciona un efluente adaptable a un tratamiento posterior, porque el nivel de contacto entre las aguas residuales sedimentadas y los lodos queda prácticamente eliminado y este hecho disminuye el período de retención de las aguas residuales en el tanque.

- **Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)**

Conocidos también como UASB (del inglés: Upflow Anaerobic Sludge Blanket), constituyen tecnología de tratamiento anaerobia, en la que las aguas residuales a tratar pasan a través de un manto de lodos a baja velocidad ascensional. Este tipo de tratamiento se caracteriza por realizarse en un único recinto las operaciones de: sedimentación primaria, reactor biológico y digestión anaerobia de los lodos (MMAyA, 2021, p. 317).

Imagen N° 3. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA).

Fuente. MMAyA, 2021, p. 318.

Las aguas a tratar en los RAFA se distribuyen uniformemente por la parte inferior del reactor y atraviesan, sucesivamente y en sentido ascendente, las siguientes capas (MMAyA, 2021, p. 318):

- Una capa de lodos de morfología granular, con tamaño de los gránulos de 1 a 5 mm, que se forma en la parte inferior del reactor y que presenta concentraciones de sólidos del 4-10%.
- Un manto de lodos, que presenta velocidades de sedimentación inferiores a las de la capa anterior, así como menores concentraciones de sólidos (1,5-3%).

b) Tratamiento Secundario

Refiere al tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante un proceso que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso (MMAyA, 2021, p. 1044).

Este tratamiento debe realizarse, cuando las aguas residuales después del tratamiento primario, todavía contienen más sólidos orgánicos en suspensión o solución que los que

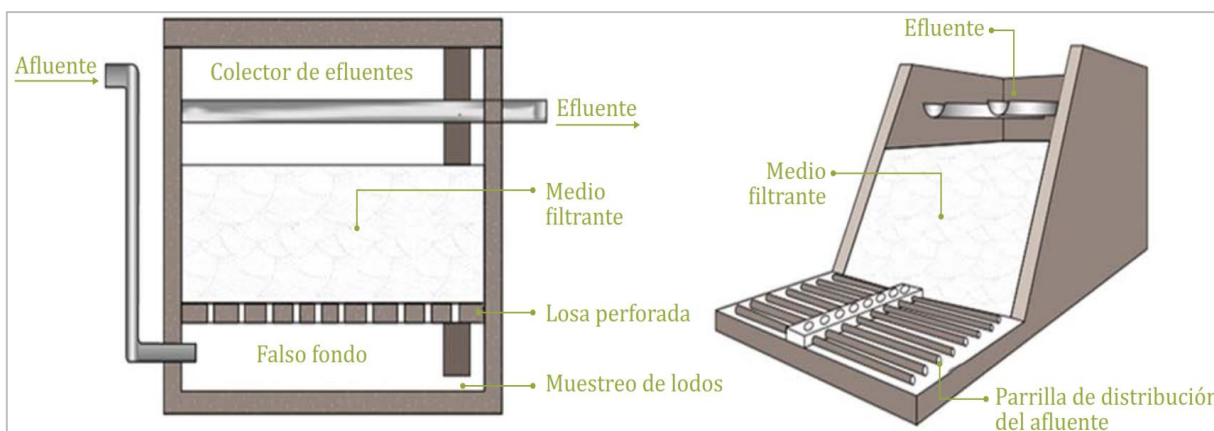
puedan ser asimilados por las aguas receptoras sin oponerse a su uso normal adecuado. El tratamiento secundario facilita la oxidación y sedimentación, depende principalmente de organismos aerobios para la descomposición de los sólidos orgánicos hasta transformarlos en sólidos inorgánicos o sólidos orgánicos estables (Mancilla, 2018, p. 12).

Conforme el objeto de estudio, entre los componentes de este tratamiento se ha contemplado:

- **Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)**

Los FAFA constituyen una tecnología de tratamiento de las aguas residuales, vía anaerobia, en la que las aguas a tratar atraviesan, en sentido ascendente, un material filtrante (MMAyA, 2021, p. 289). El procedimiento de un reactor biológico consiste en provocar el desarrollo de un cultivo bacteriano, estos microorganismos asentados en flóculos asimilan aeróbicamente la materia orgánica del agua afluyente a depurar (Trapote, 2011).

Imagen N° 4. Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA)



Fuente. MMAyA, 2021, p. 290.

Tras pasar por un tratamiento primario, se introducen por la parte inferior del filtro, bien a través de un falso fondo, coronado en su parte superior por una losa perforada que retiene al material de soporte y que permite el paso de las aguas a tratar, o bien, de una parrilla de distribución, dispuesta en el fondo del filtro (MMAyA, 2021, p. 289).

Las aguas ascienden por el material de soporte y abandonan el filtro por su parte superior, mediante una serie de canaletas o de tubos colectores.

c) Tratamiento Terciario

Permite obtener efluentes finales de mejor calidad, para que puedan ser vertidos en zonas donde los requisitos son más exigentes, o para que puedan ser reutilizados en otros usos (MMAyA, 2021, p. 1044).

El tratamiento terciario se emplea para separar la materia residual de los efluentes de procesos de tratamiento biológico, a fin de prevenir la contaminación de los cuerpos de agua receptores, o bien, obtener la calidad adecuada para el reuso (Mabel, 2022, p. 1).

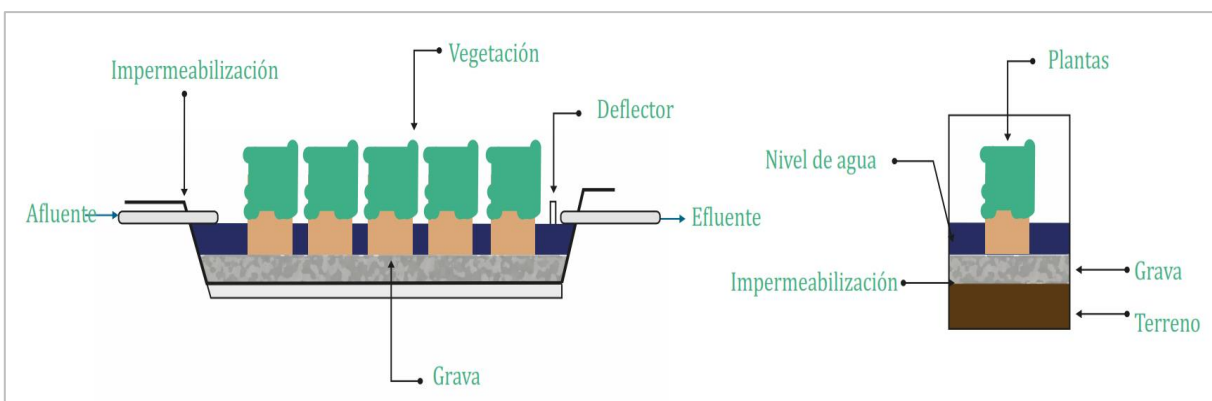
El proceso de tratamiento terciario biológico presenta mejores resultados en comparación con los procesos químicos que en general son demasiado costosos de implementar en la mayoría de los lugares y que pueden conducir a una contaminación secundaria (Bernal, 2019, p. 15).

En nuestro caso, nos referiremos a dos componentes de este sistema de tratamiento contemplado en el objeto de estudio:

- **Humedales**

Los humedales artificiales son sistemas de tratamiento de las aguas residuales que reproducen los mecanismos de eliminación de las sustancias contaminantes que se dan en las zonas húmedas naturales (MMAyA, 2021, p. 415).

Imagen N° 5. Secciones longitudinal y transversal de un humedal artificial de flujo superficial.



Fuente. MMAyA, 2021, pp. 417-418.

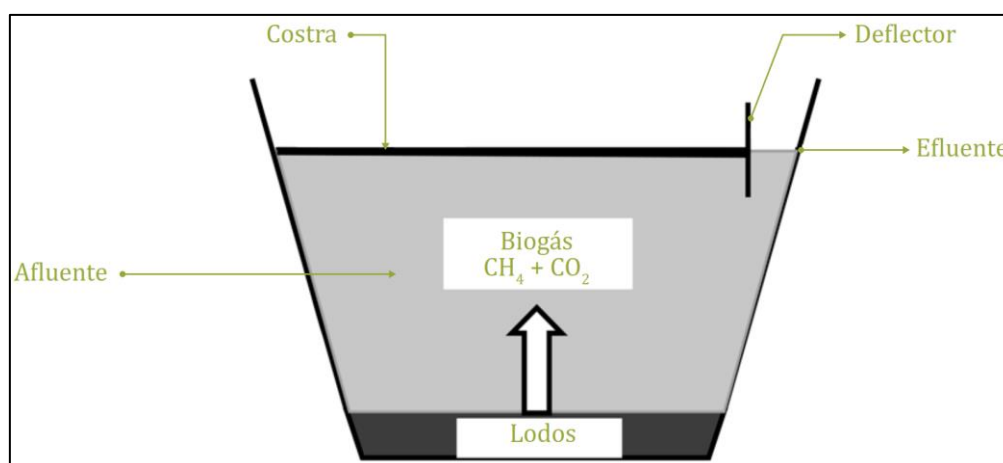
En este tipo de tratamiento la depuración de las aguas residuales tiene lugar al hacerlas pasar por zonas húmedas artificiales en las que se dan, conjuntamente, procesos de carácter físico, químico y biológico. Se puede definir, por tanto, la tecnología de Humedales Artificiales como un ecosistema complejo, en el que participan (MMAyA, 2021, pp. 417-418):

- El agua residual a tratar, que se desplaza a través del sustrato filtrante y de la vegetación implantada.
- El medio filtrante, que sirve de soporte a la zona radicular de la vegetación y sobre el que se fija la población bacteriana (en forma de biopelícula), que participa en la mayoría de los procesos por los que se eliminan los contaminantes presentes en las aguas a tratar.
- Las plantas emergentes acuáticas (helófitas), que proporcionan superficie para la formación de la biopelícula, provocan la filtración y adsorción de los constituyentes del agua residual y contribuyen a la oxigenación del medio filtrante y a la eliminación de nutrientes. Asimismo, la vegetación permite una buena integración paisajística de estos sistemas de tratamiento (Bernal, 2019, p. 15).

- **Lagunas de maduración**

Son excavaciones de poca profundidad, en el cual se desarrolla una población microbiana compuesta por bacterias, algas y protozoos (Mancilla, 2018, p. 19). El principal objetivo de una laguna de maduración es la eliminación de microorganismos patógenos, por lo que su profundidad recomendada, tras un tratamiento de depuración secundario, estaría entre 0,8 a 1,2 m, para favorecer el acceso de la luz solar en todo el perfil de la lámina de agua, siendo más efectiva la desinfección cuanto menor sea la profundidad de la laguna (MMAyA, 2021, p. 715).

Imagen N° 6. Laguna Anaerobia



Fuente. (MMAyA, 2021, p. 365).

La intensidad de la luz es uno de los factores principales en la reducción de los organismos patógenos, que es mucho más rápida en su presencia. Por ello, el espesor de la capa de agua en las Lagunas de Maduración es escaso, para permitir el paso hasta el fondo de la misma de la radiación solar (MMAyA, 2021, p. 751).

1.1.5. Indicadores de desempeño

Un indicador es una herramienta cuantitativa que permite mostrar indicios o señales de un estado de situación, cumplimiento de actividades y/o resultados. Su utilización permite determinar tendencias en el comportamiento de la PTAR, detectar situaciones problemáticas o susceptibles de ser mejoradas y realizar análisis comparativos históricos (AAPS, 2022, p. 12).

Los indicadores son, sustancialmente, información utilizada para dar seguimiento y ajustar las acciones que un sistema, subsistema, o proceso, emprende para alcanzar el cumplimiento de su misión, objetivos y metas. Un indicador como unidad de medida permite el monitoreo y evaluación de las variables clave de un sistema organizacional, mediante su comparación, en el tiempo, con referentes externos e internos (Mendoza, 2020, p. 7).

Esta expresión cuantitativa del comportamiento y desempeño de un proceso, cuya magnitud al ser comparada con algún nivel de referencia, puede estar señalando una desviación sobre la cual se toman acciones correctivas o preventivas según sea el caso (AAPS, 2022, p. 4).

Entre estos indicadores, destacan:

- Indicador de capacidad de tratamiento utilizada en la PTAR
- Indicador de condiciones básicas para la operación y mantenimiento de la PTAR
- Indicador de gestión de mantenimiento de la PTAR
- Indicador de eficiencia de tratamiento de la PTAR
- Indicador de tratamiento de lodos generados en la PTAR.

a) Indicador de capacidad de tratamiento utilizada en la PTAR

El indicador refleja en porcentaje, cuánto de la capacidad de tratamiento de diseño de la PTAR se está utilizando en el momento del cálculo del indicador, considerando condiciones y parámetros de diseño de la planta. Toma en cuenta la capacidad hidráulica de la PTAR (CPTAR), la población servida (CTP) y la carga orgánica (CCO) (AAPS, 2022, p. 14).

Para el cálculo de este indicador, se deben promediar los valores de CPTAR, CTP y CCO, como se indica en la siguiente expresión:

$$CTUP = \frac{CPTAR + CPT + CCO}{3}$$

Donde:

CTUP [%]: Capacidad de Tratamiento utilizada en la PTAR.

CPTAR [%]: Capacidad de Tratamiento actual respecto al Caudal del afluente.

CTP [%]: Capacidad de Tratamiento actual respecto a la Población Servida.

CCO [%]: Capacidad de Tratamiento actual respecto a la Carga Orgánica.

El término de capacidad de tratamiento utilizada se refiere a los valores del uso actual de la PTAR. cuyos rangos establecidos para el indicador, así como para sus correspondientes índices, son:

Cuadro 2. Los rangos establecidos para el indicador CTUP

Rango	Descripción
Riesgo	≥ 70%; Advierte que la PTAR se encuentra próxima a alcanzar o sobrepasar su capacidad de tratamiento de diseño, ya sea por la capacidad hidráulica, la población servida y/o la carga orgánica, por tanto, se requiere que la EPSA asuma acciones inmediatas para la gestión y ejecución de mejoras y/o ampliaciones necesarias en la infraestructura de la PTAR, a fin de incrementar su capacidad de diseño.
Aceptable	≤ 70%; Indica que la PTAR no está próxima a alcanzar su capacidad de diseño.

Fuente. AAPS, 2022, p. 15.

b) Indicador de condiciones básicas para la operación y mantenimiento de la PTAR

Este indicador evalúa la infraestructura adicional y servicios; la gestión del personal operativo y la documentación técnica que posee la PTAR para su correcta operación y mantenimiento (AAPS, 2022, p. 25). Se expresa en porcentaje y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$CBO = (IYS * 0,3 + GPO * 0.5 + DTE * 0.2) * 100$$

Donde:

CBO [%]: Condiciones Básicas para la Operación y Mantenimiento de la PTAR.

IYS [%]: Es la infraestructura adicional a las unidades de tratamiento y los servicios que son necesarios para que el personal operativo de la PTAR pueda realizar de manera adecuada sus labores de operación y mantenimiento.

GPO [%]: Es la gestión del personal operativo en la PTAR, considera al personal existente y su capacitación en tareas de operación y mantenimiento.

DTE [%]: Es la documentación técnica específica de la PTAR con que dispone la EPSA, estos documentos establecen criterios, cronogramas y recomendaciones para que el personal operativo de la planta, pueda realizar adecuadas labores de operación y mantenimiento.

0,3; 0,5 y 0,2: Ponderación asignada a cada índice de CBO, según la importancia de cada componente. Se considera al personal operativo como fundamental para desarrollar actividades de operación y mantenimiento en la PTAR.

Los rangos para el indicador CBO por categoría de PTAR, se obtienen a partir de datos cualitativos reportados por el GAM.

Cuadro 3. Tabla 4. Rangos de CBO por Categoría de PTAR

Inadecuado				Adecuado			
Categoría de la PTAR				Categoría de la PTAR			
A	B	C	D	A	B	C	D
< 80%	< 81%	< 61%	< 50%	≥ 86%	≥ 81%	≥ 61%	≥ 50%
Advierte que la PTAR debe mejorar sus condiciones básicas de O&M, ya sea por la infraestructura adicional y servicios; gestión del personal operativo y la documentación técnica existente en la planta, por tanto, se requiere que la EPSA asuma acciones para adecuar y mejorar dichas condiciones.				Expresa que las condiciones básicas de operación y mantenimiento de una PTAR, resultan ser apropiados para llevar a cabo adecuadas labores de O&M en la planta.			

Fuente. AAPS, 2022, p. 27.

c) Indicador de gestión de mantenimiento de la PTAR

Este indicador refleja el grado de cumplimiento de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo que fueron oportunamente ejecutadas por el personal operativo de la PTAR, las

cuales se promedian para tener el valor del indicador de Gestión del Mantenimiento (GEM) de la PTAR expresado en porcentaje (AAPS, 2022, p. 34).

Para obtener el valor de este indicador, se evalúan los índices de Eficacia del Mantenimiento Preventivo (EMP) y de Eficacia del Mantenimiento Correctivo (EMC) (AAPS, 2022, p. 35); como se muestra a continuación en la siguiente expresión:

$$GEM = \frac{EMP + EMC}{2}$$

Donde:

GEM [%]: Gestión del mantenimiento de la PTAR

EMP [adimensional]: Eficacia del Mantenimiento Preventivo

EMC [adimensional]: Eficacia del Mantenimiento Correctivo

Los rangos establecidos para el indicador, así como para sus correspondientes índices son:

Cuadro 4. Los rangos establecidos para el indicador CTUP

Rango	Descripción
Inadecuado	< 85% implica que el personal de la PTAR no cumple eficazmente con las actividades programadas de mantenimiento preventivo
Adecuado	≥ 85% implica que el personal de la PTAR cumple eficazmente con las actividades programadas de mantenimiento preventivo.

Fuente. AAPS, 2022, p. 35.

d) Indicador de eficiencia de tratamiento de la PTAR

La eficiencia del tratamiento, es el grado de remoción de la carga contaminante del agua residual que garantice un efluente con parámetros que cumplan los límites permisibles establecidos en la normativa (AAPS, 2022, p. 37). Para fines de la presente guía se consideran los parámetros de DBO₅, DQO y SST.

Para el cálculo de las eficiencias de remoción de SST y reducción de DBO₅ y DQO, se utiliza la siguiente expresión:

$$Ef_{PTAR} = \frac{Cx_{Afluente} - CxEfluente}{Cx_{Afluente}}$$

Donde:

Ef_{PTARx} [%]: Eficiencia de remoción o reducción de la carga contaminante en la planta para el parámetro considerado (DBO₅, DQO o SST).

$Cx_{Afluente}$ [mg/l]: Concentración media en afluente del parámetro considerado (DBO₅, DQO o SST).

$Cx_{Efluente}$ [mg/l]: Concentración media en efluente del parámetro considerado (DBO₅, DQO o SST).

x: Parámetro (DBO₅, DQO o SST) considerado para la evaluación de la eficiencia de tratamiento de la PTAR.

El criterio de evaluación para comprobar si la PTAR tiene una adecuada eficiencia de tratamiento, es comparando el valor de la eficiencia actual de la planta con la eficiencia de tratamiento con la cual esta se ha diseñado, cumpliendo además con los límites permisibles exigidos en el RMCH para la descarga en cuerpos receptores (AAPS, 2022, p. 39). Para ello se tiene la siguiente expresión:

$$Ef_{PTARx} \geq Ef_{PTARx \text{ de diseño}}$$

Donde:

Ef_{PTARx} [%]: Eficiencia actual de remoción o reducción de la carga contaminante en la planta para el parámetro considerado (DBO₅, DQO o SST).

$Ef_{PTARx \text{ de Diseño}}$ [%]: Eficiencia de diseño para remoción o reducción de la carga contaminante considerando el parámetro (DBO₅, DQO o SST).

e) Indicador de tratamiento de lodos generados en la PTAR

Este indicador refleja el nivel de tratamiento y manejo de los lodos generados en la PTAR. Se obtiene como una relación entre el volumen de lodos tratados sobre el volumen total de lodos extraídos o retirados de las distintas unidades de tratamiento (AAPS, 2022, p. 41).

El valor de este indicador está expresado en porcentaje y se calcula con la siguiente expresión:

$$TLG = \frac{\text{Volumen de lodos tratados}}{\text{Volumen de lodos generados}} * 100$$

Donde:

TLG [%]: Tratamiento de lodos generados en la PTAR.

Volumen de Lodos Tratados [m³]: Es el volumen de lodos procesados mediante un sistema de tratamiento en durante un semestre, en función de las características requeridas para su valorización, reutilización o disposición final, de forma que no constituyan un riesgo para el medio ambiente ni para la salud pública.

Volumen de Lodos Generados [m³]: Es el volumen total de lodos que son generados y extraídos en las diferentes unidades de tratamiento en la planta durante un semestre, que no son utilizados para la recirculación del sistema, el mismo está en función al tipo de tecnología implementada en la PTAR.

Los rangos del presente indicador, son:

INADECUADO: <10%

ADECUADO: ≥10%

1.1.6. Parámetros de Evaluación de Impacto Ambiental

Refiere al conjunto de procedimientos administrativos, estudios y sistemas técnicos que permiten estimar los efectos que la ejecución de una determinada obra, actividad o proyecto puedan causar sobre el medio ambiente (Ley_1333, 1992, Art. 24).

En lo que refiere a descargas de agua tratada a cuerpos receptores, estos deben cumplir con los límites permisibles exigidos en el Reglamento Ambiental en Materia de Contaminación Hídrica; considerados parámetros básicos (RAMCH, 1995), que se clasifican en:

a) Parámetros Físicos

- Turbidez: Mide la claridad del agua.
- Color: Indica la presencia de materiales disueltos o suspendidos.
- Temperatura: Afecta la solubilidad de los gases y la actividad biológica.
- Sólidos Totales: Incluye sólidos suspendidos y disueltos.

b) Parámetros Químicos

- pH: Indica la acidez o alcalinidad del agua.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): Mide la cantidad de sustancias orgánicas.

- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): Indica la cantidad de oxígeno que los microorganismos requieren para descomponer materia orgánica.
- Nutrientes: Como nitrógeno y fósforo, que pueden causar eutrofización.

c) Parámetros Biológicos

- Contaminantes Microbianos: Bacterias, virus y parásitos presentes en el agua.
- Índices de Calidad del Agua: Que consideran aspectos biológicos y químicos.

d) Parámetros Tóxicos

- Metales Pesados: Como plomo, mercurio y cadmio.
- Compuestos Orgánicos Volátiles (COV): Sustancias químicas que pueden ser nocivas.

Los parámetros que debe cumplirse, son:

Cuadro 5. Anexo A-2, límites permisibles para descargas líquidas en mg/l.

Parámetro	Descarga Diaria	Descarga Mensual
Cobre	1	0,5
Zinc	3	1,5
Plomo	0,6	0,3
Cadmio	0,3	0,15
Arsénico	1	0,5
Cromo+3	1	0,5
Cromo +6	0,1	0,05
Mercurio	0,002	0,001
Fierro	1	0,5
Antimonio (&)	1	
Estaño	2	1
Cianuro libre	0,2	0,1
Cianuro libre	0,5	0,3
pH	6-9	6-9
Temperatura	±5°C	±5°C
Compuestos fenólicos	1	0,5
Sólidos Suspendidos Totales	60	---

Parámetro	Descarga Diaria	Descarga Mensual
Colifecales (NMP/100 ml)	1000	---
Aceite y Grasas	10	---
Aceite y Grasas	20	---
DBO ₅	80	---
DQO	250	---
DQO	300	---
Amonio como N	4	2
Sulfuros	2	1

Fuente. RAMCH, 1995, p. 200.

1.2. Marco Contextual

1.2.1. PTAR Zudáñez

a) Ubicación del Área de Estudio

El municipio de Zudáñez, se creó el 5 de diciembre de 1917 en homenaje al ilustre héroe Jaime de Zudáñez mediante decreto ley del presidente constitucional de la república de Bolivia José Gutiérrez Guerra (Zudáñez, 2021, p. 17).

La provincia comprende cuatro secciones municipales 1^{ra} sección Zudáñez, 2^{da} sección Prestó, 3^{ra} sección Mojocoya y 4^{ta} sección Ricardo Mujía Icla (Zudáñez, 2021, p. 17).

Cuadro 6. Ubicación política de la PTAR

País	Departamento	Provincia	Municipio	Zona/Comunidad
Bolivia	Chuquisaca	Zudáñez	Zudáñez	Santa Elena/Cabra Cancha

Fuente. Elaboración propia, 2024.

Cuadro 7. Ubicación geográfica de la PTAR

Este	Norte	Zona	Altitud
319640.41	7888102.10	20	2411

Fuente. Elaboración propia, 2024.

Imagen N° 7. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales



Fuente. Elaboración propia, 2024.

b) Vías de acceso

De Sucre a Zudáñez dista 104 km, se accede por un camino pavimentado (pavimento flexible y rígido) denominada Diagonal Jaime Mendoza (Zudáñez, 2018, p. 24).

Cuadro 8. Vías de acceso a la zona del proyecto

Tramo	Distancia (Km)	Tiempo de Viaje	Estado Camino
Sucre - Tarabuco	60	1:15	Troncal, Asfalto.
Tarabuco - Zudáñez	44	0:45	Troncal, pavimento rígido
Total	104	2:00	

Fuente. Zudáñez, 2018, p. 24.

c) Descripción física del área del proyecto

La PTAR se encuentra física y climatológicamente en una zona de cabeceras de valle que propiamente (Zudáñez, 2018, pp. 3-5), tiene las siguientes características:

Cuadro 9. Característica topográfica, clima y vegetación

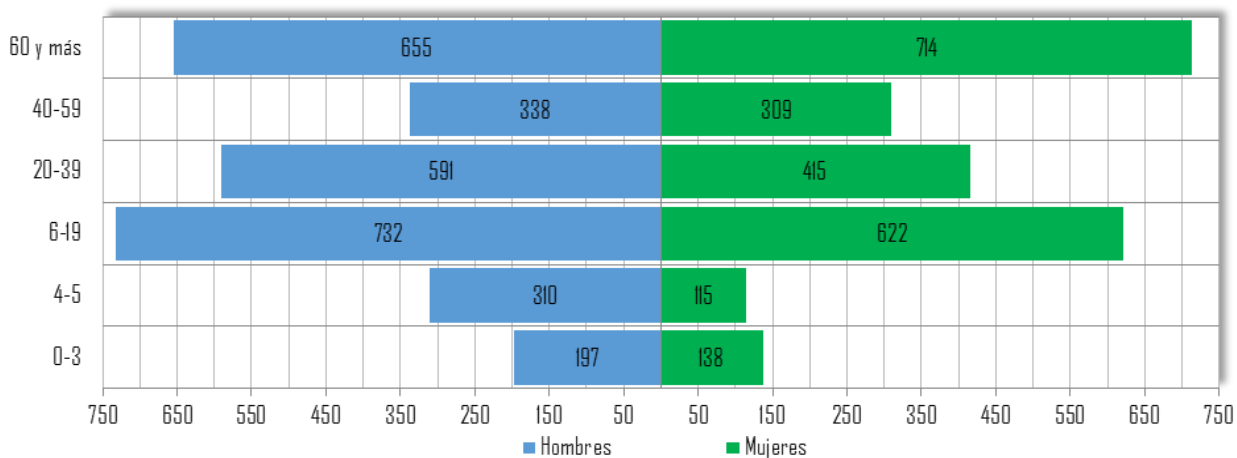
Características	Zona Cabecera de Valle
Relieve y topografía	Terrenos planos, llanuras o mesetas originadas por la erosión de la región montañosa formando superficies planas con leves ondulaciones hasta cabeceras de valle. Zona de transición entre altura y valles.
Tipo de Suelo	Suelos moderadamente profundos con fertilidad baja a moderada. Suelos yana J'allpas, lajerios y rumirales
Clima	Templado Subhúmedo
Temperatura	15 – 17°C.
Precipitación	400 – 500 mm
Vegetación	Arboles arbustos xerofíticos y caducifolios, bosque húmedo y perennifolio.
Riesgos	Granizadas (dic-mar) y heladas (may-jul).

Fuente. Elaboración propia en base a (Zudáñez, 2018, pp. 3-5).

d) Población beneficiaria

La población beneficiaria corresponde a un total de 5.136 habitantes:

Gráfico N° 1. Pirámide poblacional



Fuente. Elaboración propia en base a (Zudáñez, 2018, p. 9).

El centro poblado de Zudáñez, cuenta con un sistema nuevo de agua potable con una cobertura del 100%, construido el 2023, es administrado es por una Cooperativa de Aguas, cuenta con **750 conexiones domiciliarias** distribuidas en las 6 zonas de la población (Zonas 1, 2, 3, 4, 5 y 6) (Zudáñez, 2018, pp. 21-22).

Cuadro 10. Beneficiarios con sistema de distribución de agua

Zonas	Usuarios
Baja (Zonas 1,2,3,4,6)	518
Alta (Zona 5)	232
Total	750

Fuente. Elaboración propia en base a (Zudáñez, 2018, pp. 21-22).

e) Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales

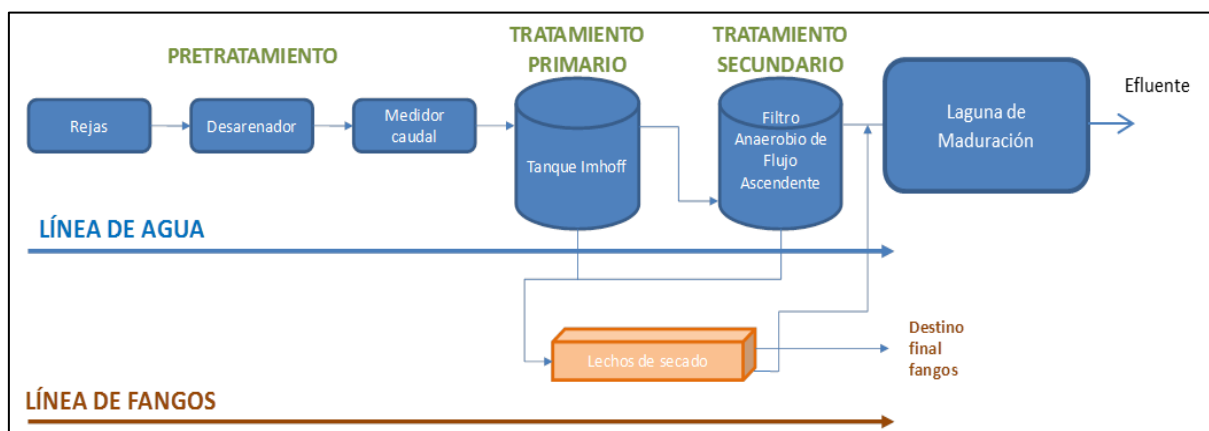
La topografía y gradiente natural del centro poblado de Zudáñez, facilita la evacuación de las aguas residuales hacia un solo punto de la población, con las siguientes características:

Cuadro 11. Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales

Tratamiento		Componente
Línea de líquidos	Pretratamiento	Rejas Desarenador Medidor de caudal (Canal parshall)
	Tratamiento primario	Tanque Imhoff
	Tratamiento secundario	Filtros anaerobios de flujo ascendente
	Tratamiento terciario	Laguna de maduración
Línea de fangos	Tratamiento de lodos	Lecho de secado

Fuente. Elaboración propia en base a (Zudáñez, 2018, pp. 31-32).

Imagen N° 8. Esquema de la PTAR, Zudáñez



Fuente. (Zudáñez, 2018)

1.2.2. PTAR Redención Pampa (Mojocoya)

a) Ubicación del Área de Estudio

La Localidad de Redención Pampa se encuentra en el municipio de Villa Mojocoya, en la provincia Zudáñez a una distancia aproximada de 176 Km de la ciudad de Sucre (Mojocoya, 2021, p. 9).

Cuadro 12. Ubicación política de la PTAR

País	Departamento	Provincia	Municipio	Zona/Comunidad
Bolivia	Chuquisaca	Zudáñez	Villa Mojocoya	La Poza / El Salto

Fuente. Elaboración propia, 2024.

Cuadro 13. Ubicación geográfica de la PTAR

Este	Norte	Zona	Altitud
333718.63	7915250.65	20	2445

Fuente. Elaboración propia, 2024.

Imagen N° 9. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales



Fuente. Elaboración propia, 2024.

b) Vías de acceso

La población de Redención Pampa está vinculado a la ciudad de Sucre a través de la ruta diagonal Jaime Mendoza, asfaltada en el tramo Sucre – Zudáñez – Cruce Mojocoya (122 km) y camino de tierra ripiado de 54 km en el tramo Cruce Mojocoya – Redención Pampa (Mojocoya, 2021, p. 31).

Cuadro 14. Vías de acceso a la zona del proyecto

Tramo	Distancia (Km)	Tiempo (Hs)	Estado de la vía
Sucre – Zudáñez - Cruce Mojocoya	122	2.5	Bueno, asfaltado
Cruce Mojocoya – Redención Pampa	54	1.5	Regular (plataforma de tierra estable)
Total	176	4	

Fuente. (Mojocoya, 2021, p. 9).

c) Descripción física del área del proyecto

El área de emplazamiento de la PTAR al igual que la mayor parte del territorio de Mojocoya se extiende en un espacio biogeográfico de valles secos interandinos entre los 1060 a 3050 msnm (Mojocoya, 2021, p. 32).

Cuadro 15. Caracterización de la ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Componentes	Consideraciones
Condiciones de espacio para la ubicación de la PTAR.	Lugar accesible y suficiente de 2,00 Hectáreas.
Situación legal de los terrenos	Propiedad del GAM Villa Mojocoya con testimonio N° 377/2019 de 17/12/2019.
Consideraciones ambientales para la evacuación de aguas residuales.	La evacuación será a una quebrada en el Sector de El Salto, donde no existen viviendas ni comunidades aguas abajo.
Vías de acceso	Se cuenta con camino de acceso hasta el lugar de emplazamiento de la PTAR.
Clima	Clima templado Temperatura media anual 15 °C , mínima absoluta de 8 °C y máxima de 25 °C.

Componentes	Consideraciones
Vegetación	Bosques xerofíticos interandinos con matorrales pluvio-estacionales montano.
Riesgos	Presencia de heladas estacionales en épocas de invierno
Vientos predominantes	De sur a norte.
Distancia a fuentes de agua	9.850 m desde la PTAR hasta El Abra.
Drenaje natural del sitio de la PTAR	Pendiente adecuada y red de drenaje natural.
Profundidad de la napa freática	> 10 m.
Permeabilidad del suelo	Suelos limo arcilloso con afloramiento de rocas.
Topografía	Pendiente mínima, se requiere control topográfico.
Distancia de la Población a la PTAR	4.750 m (Longitud del emisario)
Viviendas en la zona (habitadas).	> 200 m

Fuente. Elaboración propia en base a (Mojocoya, 2021, pp. 32-42).

d) Población beneficiaria

A nivel domiciliario se considera el aporte propio de las familias de **850 acometidas domiciliarias** (827 familias y 23 institucionales (Alcaldía, Escuelas, Colegios, Hospital, Iglesia, mercado, coliseo, etc.), de las cuales 290 están en funcionamiento y 560 construcción nueva que comprende la instalación a la red de alcantarillado con una silleta PVC y tubería PVC SDR35, D=4" hasta la cámara domiciliar ubicada en la acera de cada vivienda.

e) Consumo de agua

Las aguas residuales, se definen como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua potable a una población después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales, comerciales, públicas y comunitarias, siendo recogidas por la red de alcantarillado sanitario y emisario que las conduce hasta la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). En consecuencia, su caudal de aporte es directamente proporcional a la dotación de consumo de agua potable y que es efectivamente evacuada al sistema de alcantarillado de la población.

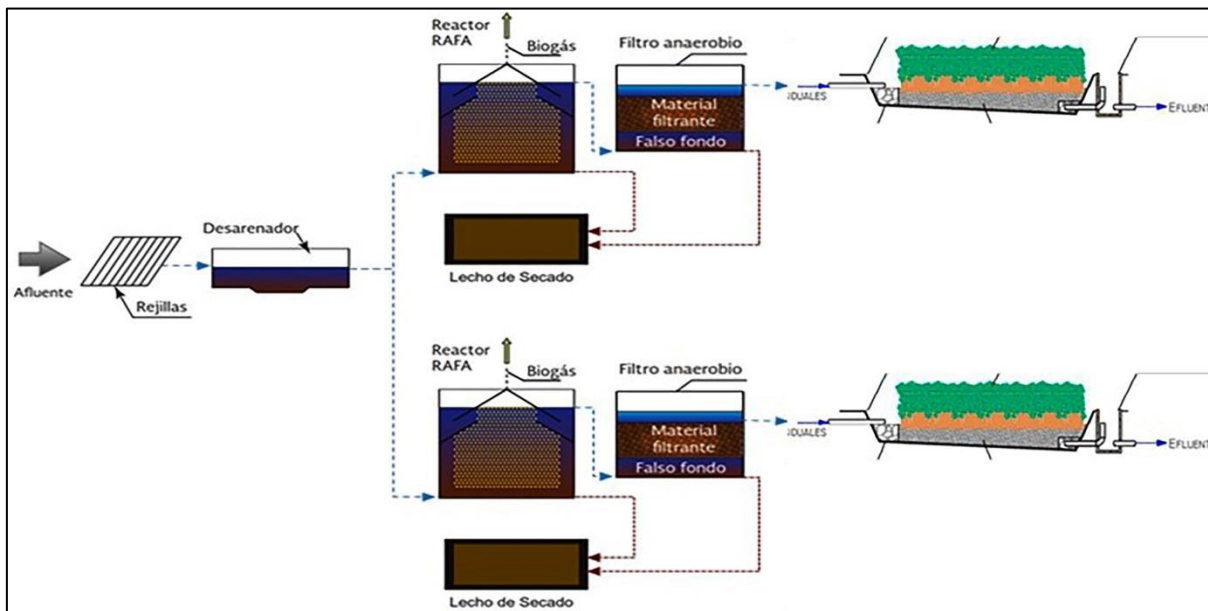
f) Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales corresponde a un Sistema de Alcantarillado Sanitario y Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), por gravedad con red de colectores y emisario con tubería PVC SDR41, cámaras de inspección, conexiones domiciliarias, y una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

Datos base de diseño:

- Población Futura (año 2040) = 6.981 hab.
- Q medio: 8,40 l/seg.
- Qmaxd: 12,60 l/seg.
- Qmaxh: 26,12 l/seg.
- Caudal de Diseño (RED) 29,66 l/seg.
- Caudal de Diseño (PTAR)= 8,40 l/seg.
- Parámetros calidad de Agua residual.

Imagen N° 10. Esquema de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Redención Pampa (Mojocoya)



Fuente. (Mojocoya, 2021)

Cuadro 16. Unidades de tratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Redención Pampa

Tratamiento		Componente
Línea de gases		Quemador de gases
Línea de líquidos	Pretratamiento	Cámara de ingreso y by pass Reja de desbaste (gruesa) Reja de desbaste (fina) Desarenador Canal parshall Cámara de distribución y by pass
	Tratamiento primario	2 reactores anaerobio de flujo ascendente (UASB)
	Tratamiento secundario	2 filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA)
	Tratamiento terciario	2 humedales de flujo sub superficial
Línea de sólidos		Lecho de secado

Fuente. Elaboración propia en base a (Mojocoya, 2021, pp. 20-21).

CAPÍTULO II

DIAGNÓSTICO

2.1. Evaluación de operatividad y mantenimiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

Este documento presenta resultados del relevamiento de diversos aspectos relacionados con las potencialidades y deficiencias que existen con relación a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Municipio de Zudáñez y Municipio de Mojocoya, basados en:

- Tecnologías de tratamiento de aguas.
- Resultados de su aplicación y funcionamiento.
- Adecuaciones técnicas en función a las normativas existentes.
- Marco institucional que delimiten acciones estrategias para contribuir a mejorar las PTAR.

Para este cometido, la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS), ha desarrollado la “Guía para aplicación de herramientas e instrumentos de seguimiento, monitoreo y control de la operación y mantenimiento de las PTAR en Bolivia”, que “aplica mecanismos e instrumentos de seguimiento y fiscalización referente a la operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales” (AAPS, 2022), con la finalidad de identificar aspectos que requieran ser corregidos y/o mejorados, contribuyendo así a optimizar las condiciones operativas de las PTAR.

2.1.1. Resultado de Evaluación de la PTAR Zudáñez

Esta evaluación se centra en varios aspectos clave: la capacidad de la planta para cumplir con la normativa ambiental, la eficiencia en la eliminación de contaminantes, el estado de los equipos y la infraestructura, así como el impacto social y económico de la planta en el municipio.

El objetivo de esta evaluación es identificar áreas de mejora, optimizar procesos y garantizar que la PTAR no solo cumpla con los estándares requeridos, sino que también contribuya al bienestar del centro poblado y al cuidado del medio ambiente. A través de un análisis detallado,

se busca obtener recomendaciones que faciliten la mejora continua de la planta y su adaptación ante los retos futuros relacionados con la gestión del agua.

2.1.1.1. Categorización de la PTAR

La categorización de las PTAR, se basa en criterios de la población de diseño. La Guía (AAPS, 2022) propone 4 categorías de PTAR bajo el siguiente esquema:

Imagen N° 11. Categorías de una PTAR en base a criterios de población de diseño



Fuente: (AAPS, 2022).

Tomando en cuenta que la población de Zudáñez es de 5.136 habitantes, según el criterio establecido por la Guía, se encuentra en **Categoría D**.

2.1.1.2. Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales cuenta con dos trenes de tratamiento, del tipo modular, que corresponde al tratamiento primario, secundario y terciario (Zudáñez, 2018), todas con un tratamiento preliminar y obras complementarias, bajo la siguiente secuencia:

Cuadro 17. Componentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Tratamiento		Componente
Línea de líquidos	Pretratamiento	Rejas
		Desarenador
		Medidor de caudal (Canal parshall)
		Tanque Imhoff
Línea de fangos	Tratamiento de lodos	Filtros anaerobios de flujo ascendente
		Laguna de maduración
		Lecho de secado

Fuente. Elaboración propia en base a (Zudáñez, 2018).

a) Cámara de rejas

Durante la inspección, se observa si el agua fluye libremente a través de las rejas sin obstrucciones, lo que permite un tratamiento efectivo, esto se debe a las rejas, que actúan como un filtro, deteniendo sólidos grandes como plásticos, madera y otros desechos que podrían dañar equipos posteriores. El agua, libre de los sólidos grandes, continúa su camino hacia el siguiente tratamiento sin retorno de sólidos.

b) Desarenador

Esta unidad destinada a retener partículas abrasivas, se encuentra en óptimas condiciones, dado que la retención de gravas y arenas, favorecen el buen funcionamiento de las unidades de tratamiento posteriores.

c) Medidor de caudal

El medidor de caudal es esencial para monitorear el flujo de aguas residuales a lo largo del proceso de tratamiento. Este dispositivo, asegura que esté limpio y libre de obstrucciones, permitiendo una lectura del caudal clara y estable, reflejando el flujo real, permitiendo un proceso operativo eficiente.

d) Tanque Imhoff

El tanque Imhoff combina sedimentación y digestión anaerobia en dos compartimentos. Se observa un nivel de sólidos en el fondo y la claridad del efluente, asegurando un flujo adecuado. También se evidencia la integridad estructural del tanque y el funcionamiento óptimo de los dispositivos de extracción de lodos, optimizando la eficiencia del tratamiento.

e) Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)

La distribución del flujo ascendente de agua residual es uniforme sobre la superficie del medio filtrante de grava, la integridad del lecho, permite que las partículas y materia orgánica en suspensión, se degraden, optimizando la eliminación de contaminantes mejorando la eficiencia del tratamiento.

f) Lecho de secado de lodos

La inspección visual, permitió ver que los lodos generados en el proceso de tratamiento, es distribuida uniformemente sobre la superficie del lecho, facilitando la evaporación y el secado.

También se verificó que la presencia de mallas o estructuras que facilitan el drenaje, funcionando eficientemente.

g) Lagunas de maduración

Las lagunas de maduración de la PTAR permiten una estabilización y clarificación de las aguas residuales con presencia de algas. El flujo es adecuado entre las lagunas, asegurando que no haya estancamientos, mejora la calidad del efluente antes de su descarga final.

2.1.1.3. Evaluación del Sistema de Tratamiento

El diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, considera la recolección de aguas residuales mediante un sistema de red de alcantarillado y emisario por gravedad, con tuberías de PVC SDR41 de D=6", 8" y 10", cámaras de inspección y una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, que considera tres fases de tratamiento (primario, secundario y terciario), con la finalidad de reducir el grado de contaminación del agua, cuya descripción técnica se detalla más adelante.

A nivel domiciliario la acometida es de tubería PVC SDR-35 de D=4" hasta las cámaras domiciliarias ubicadas en la acera de cada vivienda.

Los componentes del sistema de alcantarillado sanitario y la planta de tratamiento, comprenden:

- Red de colectores y emisario proyectado para un sistema por gravedad, con tubería PVC SDR-41 de diámetro de 6", 8" y 10".
- Cámaras de inspección, ubicados en cruces de calle, cambios de dirección horizontal y vertical, además en arranques y caídas que se presentan a lo largo del trazo de la red de colectores.
- Acometidas domiciliarias con y sin caída de acuerdo a diseño, empleando para tal efecto tuberías PVC SDR-35 D=4" y accesorios de PVC (silleta y codo), las acometidas están implementadas hasta la cámara de inspección domiciliaria.
- Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que incluye dos trenes (flujos) y tres fases de tratamiento; Preliminar con una estructura de entrada que contempla una reja de retención de sólidos, un sistema de *by pass*, desarenador y canal parshall; Primario con la implementación de un tanque imhoff y lecho de secado de lodos, un proceso

secundario implementado por un Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA) y tercero: lagunas de maduración para su posterior evacuación al cuerpo receptor.

- Cerco perimetral para protección de la planta de tratamiento, que considera un área de expansión o ampliación de la PTAR futura.
- Un sistema de salida o descarga con tuberías de descarga por gravedad con tubería PVC SDR-41.

2.1.1.4. Indicadores y/o variables de desempeño

Estos indicadores se calcularon en base a información a ser generada por el personal operativo de la PTAR en base a planillas que registran la información técnica. Bajo estas consideraciones se tiene los siguientes indicadores:

a) Indicador de capacidad de tratamiento utilizada (CTUP)

Tomando en cuenta la capacidad hidráulica de la PTAR (CPTAR) y la población servida (CTP) para nuestro caso de categoría D, se tiene:

Cuadro 18. Resultados de la capacidad de tratamiento utilizada

Indicador	Resultado	Observación
CTUP	41,41	<70%; Aceptable, Indica que la PTAR no está próxima a alcanzar su capacidad de diseño.
CPTAR	39,65	<70%; La capacidad hidráulica actual de la PTAR es suficiente para atender la demanda existente sin comprometer aún su capacidad de diseño.
CTP	43,17	<70%; La capacidad de tratamiento actual de la PTAR es suficiente para atender la demanda actual de la población servida, sin comprometer el funcionamiento de la planta.

Fuente. Elaboración propia, 2024 en base a AAPS, 2022.

b) Indicador de condiciones básicas para la operación y mantenimiento (CBO)

La evaluación de la infraestructura adicional y servicios; la gestión del personal operativo y la documentación técnica que posee la PTAR para su correcta operación y mantenimiento. Se expresa en el siguiente cuadro:

Cuadro 19. Resultado de las condiciones básicas de operación y mantenimiento

Indicador	Resultado	Observación
CBO	55,57	$\geq 50\%$; Adecuado: Expresa que las condiciones básicas de operación y mantenimiento de una PTAR, resultan ser apropiados para llevar a cabo adecuadas labores de O&M en la planta.
IYS	90,00	$\geq 40\%$; La infraestructura disponible en la PTAR presentan las condiciones apropiadas para llevar a cabo de manera adecuada las actividades de operación y mantenimiento. Por lo tanto, no se requieren acciones inmediatas.
GPO	37,50	(<56%); El GAM no cuenta con las condiciones mínimas en términos de gestión de personal para lograr un correcto desempeño de las actividades de operación y mantenimiento en la PTAR, por lo que de manera inmediata debe mejorar las condiciones de trabajo del personal operativo, como ser: <ul style="list-style-type: none"> - Mejorar la capacidad del personal operativo en el desarrollo de sus funciones en relación a las actividades de operación y mantenimiento. - Mejorar las condiciones de seguridad ocupacional en la PTAR.
DTE	50,00	$\geq 50\%$; La documentación técnica específica es ADECUADA, contribuyendo a un mejor desarrollo de las actividades del personal operativo en relación a la operación y mantenimiento de la PTAR. No obstante, dicha documentación debe ser actualizada y mejorada de forma continua.

Fuente. Elaboración propia, 2024 en base a AAPS, 2022.

c) Indicador de gestión de mantenimiento (GEM)

El grado de cumplimiento de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo ejecutadas por el personal operativo de la PTAR, se expresa en la siguiente relación porcentual:

Cuadro 20. Resultado de la gestión de mantenimiento

Indicador	Resultado	Observación
GEM	91,67	$\geq 85\%$; Adecuado, el valor implica que el personal de la PTAR cumple eficazmente con las actividades programadas de mantenimiento preventivo.
EMP	83,33	$< 85\%$; La EPSA debe optimizar las actividades de mantenimiento preventivo de la PTAR, ya que, de lo contrario, se corre el riesgo de que las distintas unidades de tratamiento no funcionen de forma adecuada; así también, se debe mejorar el control y seguimiento de las mismas.
EMC	100,00	$\geq 85\%$; Las actividades de mantenimiento correctivo son llevadas a cabo de manera eficaz, sin embargo, se recomienda realizar una evaluación periódica para mantener la eficiencia en el desarrollo de dichas actividades.

Fuente. Elaboración propia, 2024 en base a AAPS, 2022.

d) Indicador de eficiencia de tratamiento (Ef PTAR)

El grado de remoción de la carga contaminante del agua residual son:

Cuadro 21. Resultado de la eficiencia de tratamiento

Parámetro	Afluyente (mg/lit)	Efluyente (mg/lit)	Ef PTAR de Diseño	Ef PTAR	Comparación	Observación
DBO	262,0	7,0	80,0	97,3	Cumple	El nivel de reducción de la materia orgánica contaminante es adecuado, lo cual implica el buen estado de la planta.
DQO	347,5	26,0	75,0	92,5	Cumple	El grado de remoción de materia

Parámetro	Afluyente (mg/lit)	Efluente (mg/lit)	Ef PTAR de Diseño	Ef PTAR	Comparación	Observación
						contaminante es adecuado, lo cual implica el buen estado actual de la planta.
SST	582,0	18,0	70,0	96,9	Cumple	El grado de remoción de materia contaminante es adecuado, lo cual implica el buen estado actual de la planta.

Fuente. Elaboración propia, 2024 en base a AAPS, 2022.

Referente a la verificación del cumplimiento de los límites permisible establecidos en el RMCH. La comparación de los valores del efluente respecto a la normativa es:

Cuadro 22. Comparación de parámetros de la PTAR con limites permisibles

Parámetro	Afluyente (mg/lit)	Efluente (mg/lit)	Anexo 2 RMCH	Comparación
DBO ₅	262,0	7,0	80,0	Cumple
DQO	347,5	26,0	250,0	Cumple
SST	582,0	18,0	60,0	Cumple

Fuente. Elaboración propia, 2024 en base a AAPS, 2022 y resultados del ensayo de laboratorio.

Como se puede apreciar, todos los valores cumplen con los límites establecidos en la normativa vigente.

e) Indicadores del tratamiento de lodos generados (TLG)

El nivel de tratamiento y manejo de los lodos generados en la PTAR, se calculó:

Cuadro 23. Resultado del tratamiento de lodos generados

Vol Resid Sol y Nata (L)	Área (m2)	Alt Lodo (cm)	Vol Lodo (m3)	Vol Lodo Total (m3)	Vol Lodo Tratado (m3)
27,8	385,9	0,3	1,2	1,2	2,3

Fuente. Elaboración propia, 2024 en base a AAPS, 2022.

$$\text{TLG} = 7,78 \%$$

Su evaluación con respecto al rango establecido se considera **INADECUADO**. El GAM de Zudáñez debe mejorar, ampliar o implementar una línea técnicamente adecuada para el tratamiento, manejo y/o disposición ambiental de lodos.

Se aclara que; un lecho de secado por sí solo, no constituye un sistema de tratamiento de lodos ya que el material aún es retirado con un alto grado de humedad, presencia de patógenos y materia orgánica, entre otros. Un sistema de tratamiento de lodos solo es considerado como tal cuando el producto resultante puede ser dispuesto o aprovechado ecológicamente cerrando el ciclo de saneamiento (Mancilla, 2018).

2.1.2. Resultado de Evaluación de la PTAR Redención Pampa (Mojocoya)

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el municipio de Mojocoya está ubicado en el centro poblado de Redención Pampa. Cuya evaluación se centra en varios aspectos clave: como ser la capacidad de la planta para cumplir con la normativa ambiental, la eficiencia en la eliminación de contaminantes, el estado de la infraestructura y el impacto socioeconómico (Mojocoya, 2021).

A través de un análisis detallado, se busca obtener recomendaciones que faciliten la mejora continua de la planta y su adaptación ante los retos futuros relacionados con la gestión del agua residual.

2.1.2.1. Categorización de la PTAR

En base a criterios de la población de diseño, la Guía (AAPS, 2022) categoriza a la PTAR de Redención Pampa bajo la siguiente imagen:

Imagen N° 12. Categorías de una PTAR en base a criterios de población de diseño

Fuente: AAPS, 2022.

Tomando en cuenta que la población de Redención Pampa es de 3.577 habitantes, según el criterio establecido por la Guía, se encuentra en **Categoría D**.

2.1.2.2. Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

El proceso de tratamiento está constituido por tres líneas de tratamiento en dos trenes de agua y sólidos, constituido por un sistema de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

Cuadro 24. Componentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Redención Pampa

Tratamiento		Componente
Línea de gases		Quemador de gases
Línea de líquidos	Pretratamiento	Cámara de ingreso y <i>by pass</i> Reja de desbaste (gruesa y fina) Desarenador Canal parshall Cámara de distribución y <i>by pass</i>
	Tratamiento primario	2 reactores anaerobio de fuljo ascendente (RAFA)
	Tratamiento secundario	2 filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA)
	Tratamiento terciario	2 humedales de flujo sub superficial
Línea de sólidos		Lecho de secado

Fuente. Elaboración propia, 2024.

a) Pre tratamiento

El tratamiento preliminar, consiste en la separación de los elementos los sólidos (suspendidos como ser trapos, plásticos, maderas, etc.), los inorgánicos pesados y las grasas (MMAyA, 2021).

b) Tratamiento Primario

El tratamiento primario comprende la construcción de dos unidades de Reactores Anaerobios de Fuljo Ascendente (RAFA), en dos trenes de tratamiento más dos lechos de secado de lodos. El Reactor RAFA, está construido de H°A°, con un sistema de interconexión mediante tuberías de PVC SDR41 y válvulas de paso bridadas (Mojocoya, 2021).

Es importante indicar que todo el interior de los reactores está protegido con tres capas de Sikaguard®-62, es una pintura de 2 componentes a base de resinas epoxis modificadas y endurecedores, 100%. Por lo que la operación y el mantenimiento de estas unidades de tratamiento requieren de personal capacitado (Mojocoya, 2021).

c) Tratamiento secundario

Este tratamiento comprende la construcción de dos Filtro Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA) en dos trenes de tratamiento. Los dos Filtros FAFA están contruidos de H°A°, con un medio de filtración conformado por grava seleccionada graduada y colocada sobre un piso falso con perforaciones (Mojocoya, 2021).

d) Tratamiento terciario

Así mismo, comprende la construcción de dos Humedales de flujo subsuperficial dispuestos cada uno después del FAFA, en dos trenes de tratamiento. También se cuenta con una caseta de herramientas y equipo, donde los operadores podrán guardas su EPPs y herramientas (Mojocoya, 2021).

La PTAR cuenta con dos cercos perimetrales para protección el primero construido con malla olímpica y postes de F°G° con puertas de acceso para la operación, protección y cuidado de la infraestructura de tratamiento (Mojocoya, 2021)..

Se cuenta con cerco perimetral exterior construido con postes de madera y alambre de púas, en toda el área del terreno propiedad de la PTAR, esta protección exterior permitirá proteger

un área de repoblamiento de la vegetación al no permitir el ingreso de animales al área de la PTAR como una de las medidas de mitigación ambiental y cambio climático.

2.1.2.3. Evaluación del sistema de tratamiento

La construcción del sistema de tratamiento es por gravedad, con una cobertura del 100% para el centro poblado de la localidad de Redención Pampa.

La Red de Alcantarillado Sanitario con colectores principales y secundarios tiene una longitud total de 10.899,34 ml con tubería PVC SDR41 D=6", 8" y 10". Debido a la conformación topográfica de la población, la red esta subdividida en tres zonas, Zona Norte, Central y Sud, en la Red de Distribución se cuenta 164 cámaras de inspección (Mojocoya, 2021).

A nivel domiciliario se tiene 850 acometidas domiciliarias (827 familias y 23 institucionales (Alcaldía, Escuelas, Colegios, Hospital, Iglesia, mercado, coliseo, etc.) con una silleta PVC y tubería PVC SDR35, D=4" hasta la cámara domiciliaria ubicada en la acera de cada vivienda (Mojocoya, 2021).

El emisario comprende desde el punto común de las tres zonas de la Red de Alcantarillado hasta la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), tiene una longitud de 4.580,7 ml con tubería PVC SDR 41 D=12", cuenta con 141 cámaras de inspección (Mojocoya, 2021).

La PTAR consta de dos líneas de agua y lodos en dos trenes tratamiento. El proceso de tratamiento está constituido por:

- Tratamiento preliminar, cuenta con una cámara de entrada y By Pass, canal de entrada, Cámara de rejas gruesa y fina, Desarenador, Canal Parshall, vertedor triangular y cámara de distribución.
- Tratamiento primario comprende la construcción de dos unidades de Reactores Anaerobios de Fuljo Ascendente (RAFA), en dos trenes de tratamiento más dos lechos de secado de lodos, con un sistema de interconexión mediante tuberías de PVC SDR41 y válvulas de paso bridadas.
- Tratamiento secundario comprende la construcción de dos Filtro Anaeróbios de Flujo Ascendente (FAFA) en dos trenes de tratamiento, con un medio de filtración conformado por un biofiltro para lechos percoladores y anaerobios percoladores.

- Tratamiento terciario comprende la construcción de dos Humedales de flujo subsuperficial dispuestos cada uno después del FAFA, en dos trenes de tratamiento.

También se cuenta con una caseta de herramientas, dos cercos perimetrales para protección el primero construido con malla olímpica y postes de F°G° con puertas de acceso para la operación, protección y cuidado de la infraestructura de tratamiento y un segundo exterior construido con alambre de púas.

Finalmente, una cámara de recolección de agua tratada de los dos trenes de tratamiento para su posterior evacuación de las aguas tratadas al cuerpo receptor.

2.1.2.4. Indicadores y/o variables de desempeño

Se calcularon en base a planillas registradas por el personal u operario encargado de la operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, dependiente del GAM de Mojocoya, teniendo los siguientes indicadores:

a) Indicador de capacidad de tratamiento utilizada (CTUP)

Este indicador, es una métrica que refleja el grado en que la planta está utilizando su capacidad de diseño para tratar aguas residuales, denotando los siguientes resultados:

Cuadro 25. Resultados de la capacidad de tratamiento utilizada

Indicador	Resultado	Observación
CTUP	39,78	<70%; Aceptable, Indica que la PTAR no está próxima a alcanzar su capacidad de diseño.
CPTAR	28,32	<70%; La capacidad hidráulica actual de la PTAR es suficiente para atender la demanda existente sin comprometer aún su capacidad de diseño.
CTP	51,24	<70%; La capacidad de tratamiento actual de la PTAR es suficiente para atender la demanda actual de la población servida, sin comprometer el funcionamiento de la planta.

Fuente. Elaboración propia, 2024 en base a AAPS, 2022.

b) Indicador de condiciones básicas para la operación y mantenimiento (CBO)

Este indicador se centra en la disponibilidad de recursos, infraestructura y prácticas operativas que son esenciales para el mantenimiento y la operación continuos de la PTAR:

Cuadro 26. Resultado de las condiciones básicas de operación y mantenimiento

Indicador	Resultado	Observación
CBO	30,87	≤50%; Inadecuadas, por tanto, el GAM debe implementar mejoras en las condiciones básicas de operación y mantenimiento. El valor del índice DTE refleja una mala gestión de documentación específica relacionadas a las tareas de operación y mantenimiento en la PTAR.
IYS	55,00	≥40%; La infraestructura disponible en la PTAR presentan las condiciones apropiadas para llevar a cabo de manera adecuada las actividades de operación y mantenimiento. Por lo tanto, no se requieren acciones inmediatas.
GPO	18,75	<56%; La EPSA no cuenta con las condiciones mínimas en términos de gestión de personal para lograr un correcto desempeño de las actividades de operación y mantenimiento en la PTAR, por lo que de manera inmediata debe mejorar las condiciones de trabajo del personal operativo. Las acciones inmediatas a desarrollarse son: <ul style="list-style-type: none"> - Mejorar la capacidad del personal operativo en el desarrollo de sus funciones en relación a las actividades de operación y mantenimiento. - Mejorar las condiciones de seguridad ocupacional en la PTAR.
DTE	25,00	≤50%; La falta o deficiencia de la documentación técnica específica disponible para realizar actividades de operación y mantenimiento de la PTAR, constituye un problema que afecta el desempeño del personal en la planta, por lo que se debe elaborar y administrar la documentación mínima requerida en relación a la operación y mantenimiento de la planta.

Fuente. Elaboración propia, 2024 en base a AAPS, 2022.

c) Indicador de gestión de mantenimiento (GEM)

Este indicador permite a los operadores y gestores de la PTAR monitorear el desempeño del mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, asegurando que las instalaciones funcionen de manera óptima y cumplan con los estándares de operación.

Cuadro 27. Resultado de la gestión de mantenimiento

Indicador	Resultado	Observación
GEM	90,00	$\geq 85\%$; Adecuado, el valor implica que el personal de la PTAR cumple eficazmente con las actividades programadas de mantenimiento preventivo.
EMP	80,00	$< 85\%$; El GAM debe optimizar las actividades de mantenimiento preventivo de la PTAR, ya que, de lo contrario, se corre riesgo de que las distintas unidades de tratamiento no funcionen de forma adecuada; así también, se debe mejorar el control y seguimiento de las mismas.
EMC	100,00	$\geq 85\%$; Las actividades de mantenimiento correctivo son llevadas a cabo de manera eficaz, sin embargo, se recomienda realizar una evaluación periódica para mantener la eficiencia en el desarrollo de dichas actividades.

Fuente. Elaboración propia en base a AAPS, 2022.

d) Indicador de eficiencia de tratamiento (Ef PTAR)

Este indicador permite cuantificar la efectividad de los distintos procesos de tratamiento aplicados en la planta y es fundamental para garantizar que el efluente cumpla con los estándares de calidad establecidos.

Cuadro 28. Resultado de la eficiencia de tratamiento

Parámetro	Afluente (mg/l)	Efluente (mg/l)	Ef PTAR de Diseño	Ef PTAR	Comparación	Observación
DBO	177,0	28,0	80,0	84,2	Cumple	El nivel de reducción de la materia orgánica

Parámetro	Afluyente (mg/l)	Efluente (mg/l)	Ef PTAR de Diseño	Ef PTAR	Comparación	Observación
						contaminante es adecuado, lo cual implica el buen estado de la planta.
DQO	437,8	36,1	75,0	91,8	Cumple	El grado de remoción de materia contaminante es adecuado, lo cual implica el buen estado actual de la planta.
SST	205,0	81,0	70,0	60,5	No cumple	Inadecuado, implica un control a los sólidos en suspensión que ingresan a la PTAR, mejorando el sistema de pre tratamiento.

Fuente. Elaboración propia en base a AAPS, 2022.

Referente a la verificación del cumplimiento de los límites permisible establecidos en el RMCH. La comparación de los v alores del efluente respecto a la normativa es:

Cuadro 29. Comparación de parámetros de la PTAR con limites permisibles

Parámetro	Afluyente (mg/l)	Efluente (mg/l)	Anexo 2 RMCH	Comparación
DBO ₅	177,0	28,0	80,0	Cumple
DQO	437,8	36,1	250,0	Cumple
SST	205,0	81,0	60,0	No cumple

Fuente. Elaboración propia en base a los resultados del ensayo de laboratorio.

Como se puede apreciar, todos los valores cumplen con los límites establecidos en la normativa vigente, salvo la persistencia de Sólidos Suspendidos Totales, comprometiendo el funcionamiento de las unidades de tratamiento de la planta, lo que afecta la eficiencia del sistema de tratamiento.

e) Tratamiento de lodos generados (TLG)

El tratamiento de lodos es una necesidad para garantizar la sostenibilidad ambiental, la salud pública y la eficiencia económica. Una gestión adecuada de los lodos es esencial para maximizar los beneficios del tratamiento de aguas residuales y contribuir a un desarrollo más sostenible.

Los resultados de la evaluación del nivel de tratamiento y manejo de los lodos generados, establecen:

Cuadro 30. Resultado del tratamiento de lodos generados

Vol Resid Sol y Nata (L)	Área (m ²)	Alt Lodo (cm)	Vol Lodo (m ³)	Vol Lodo Total (m ³)	Vol Lodo Tratado (m ³)
38,3	123,4	0,8	0,9	1,0	1,9

Fuente. Elaboración propia en base a AAPS, 2022.

$$\text{TLG} = 4,71 \%$$

Su evaluación con respecto al rango establecido se considera **INADECUADO**. El GAM de Mojocoya debe mejorar, ampliar o implementar una línea técnicamente adecuada para el tratamiento, manejo y/o disposición ambiental de lodos.

2.2. Comparación de Resultados del Análisis de Agua Residual de las Plantas de Tratamiento

Este documento presenta resultados del relevamiento de diversos aspectos relacionados con las potencialidades y deficiencias que existen con relación a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Municipio de Zudáñez y Municipio de Mojocoya, basados en:

2.2.1. Resultados del análisis del agua residual PTAR Zudáñez

Acorde a la norma boliviana NB 5667-10:2021 se ha realizado el muestreo de las aguas residuales de muestras compuestas, para los parámetros de Colifecales, DBO₅, DQO, pH y

Sólidos disueltos totales, necesarios para la evaluación de la calidad tanto del afluente (ingreso a la PTAR) como en el efluente (salida de la PTAR).

Las muestras de agua residual fueron analizadas en un laboratorio acreditado y con equipos calibrados, tal cual cita el Art. 32 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica aprobado por D.S. N° 24176 (RAMCH, 1995), correspondiendo a muestras compuestas, denominada también muestra integrada, que consiste en tomar porciones de aguas residuales en un mismo punto a intervalos regulares y en las mismas proporciones, todas las porciones se mezclan para formar una muestra final representativa de un punto determinado.

Estas muestras compuestas de agua residual fueron tomadas en envases esterilizados y refrigerados con hielo en conservadora, la recomendación importante es que la muestra debe llegar al laboratorio dentro de las 24 horas siguientes de tomada la muestra.

2.2.1.1. Análisis de agua residual afluente (ingreso a la PTAR)

La evaluación del afluente en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es vital para garantizar la eficacia del proceso de tratamiento y proteger el medio ambiente. El afluente, son las aguas residuales que ingresan a la planta, contienen diversos contaminantes que, si no se gestionan adecuadamente, pueden tener un impacto negativo en la salud pública y los ecosistemas (Mancilla, 2018). Al evaluar la composición y la carga contaminante de estos afluentes, se pueden implementar estrategias efectivas para optimizar el tratamiento y asegurar que los efluentes tratados cumplan con los estándares ambientales (MMAyA, 2021).

Además, esta evaluación permite cumplir con las normativas legales, prevenir sanciones y fomentar prácticas sostenibles que promuevan la conservación de los recursos hídricos.

El ensayo de laboratorio se adjunta en el anexo 5, cuyos resultados son:

Cuadro 31. Análisis de agua residual afluente (ingreso a la PTAR)

Parámetros	Unid.	Resultado	Referencias
Colifecales	NMP/100 ml	5x10 ³	1000
DBO ₅	mg-O ₂ /l	262	80
DQO	mg-O ₂ /l	347,5	250
pH	Unidad de pH	7,62	6-9
Sólidos suspendidos totales	mg/l	582	60

Fuente. Elaboración propia, 2024 en base a Ensayos de Laboratorio (Anexo 5).

2.2.1.2. Análisis de agua residual efluente (salida de la PTAR)

Evaluar la calidad de los efluentes no solo permite optimizar los procesos de tratamiento y fomentar la innovación tecnológica, sino que también contribuye a la transparencia y la conciencia social sobre la importancia de gestionar adecuadamente los recursos hídricos (AAPS, 2022).

En este contexto, la evaluación de los efluentes se convierte en una herramienta clave para asegurar un desarrollo sostenible y proteger los recursos naturales para las futuras generaciones (García, 2016).

El ensayo de laboratorio adjunto en el anexo 5, denota los siguientes resultados para el efluente:

Cuadro 32. Análisis de agua residual efluente (salida a la PTAR)

Parámetros	Unid.	Resultado	Referencias
Colifecales	NMP/100 ml	15,0	1000
DBO ₅	mg-O ₂ /l	7,0	80
DQO	mg-O ₂ /l	26,0	250
pH	Unidad de pH	7,66	6-9
Sólidos suspendidos totales	mg/l	18	60

Fuente. Elaboración propia, 2024 en base a Ensayos de Laboratorio (Anexo 5).

Los parámetros del efluente que son descargado al río Zudáñez, denotan:

- De acuerdo a las características de las unidades de tratamiento de la PTAR, una carga orgánica del efluente aceptable para descargar al cuerpo receptor.

La calidad del efluente de la planta de tratamiento determinado en base al Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, es permisible para descargar.

2.2.2. Resultados del análisis del agua residual PTAR Redención Pampa (Mojocoya)

Se ha realizado el muestreo de las aguas residuales de muestras compuestas, acorde a la norma boliviana NB 5667-10:2021 para Colifecales, DBO₅, DQO, pH y Sólidos disueltos totales, necesarios para la evaluación de la calidad del afluente (ingreso a la PTAR) como del efluente (salida de la PTAR).

Estas muestras compuestas de agua residual fueron tomadas en envases esterilizados y refrigerados con hielo en conservadora, la recomendación importante es que la muestra debe llegar al laboratorio dentro de las 24 horas siguientes de tomada la muestra.

El análisis de las muestras de agua residual se realizó en un tal cual cita el Art. 32 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica aprobado por D.S. N° 24176 (RAMCH, 1995), laboratorio acreditado y con equipos calibrados.

2.2.2.1. Análisis de agua residual afluyente (ingreso a la PTAR)

El afluyente, son las aguas residuales que ingresan a la planta, contienen diversos contaminantes que, si no se gestionan adecuadamente, pueden tener un impacto negativo en la salud pública y los ecosistemas (Mancilla, 2018). Su evaluación es vital para garantizar la eficacia del proceso de tratamiento y proteger el medio ambiente.

El ensayo de laboratorio se adjunta en el anexo 5, cuyos resultados son:

Cuadro 33. Análisis de agua residual afluyente (ingreso a la PTAR)

Parámetros	Unid.	Resultado	Referencias
Colifecales	NMP/100 ml	2,9x10 ⁴	1000
DBO ₅	mg-O ₂ /l	177	80
DQO	mg-O ₂ /l	437,8	250
pH	Unidad de pH	8,38	6-9
Sólidos suspendidos totales	mg/l	205	60

Fuente. Elaboración propia, 2024 en base a Ensayos de Laboratorio (Anexo 6).

2.2.2.2. Análisis de agua residual efluente (salida de la PTAR)

El análisis del agua residual en el efluente, es un componente crítico para garantizar que la PTAR opere de manera efectiva y sostenible, protegiendo tanto la salud pública como el medio ambiente (AAPS, 2022).

El ensayo de laboratorio adjunto en el anexo 5, denota los siguientes resultados para el efluente:

Cuadro 34. Análisis de agua residual efluente (salida de la PTAR)

Parámetros	Unid.	Resultado	Referencias
Colifecales	NMP/100 ml	210	1000
DBO ₅	mg-O ₂ /l	28	80
DQO	mg-O ₂ /l	36,1	250
pH	Unidad de pH	7,57	6-9
Sólidos suspendidos totales	mg/l	81	60

Fuente. Elaboración propia, 2024 en base a Ensayos de Laboratorio (Anexo 6).

Los resultados del ensayo del efluente, denotan una considerable reducción de valores en todos los parámetros, siendo permisible para descargas conforme el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica.

2.3. Determinación de la Percepción Socioambiental

Evaluar la percepción socioambiental del sistema de tratamiento de aguas residuales es esencial para garantizar un enfoque integral que no solo se centre en la eficiencia técnica, sino también en el bienestar social y ambiental. Esta evaluación es clave para construir sistemas resilientes, responsables y que beneficien a las comunidades y al entorno natural.

A continuación, se describen algunos de los aspectos más importantes realizados en esta evaluación:

a) Protección del Medio Ambiente

Refiere a la calidad del agua, un sistema de tratamiento eficiente reduce la contaminación de cuerpos de agua, protegiendo ecosistemas acuáticos y la biodiversidad.

b) Salud Pública

Denota la prevención de enfermedades, un tratamiento adecuado de aguas residuales minimiza la exposición de la población a patógenos y contaminantes, reduciendo riesgos para la salud. Mejora en la calidad del agua y el ambiente, contribuyendo a un mejor bienestar general de las comunidades.

c) Responsabilidad Social

Describe la participación comunitaria, la evaluación fomenta la inclusión de las comunidades en el proceso de toma de decisiones, fortaleciendo el sentido de pertenencia y responsabilidad.

Garantiza que los beneficios del tratamiento de aguas residuales se distribuyan equitativamente entre todos los sectores de la población.

d) Sostenibilidad Económica

Cita la reducción de costos, un sistema sostenible, puede reducir costos operativos a largo plazo, incluyendo energía y mantenimiento, además de la generación de empleo durante la implementación y operación del sistema de tratamiento de aguas residuales.

e) Innovación y Mejora Continua

La evaluación fomenta la adopción de tecnologías innovadoras que mejoran la eficiencia y efectividad del tratamiento. Permitiendo establecer indicadores de desempeño que facilitan el seguimiento y la mejora continua del sistema.

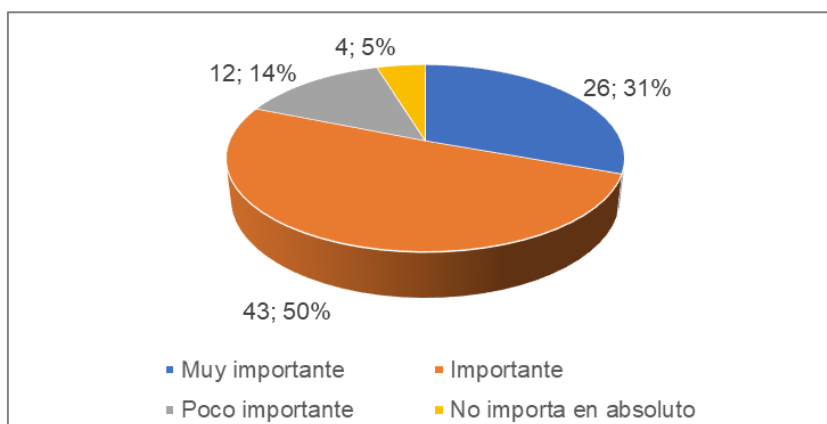
2.3.1. Resultados de la Percepción Socioambiental en la PTAR Zudáñez

La encuesta aplicada, fue diseñada para evaluar la percepción y participación de la comunidad en relación con la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la localidad de Zudáñez, con el objetivo de identificar áreas de mejora y fortalecer la sostenibilidad ambiental, se solicitó la opinión de los usuarios del servicio, elegidos al azar del tamaño de la muestra.

Los resultados a la encuesta aplicada (anexo 10) para la localidad de Zudáñez, son:

1. ¿Qué tan importante considera que es el tratamiento adecuado de aguas residuales para la protección del medio ambiente?

Gráfico N° 2. Importancia del tratamiento para la protección del Medio Ambiente



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Sumando "Muy importante" e "Importante", un 81.2% de los encuestados considera que el tratamiento adecuado de aguas residuales es esencial para la protección del medio ambiente. Esto demuestra una clara conciencia y reconocimiento de la relevancia de este tema.

Muy importante (30.6%): Un grupo significativo ve el tratamiento de aguas residuales como un aspecto crucial para la sostenibilidad ambiental.

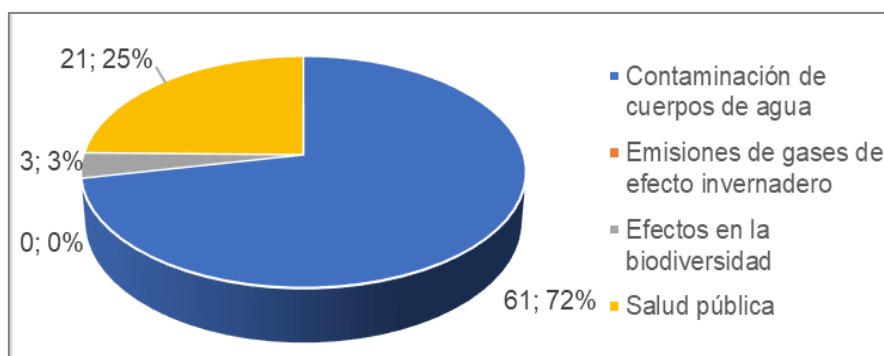
Importante (50.6%): La mayoría de los encuestados también considera el tratamiento adecuado como importante, lo que indica una comprensión general de su impacto positivo en el medio ambiente.

Poco importante (14.1%): Un número menor de encuestados tiene una percepción más neutral o menos comprometida con el tema.

No importa en absoluto (4.7%): Este grupo es muy pequeño, lo que sugiere que casi nadie considera que el tratamiento de aguas residuales no tenga relevancia.

2. ¿Qué aspecto del tratamiento de aguas residuales le preocupa más en relación con el medio ambiente?

Gráfico N° 3. Aspectos del tratamiento de aguas y su relación con el medio ambiente



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Principales Preocupaciones:

Contaminación de cuerpos de agua (72.6%): Esta es la preocupación predominante entre los encuestados, lo que indica que la mayoría está muy consciente de los riesgos que el tratamiento inadecuado de aguas residuales puede representar para los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua.

Otras Preocupaciones:

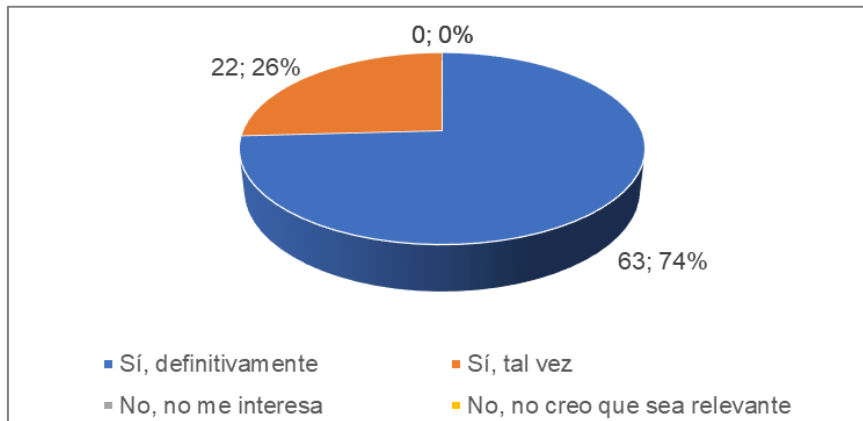
Salud pública (25.4%): Este aspecto también es significativo, reflejando la preocupación por los impactos que puede tener el tratamiento de aguas residuales en la salud de la población.

Efectos en la biodiversidad (3.6%): Aunque es una preocupación menor en comparación con las otras, todavía se reconoce la importancia de cómo el tratamiento de aguas residuales puede afectar la biodiversidad.

Emisiones de gases de efecto invernadero (0%): La falta de preocupación en este aspecto sugiere que los encuestados no ven esta cuestión como un problema significativo en el contexto del tratamiento de aguas residuales.

3. ¿Le gustaría recibir información sobre cómo el tratamiento de aguas residuales afecta la salud pública en su área?

Gráfico N° 4. Información del tratamiento de aguas y la salud pública



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Sumando "Sí, definitivamente" y "Sí, tal vez", un 100% de los encuestados está interesado en recibir información sobre el impacto del tratamiento de aguas residuales en la salud pública. Esto indica una fuerte demanda de conocimiento en este tema.

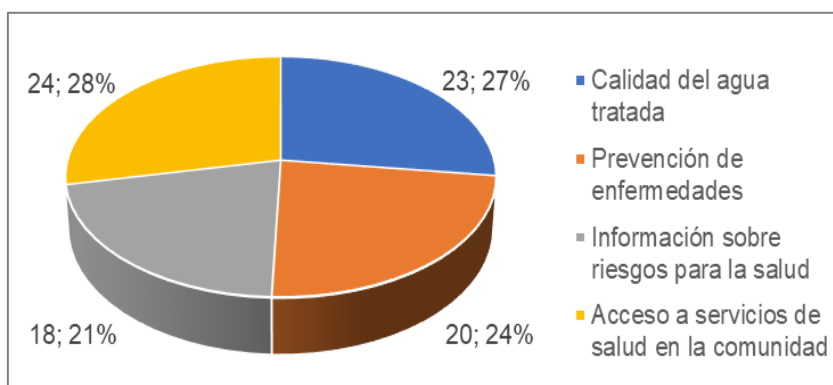
Sí, definitivamente (74.1%): Una gran mayoría muestra un interés claro y decidido, lo que sugiere que los encuestados consideran que esta información es crucial para su bienestar.

Sí, tal vez (25.9%): Aunque están interesados, este grupo puede requerir más información o pruebas sobre la relevancia del tema antes de comprometerse plenamente.

La ausencia de respuestas negativas (0% en "No, no me interesa" y "No, no creo que sea relevante") sugiere que no hay resistencia ni apatía hacia el tema, lo que es alentador para futuras iniciativas informativas. y/o recibir información sobre cómo el tratamiento de aguas residuales afecta la salud pública.

4. ¿Qué aspecto relacionado con la salud pública considera más crítico en la operación de la PTAR?

Gráfico N° 5. La salud y la operación de la PTAR



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Principales Preocupaciones:

Acceso a servicios de salud en la comunidad (28.2%): Este aspecto es el más crítico según los encuestados, lo que indica que hay una fuerte preocupación por la disponibilidad y calidad de los servicios de salud en relación con el tratamiento de aguas residuales.

Otras Preocupaciones:

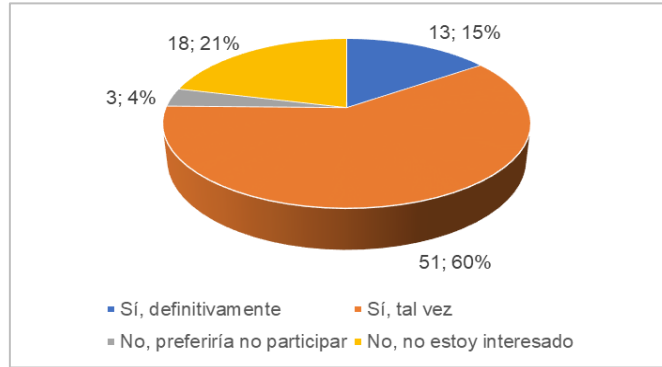
Calidad del agua tratada (27.4%): Muy cerca del primer lugar, la calidad del agua tratada es vista como fundamental para garantizar la salud pública y prevenir problemas de salud.

Prevención de enfermedades (23.5%): Este aspecto también es importante, reflejando la preocupación por cómo la operación de la PTAR puede influir en la propagación de enfermedades.

Información sobre riesgos para la salud (21.2%): Aunque es la preocupación menos mencionada, sigue siendo relevante, indicando que los encuestados desean estar informados sobre los riesgos potenciales asociados al tratamiento de aguas residuales.

5. ¿Está interesado en participar activamente en la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)?

Gráfico N° 6. Participación social en la operación de la PTAR



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Sumando "Sí, definitivamente" y "Sí, tal vez", se obtiene un 77% de la población encuestada que muestra algún nivel de interés en participar activamente en la PTAR. Esto sugiere una predisposición positiva hacia la participación.

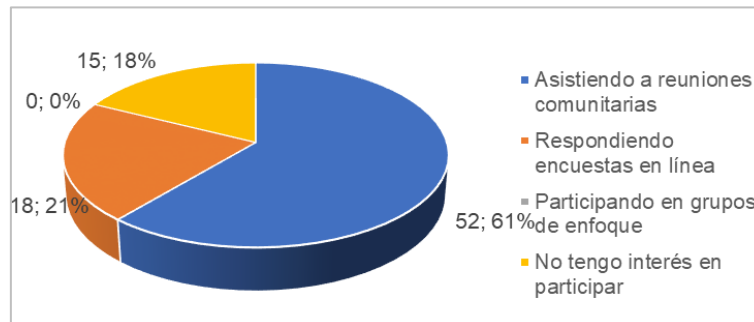
Sí, definitivamente (15.5%): Un grupo pequeño pero comprometido que está dispuesto a participar sin reservas.

Sí, tal vez (61.5%): Este grupo representa la mayoría, lo que indica que hay un potencial significativo para involucrar a estas personas si se abordan sus dudas o preocupaciones.

El No, preferiría no participar (3.5%) y No, no estoy interesado (20%): Juntos, estos grupos suman el 24% de los encuestados, lo que indica una minoría que no está interesada.

6. ¿Cómo preferiría participar en la evaluación de la PTAR?

Gráfico N° 7. Participación social en la evaluación de la PTAR



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Asistiendo a reuniones comunitarias (62.7%): Esta es la opción más popular, lo que indica que la mayoría de los encuestados prefiere un enfoque cara a cara para discutir y evaluar la PTAR. Esto sugiere un interés en la interacción directa y el diálogo con otros miembros de la comunidad y con los responsables de la PTAR.

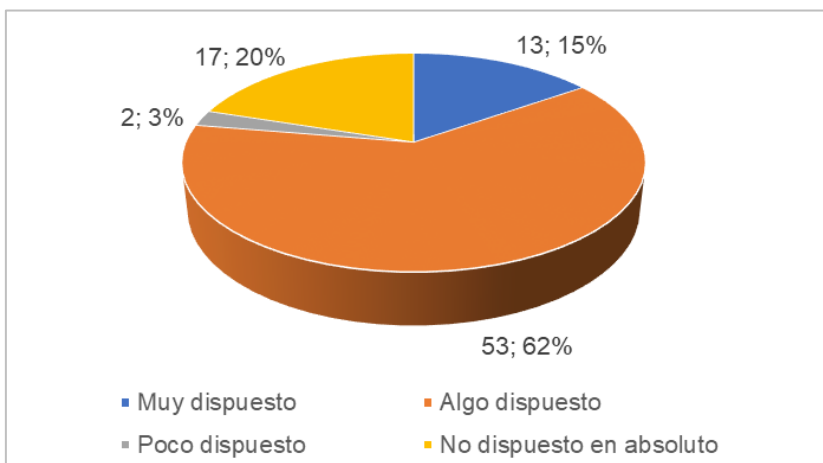
Respondiendo encuestas en línea (21.8%): Aunque esta opción también es valorada, representa una proporción menor de las preferencias. Esto podría indicar que algunos encuestados prefieren métodos más interactivos en lugar de formatos más pasivos.

Participando en grupos de enfoque (0%): La falta de interés en esta opción sugiere que los encuestados no ven la necesidad de participar en este tipo de discusiones más profundas, lo que podría ser un área a investigar más a fondo para entender el porqué.

No tengo interés en participar (18.5%): Este grupo representa una porción significativa que no está interesada en participar en ninguna actividad relacionada con la evaluación de la PTAR.

7. ¿Qué tan dispuesto estaría a pagar más por un servicio de tratamiento de aguas residuales más sostenible?

Gráfico N° 8. Disposición a pagar por el tratamiento de aguas



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Sumando "Muy dispuesto" y "Algo dispuesto", se observa que el 78.2% de los encuestados está dispuesto a pagar más por un servicio de tratamiento de aguas residuales más sostenible. Esto indica un fuerte interés en mejorar la sostenibilidad del servicio.

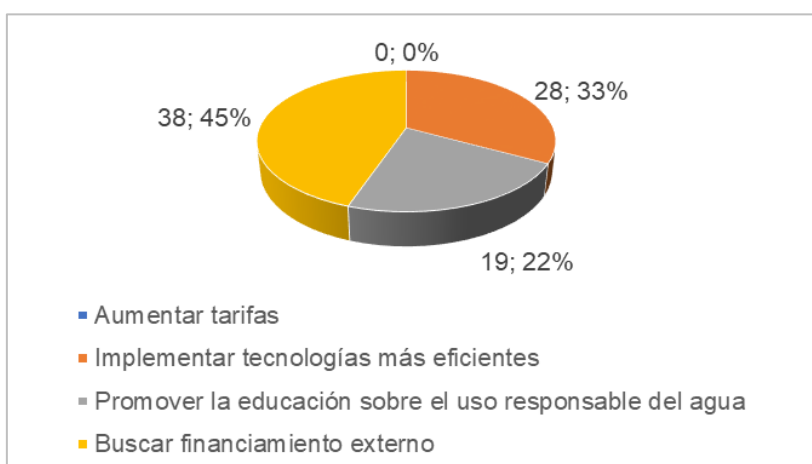
Muy dispuesto (15.5%): Un grupo pequeño pero comprometido que está totalmente a favor de pagar más por un servicio sostenible.

Algo dispuesto (62.7%): Representa la mayoría y sugiere que, aunque están abiertos a la idea, podrían necesitar más información o garantías sobre el uso de esos fondos.

Poco dispuesto (2.4%) y No dispuesto en absoluto (20%): Juntos, estos grupos suman un 22.4% de los encuestados. Esto indica una minoría que no está dispuesta a pagar más, lo que podría ser un foco de atención para entender sus razones.

8. ¿Qué medidas considera más efectivas para mejorar la sostenibilidad económica de la PTAR?

Gráfico N° 9. Medidas efectivas para la sostenibilidad económica



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Buscar financiamiento externo (33.45%): Esta es la medida más apoyada por los encuestados. Indica que hay un fuerte interés en explorar fuentes de financiamiento que puedan aliviar la carga económica de la PTAR sin necesidad de aumentar tarifas.

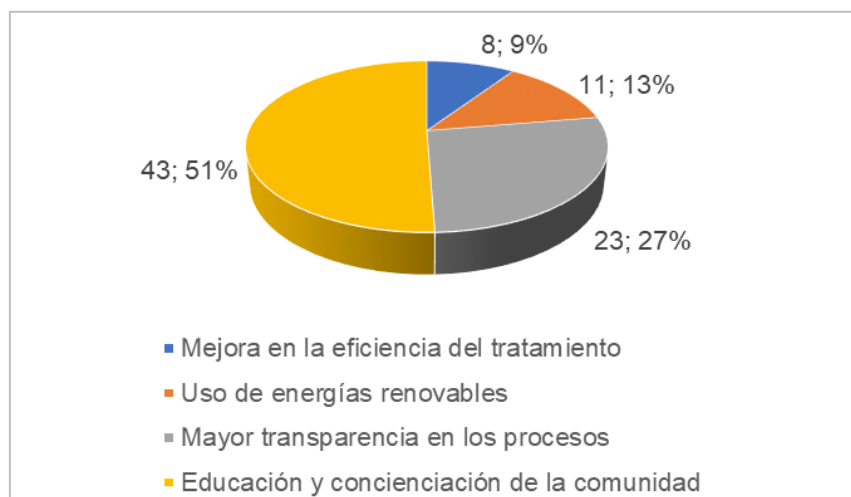
Implementar tecnologías más eficientes (28.33%): Esta opción también recibe un apoyo considerable, lo que sugiere que los encuestados reconocen la importancia de la innovación y la eficiencia para mejorar la sostenibilidad económica.

Promover la educación sobre el uso responsable del agua (19.22%): Aunque menos popular, esta medida aún tiene un respaldo significativo, ya que la educación puede llevar a un uso más responsable y, potencialmente, a una reducción de costos a largo plazo.

Aumentar tarifas (0%): La falta de apoyo para esta opción indica que los encuestados no consideran viable aumentar los costos para los usuarios como una solución para mejorar la sostenibilidad económica.

9. ¿Qué tipo de mejoras le gustaría ver implementadas en la PTAR?

Gráfico N° 10. Mejoras a implementar en la PTAR



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Educación y concienciación de la comunidad (51.8%): Esta es la opción más respaldada, lo que indica que los encuestados valoran la importancia de incrementar la concienciación y educación sobre el tratamiento de aguas residuales y su impacto en la comunidad.

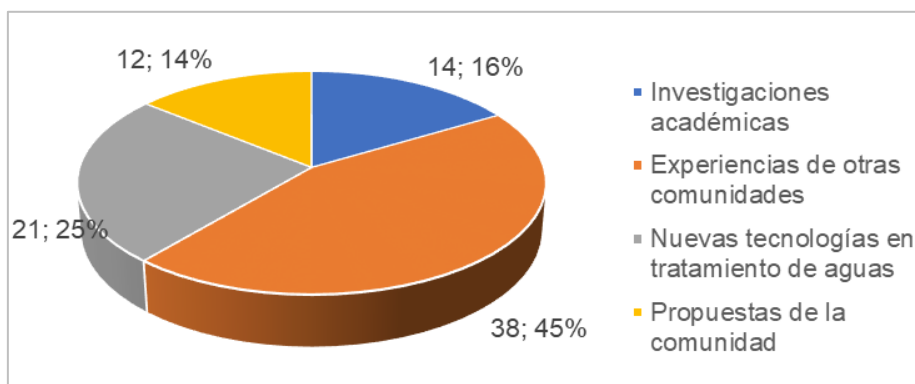
Mayor transparencia en los procesos (27.7%): Este aspecto también recibe un apoyo considerable, sugiriendo que los encuestados desean estar mejor informados sobre cómo se manejan los procesos en la PTAR, lo que puede aumentar la confianza en la gestión.

Uso de energías renovables (13.3%): Aunque es menos popular que las dos anteriores, sigue siendo relevante. La transición hacia energías limpias puede contribuir a la sostenibilidad económica y ambiental de la PTAR.

Mejora en la eficiencia del tratamiento (9.6%): Esta opción recibió el menor apoyo, lo que podría indicar que los encuestados perciben que ya hay un enfoque en la eficiencia o que consideran que otros aspectos, como la educación y la transparencia, son más prioritarios.

10. ¿Qué fuente de innovación considera más relevante para la PTAR?

Gráfico N° 11. Innovación más relevante para la PTAR



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Experiencias de otras comunidades (44.7%): Esta es la fuente de innovación más respaldada, lo que indica que los encuestados valoran el aprendizaje a partir de las prácticas exitosas de otras localidades. Esto sugiere una apertura a adaptar y adoptar soluciones que han demostrado ser efectivas en contextos similares.

Nuevas tecnologías en tratamiento de aguas (24.7%): Este es el segundo grupo más significativo, lo que refleja un interés en incorporar innovación tecnológica en los procesos de la PTAR. La modernización a través de nuevas tecnologías puede mejorar la eficiencia y sostenibilidad.

Investigaciones académicas (16.5%): Aunque menos popular, esta fuente sigue siendo relevante. Las investigaciones académicas pueden ofrecer enfoques basados en evidencia y soluciones innovadoras que podrían implementarse.

Propuestas de la comunidad (14.1%): Aunque esta opción recibió el menor apoyo, sigue siendo importante. Involucrar a la comunidad en el proceso de innovación puede fomentar un sentido de pertenencia y compromiso.

2.3.2. Resultados de la Percepción Socioambiental en la PTAR Redención Pampa

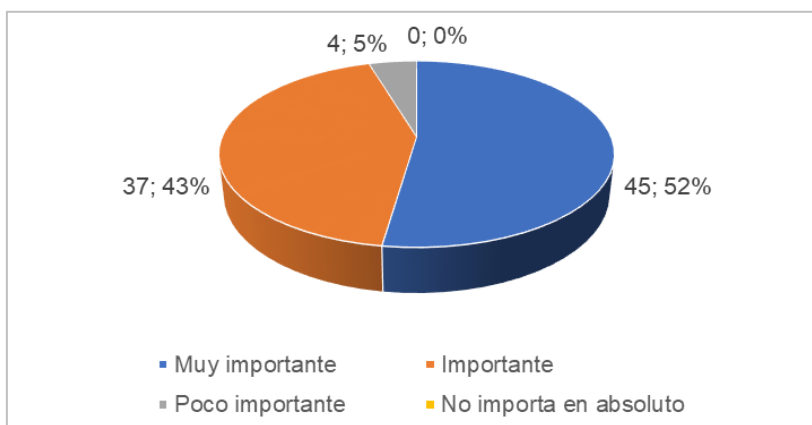
A través de esta evaluación, se busca proporcionar recomendaciones que contribuyan a una gestión más eficiente y participativa de las PTAR, fortaleciendo así el vínculo entre la infraestructura de tratamiento de aguas residuales y el bienestar de la comunidad.

Las percepciones de la comunidad respecto a diversos aspectos relacionados con la operación y mantenimiento de la PTAR, incluyendo la calidad del agua, la prevención de enfermedades, el acceso a servicios de salud y la información sobre riesgos.

Los resultados a la encuesta aplicada (anexo 10) para la localidad de Redención Pampa (Mojocoya), son:

1. ¿Qué tan importante considera que es el tratamiento adecuado de aguas residuales para la protección del medio ambiente?

Gráfico N° 12. Importancia del tratamiento para la protección del Medio Ambiente



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Sumando "Muy importante" y "Importante", un 96.4% de los encuestados considera que el tratamiento adecuado de aguas residuales es esencial para la protección del medio ambiente. Esto refleja una fuerte conciencia y reconocimiento del impacto positivo que un tratamiento adecuado puede tener.

Muy importante (52.9%): Más de la mitad de los encuestados ve el tratamiento de aguas residuales como fundamental para la sostenibilidad ambiental, lo que subraya la seriedad con la que se toma este asunto.

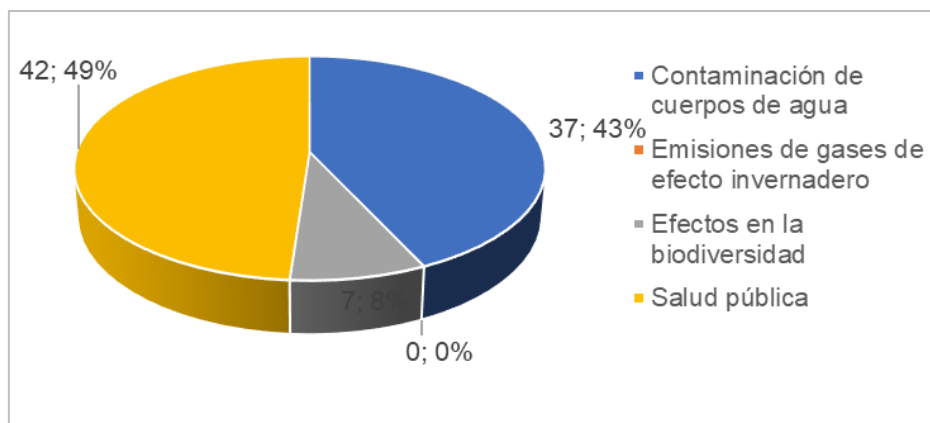
Importante (43.5%): Una proporción significativa también considera el tratamiento adecuado como importante, complementando la visión positiva general hacia la gestión de aguas residuales.

Poco importante (4.7%): Un pequeño grupo tiene una percepción más neutral, indicando que no están tan convencidos de la relevancia del tema.

No importa en absoluto (0%): La ausencia de respuestas negativas señala que casi nadie considera que el tratamiento de aguas residuales no sea relevante.

2. ¿Qué aspecto del tratamiento de aguas residuales le preocupa más en relación con el medio ambiente?

Gráfico N° 13. Aspectos del tratamiento de aguas y su relación con el medio ambiente



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Principales Preocupaciones:

Salud pública (50.6%): Este aspecto es la mayor preocupación entre los encuestados, lo que indica que la protección de la salud de la comunidad es una prioridad fundamental en relación con el tratamiento de aguas residuales.

Contaminación de cuerpos de agua (44.0%): Casi la mitad de los encuestados también está muy preocupada por la contaminación de los cuerpos de agua, reflejando una conciencia clara sobre los impactos negativos que el tratamiento inadecuado puede tener en los ecosistemas acuáticos.

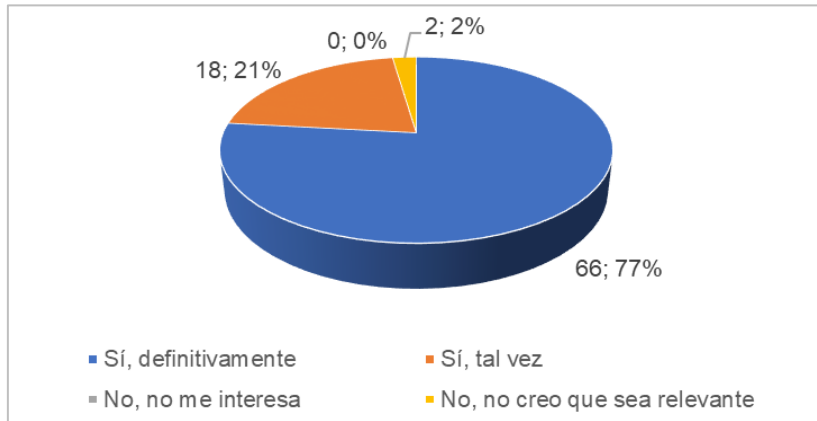
Otras Preocupaciones:

Efectos en la biodiversidad (8.4%): Aunque este aspecto es mencionado por un número menor de encuestados, sigue siendo relevante, indicando que hay conciencia sobre cómo el tratamiento de aguas residuales puede afectar la vida silvestre.

Emisiones de gases de efecto invernadero (0%): La falta de preocupación en este aspecto sugiere que los encuestados no perciben esta cuestión como un problema significativo en el contexto del tratamiento de aguas residuales.

3. ¿Le gustaría recibir información sobre cómo el tratamiento de aguas residuales afecta la salud pública en su área?

Gráfico N° 14. Información del tratamiento de aguas y la salud pública



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Sumando "Sí, definitivamente" y "Sí, tal vez", un 97.7% de los encuestados expresa interés en recibir información sobre el impacto del tratamiento de aguas residuales en la salud pública. Esto indica una fuerte demanda de conocimiento en este tema.

Sí, definitivamente (76.7%): Una gran mayoría de los encuestados está decidida a recibir información, lo que muestra que consideran que el tema es de gran relevancia para su bienestar.

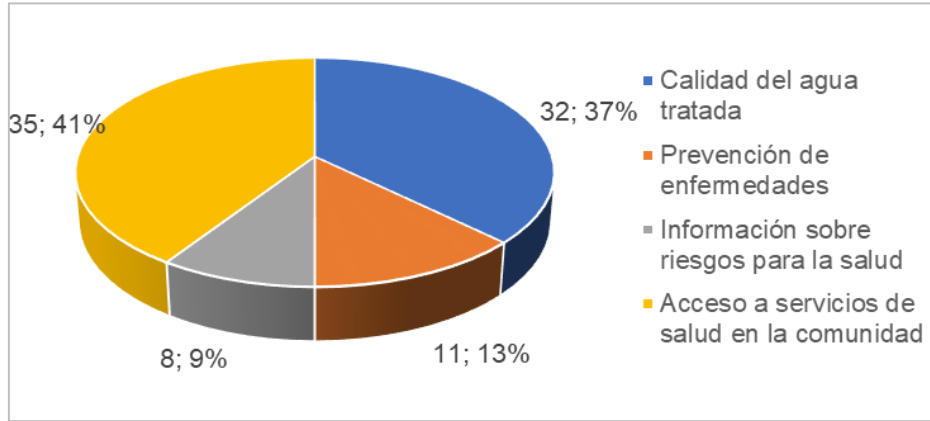
Sí, tal vez (21.0%): Este grupo también muestra interés, aunque podría requerir más información o evidencia sobre la importancia del tema antes de comprometerse plenamente.

No, no me interesa (0%): La ausencia de respuestas negativas en esta categoría sugiere que no hay resistencia ni desinterés hacia el tema.

No, no creo que sea relevante (2.3%): Un pequeño porcentaje indica que no considera relevante el tema, lo que sugiere que hay una ligera disconformidad que podría abordarse a través de la educación y la sensibilización.

4. ¿Qué aspecto relacionado con la salud pública considera más crítico en la operación de la PTAR?

Gráfico N° 15. La salud y la operación de la PTAR



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Principales Preocupaciones:

Acceso a servicios de salud en la comunidad (42.4%): Este aspecto es considerado el más crítico por los encuestados, lo que indica una alta preocupación por la disponibilidad y calidad de los servicios de salud relacionados con el tratamiento de aguas residuales.

Calidad del agua tratada (38.6%): La calidad del agua tratada es también un aspecto esencial, reflejando la importancia que los encuestados otorgan a la seguridad del agua que consumen y utilizan.

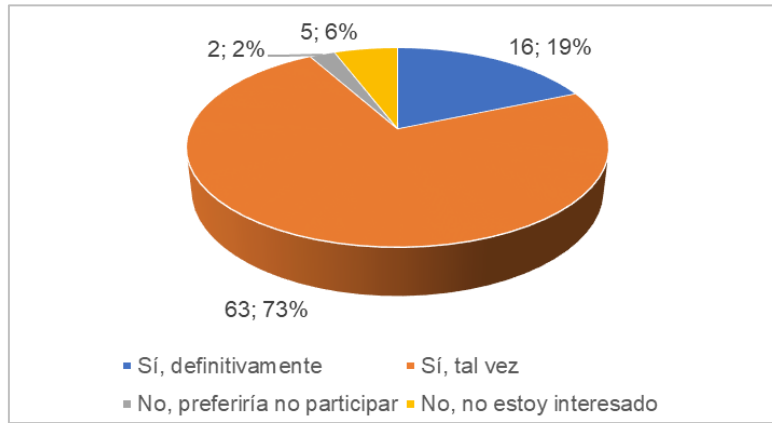
Otras Preocupaciones:

Prevención de enfermedades (13.4%): Aunque este aspecto tiene menos importancia que los anteriores, sigue siendo relevante, señalando que un número significativo de encuestados está consciente de la necesidad de prevenir problemas de salud vinculados al tratamiento de aguas residuales.

Información sobre riesgos para la salud (9.6%): Este tema, aunque menos prioritario, muestra que hay un interés en estar informados sobre los riesgos potenciales asociados al tratamiento de aguas residuales.

5. ¿Está interesado en participar activamente en la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)?

Gráfico N° 16. Participación social en la operación de la PTAR



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Sumando "Sí, definitivamente" y "Sí, tal vez", un 92.1% de los encuestados muestra interés en participar activamente en la operación de la PTAR. Esto sugiere un alto nivel de compromiso y deseo de involucrarse en cuestiones relacionadas con la gestión del agua.

Sí, definitivamente (18.6%): Aunque este porcentaje es menor, representa a un grupo comprometido que está dispuesto a participar activamente en la operación de la planta.

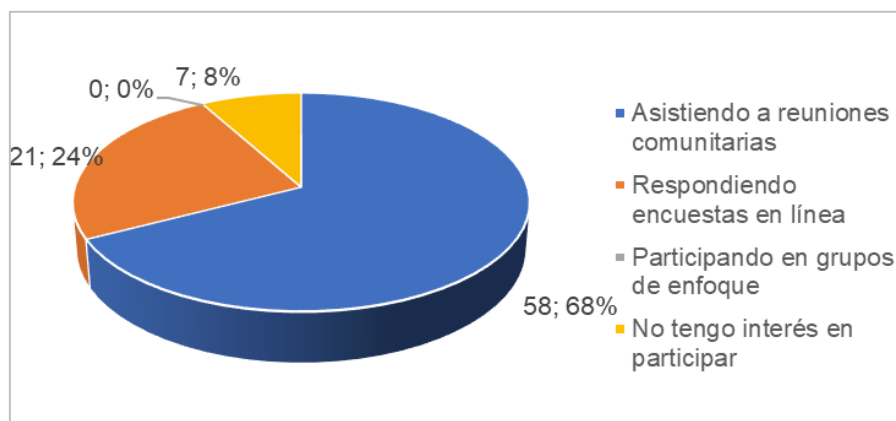
Sí, tal vez (73.5%): Esta respuesta indica que una gran mayoría está abierta a la posibilidad de participar, aunque puede requerir más información o motivación para comprometerse plenamente.

No, preferiría no participar (2.3%): Un número muy bajo de encuestados expresa una preferencia por no participar, lo que refleja una actitud generalmente positiva hacia la participación comunitaria.

No, no estoy interesado (5.8%): Aunque hay un pequeño porcentaje de desinterés, sigue siendo un número relativamente bajo en comparación con los interesados.

6. ¿Cómo preferiría participar en la evaluación de la PTAR?

Gráfico N° 17. Participación social en la evaluación de la PTAR



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Preferencias de Participación:

Asistiendo a reuniones comunitarias (67.4%): La gran mayoría de los encuestados prefiere participar a través de reuniones comunitarias, lo que indica un deseo de interacción directa y diálogo con otros miembros de la comunidad y los responsables de la PTAR.

Respondiendo encuestas en línea (24.4%): Una proporción significativa también está interesada en participar mediante encuestas en línea, lo que sugiere que algunos prefieren un enfoque más cómodo y menos formal.

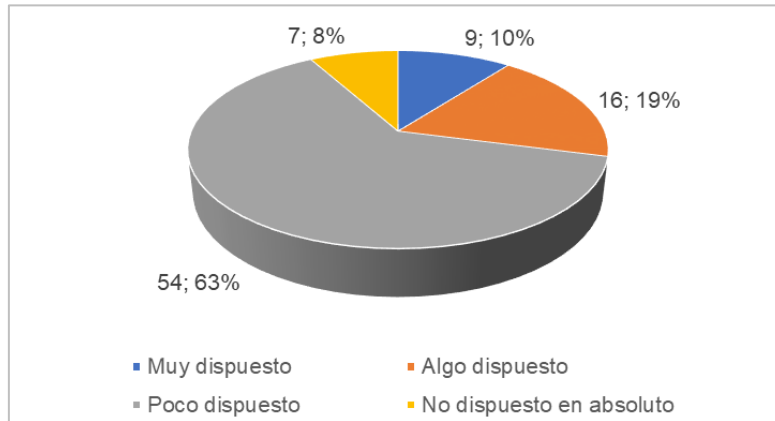
Otras Opciones de Participación:

Participando en grupos de enfoque (0%): Ningún encuestado mostró interés en participar en grupos de enfoque, lo que puede indicar que este método no es atractivo o no se ha promovido adecuadamente.

No tengo interés en participar (8.2%): Un pequeño porcentaje de encuestados no está interesado en participar, lo que refleja una actitud generalmente positiva hacia la participación comunitaria.

7. ¿Qué tan dispuesto estaría a pagar más por un servicio de tratamiento de aguas residuales más sostenible?

Gráfico N° 18. Disposición a pagar por el tratamiento de aguas



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Sumando "Muy dispuesto" y "Algo dispuesto", solo un 29.1% de los encuestados está dispuesto a pagar más por un servicio de tratamiento de aguas residuales más sostenible. Esto indica una fuerte resistencia a aumentar los costos asociados con estos servicios.

Muy dispuesto (10.5%): Un pequeño número de encuestados está completamente dispuesto a asumir un costo adicional, lo que sugiere un compromiso con la sostenibilidad.

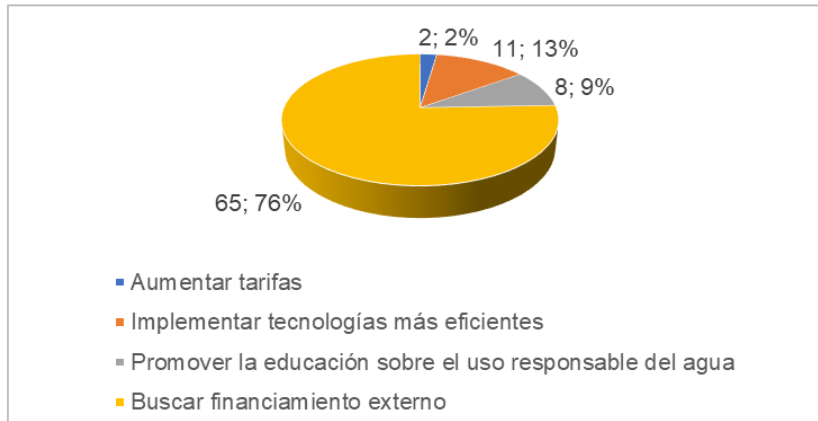
Algo dispuesto (18.6%): Este grupo muestra cierta apertura al pago adicional, aunque probablemente requiera más información sobre los beneficios de un servicio más sostenible.

Poco dispuesto (62.8%): La mayoría de los encuestados se muestra reacia a pagar más, lo que indica una percepción de que el costo adicional no justifica los beneficios percibidos.

No dispuesto en absoluto (8.2%): Un pequeño porcentaje expresa una clara negativa a pagar más, reflejando una postura firme respecto a los costos.

8. ¿Qué medidas considera más efectivas para mejorar la sostenibilidad económica de la PTAR?

Gráfico N° 19. Medidas efectivas para la sostenibilidad económica



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Buscar financiamiento externo (75.6%): Esta opción es la más favorecida por los encuestados, indicando que la mayoría considera que obtener financiamiento externo es crucial para la sostenibilidad económica de la PTAR.

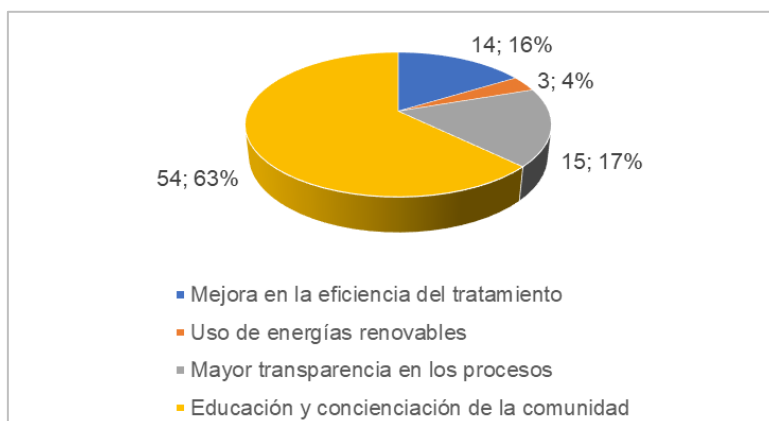
Implementar tecnologías más eficientes (13.0%): Aunque esta medida tiene menos apoyo que la anterior, un número significativo de encuestados reconoce la importancia de la eficiencia tecnológica en la operación de la planta.

Promover la educación sobre el uso responsable del agua (9.5%): Esta opción también es relevante, sugiriendo que la conciencia y educación de la comunidad son vistas como importantes, aunque no tan prioritarias como buscar financiamiento.

Aumentar tarifas (2.4%): Esta medida es la menos apoyada, lo que refleja una clara resistencia a pagar más por los servicios de tratamiento de aguas residuales.

9. ¿Qué tipo de mejoras le gustaría ver implementadas en la PTAR?

Gráfico N° 20. Mejoras a implementar en la PTAR



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Educación y concienciación de la comunidad (62.8%): Esta es la mejora más solicitada, indicando que una gran parte de los encuestados considera fundamental aumentar la educación y la conciencia sobre el tratamiento de aguas residuales y su impacto en la comunidad.

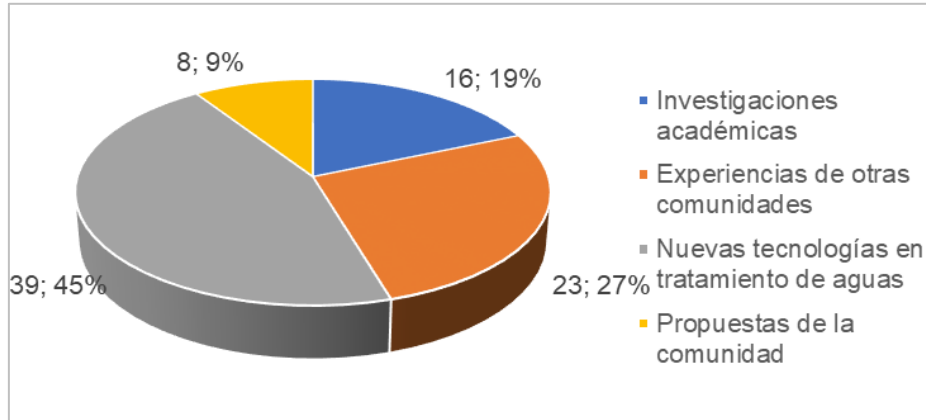
Mayor transparencia en los procesos (17.4%): La transparencia es también una preocupación significativa, lo que sugiere que los encuestados desean tener más información sobre cómo se gestionan y operan los procesos de la PTAR.

Mejora en la eficiencia del tratamiento (16.3%): Aunque importante, esta opción tiene menos apoyo en comparación con la educación y la transparencia, reflejando que los encuestados pueden priorizar la comunicación y la conciencia sobre otros aspectos técnicos.

Uso de energías renovables (3.5%): Esta opción es la menos prioritaria, lo que puede indicar que, aunque es un tema relevante, no es visto como una necesidad inmediata por la comunidad.

10. ¿Qué fuente de innovación considera más relevante para la PTAR?

Gráfico N° 21. Innovación más relevante para la PTAR



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Nuevas tecnologías en tratamiento de aguas (45.3%): Esta opción es la más destacada, indicando que la comunidad considera que la adopción de nuevas tecnologías es crucial para mejorar la eficiencia y efectividad de la PTAR.

Experiencias de otras comunidades (26.7%): Este enfoque también es significativo, sugiriendo que aprender de las prácticas exitosas de otras comunidades puede ofrecer valiosas lecciones y estrategias aplicables.

Investigaciones académicas (18.6%): Aunque importante, esta opción tiene menos apoyo, lo que puede indicar que la comunidad prefiere soluciones más prácticas y aplicadas en lugar de enfoques teóricos.

Propuestas de la comunidad (9.4%): Esta fue la opción menos elegida, lo que sugiere que, aunque las ideas de la comunidad son valoradas, podrían no ser vistas como la principal fuente de innovación.

CAPÍTULO III

PROPUESTA

3.1. Título

Mejoramiento de la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Redención Pampa (Mojocoya) y Zudáñez, basados en los hallazgos técnicos y sociales

3.2. Introducción

La eficiencia operativa de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es crucial para garantizar la calidad del agua tratada y minimizar el impacto ambiental. Los resultados recientes de la evaluación de nuestras PTAR han revelado áreas críticas que requieren atención y mejora.

- En primer lugar, las Condiciones Básicas de Operación (CBO) se ven comprometidas por una documentación técnica específica (DTE) que no se encuentra actualizada, lo que dificulta la correcta implementación de procesos y el cumplimiento de estándares operativos.
- Además, el Tratamiento de Lodos Generados (TLG) se ha identificado como inadecuado, lo que no solo afecta la eficiencia en la gestión de los lodos, sino que también puede generar problemas en la disposición final y en la calidad del agua tratada.
- Por último, la retención de Sólidos Totales Suspendidos (SST) es insuficiente, lo que impacta negativamente en el pre-tratamiento y en la eficiencia global del sistema

En ese marco, se propone:

Para el CBO: Mejorar las condiciones básicas de Operación y Mantenimiento, principalmente en la gestión del personal operativo y la documentación técnica existente en la planta, por tanto, se requiere que el GAM asuma acciones para adecuar y mejorar dichas condiciones.

Para el TLG: Mejorar, ampliar o implementar una línea técnicamente adecuada para el tratamiento, manejo y/o disposición ambiental de lodos.

Para los SST: Mejorar el diseño de los desarenadores para maximizar la eliminación de arena y otros sólidos pesados o modificar el tiempo de retención hidráulica (TRH) y la velocidad del flujo para maximizar la sedimentación.

3.3. Justificación

Ante los hallazgos de deficientes Condiciones Básicas de Operación (CBO), inadecuado Tratamiento de Lodos Generados (TLG) e insuficiente retención de Sólidos Totales Suspendidos (SST) es, es imperativo implementar mejoras que aborden cada una de estas áreas.

- La actualización de la Documentación Técnica Específica, permitirá al personal operar de manera más efectiva y alineada con las mejores prácticas.
- Mejorar el tratamiento de lodos garantizará un manejo adecuado de los residuos, reduciendo el riesgo de contaminación.
- Finalmente, optimizar la retención de SST es esencial para asegurar un pre-tratamiento eficaz y, en consecuencia, la calidad del agua tratada.

Estas mejoras no solo contribuirán a la eficiencia operativa de las PTAR, sino que también fortalecerán la sostenibilidad ambiental y la confianza de las comunidades en la gestión de sus recursos hídricos.

Por lo tanto, es fundamental adoptar un enfoque integral que contemple estas acciones para lograr una operación más eficiente y efectiva de la planta.

3.4. Objetivos

- Revisar y actualizar la Documentación Técnica Específica para reflejar las mejores prácticas y condiciones actuales de operación, garantizando que las Condiciones Básicas de Operación (CBO) sean efectivas y accesibles para el personal.
- Diseñar e implementar una mejora para el tratamiento de lodos, incluyendo nuevas tecnologías y procesos que optimicen la deshidratación y disposición final de los lodos generados.

- Evaluar y optimizar el sistema de pre-tratamiento para mejorar la retención de Sólidos Totales Suspendidos, asegurando que se cumplan los estándares de calidad en el agua tratada y se maximice la eficiencia operativa.

3.5. Mejoras a las Condiciones Básicas de Operación (CBO)

La gestión operativa de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) implica la participación de diversos actores, cada uno con roles cruciales para garantizar el buen funcionamiento de la planta y el cumplimiento de sus objetivos (Spena, 2016).

3.5.1. Actores Claves del Sector Saneamiento Básico

La gestión operativa de una PTAR es un esfuerzo colaborativo que requiere la interacción y el compromiso de múltiples actores. Cada uno de ellos aporta su experiencia y perspectiva, lo que permite no solo un tratamiento eficiente de las aguas residuales, sino también la promoción de prácticas sostenibles y la protección del medio ambiente.

La coordinación y comunicación entre todos los involucrados son esenciales para el éxito de la planta y el bienestar de la comunidad (MMAyA, 2021, p. 54-58).

A continuación, se describen los actores más importantes y su relevancia.

Imagen N° 13. Actores del sector del agua en Bolivia y competencias.



Fuente: AAPS, 2022.

Así el desarrollo comunitario (DESCOM) en torno a una PTAR es esencial para garantizar su éxito y sostenibilidad. Al involucrar a la comunidad en el proceso, se logra no solo una mejor aceptación del proyecto, sino también un mayor sentido de pertenencia y responsabilidad compartida hacia el medio ambiente y la salud pública. Esto resulta en un impacto positivo tanto para la planta como para los habitantes de la zona.

3.5.2. Implementación del DESCOM-FI

El Desarrollo Comunitario, DESCOM-FI, es la estrategia social centrada en la gente, que promueve la participación social en todas las actividades del proyecto, para mejorar sus condiciones de vida, según su contexto socio-cultural, económico y ambiental, coadyuvando a la sostenibilidad de las inversiones, en base a la sinergia de las capacidades locales y sectoriales, que permiten impactar en la salud y la preservación del medio ambiente.

Bajo estas circunstancias, es de trascendental importancia la implementación del Desarrollo Comunitario y Fortalecimiento Institucional (DESCOM-FI), que permita lograr una efectiva participación de las familias beneficiarias y el fortalecimiento institucional de los GAM's, bajo un modelo de gestión en consideración a la normativa administrativa, técnica y legal vigente que integre ambos servicios.

La presente propuesta, toma la estrategia del DESCOM-FI compatibilizado tanto para la PTAR de Zudáñez y Mojocoya (Redención Pampa), considerando que ambos presentan indicadores bajos de NO cumplen con los estándares de rendimiento, en cuanto a condiciones básicas de operación, tratamiento de Lodos Generados y retención de sólidos totales.

3.5.2.1. Objetivos del DESCOM-FI

Fortalecer las capacidades y destrezas de los operadores en la administración, operación y mantenimiento de la PTAR, brindándoles elementos teóricos y prácticos para una adecuada Operación y Mantenimiento.

Establecer bases de sostenibilidad para la correcta administración, operación y mantenimiento de la PTAR, a través de la generación de una tasa del servicio de alcantarillado.

Implementar procesos participativos, inclusivos, equitativos y de forma transparente junto a los diferentes actores involucrados, incorporando criterios de igualdad de género, generacionales y de interculturalidad.

3.5.2.2. Fortalecer las Capacidades Operación y Mantenimiento de la PTAR

Fortalecer las capacidades de operación y mantenimiento de una PTAR es fundamental para garantizar su eficiencia, sostenibilidad y cumplimiento de regulaciones. Al invertir en la formación del personal y en la optimización de procesos, se logra no solo mejorar el rendimiento de la planta, sino también fomentar un entorno de trabajo seguro y colaborativo, contribuyendo al bienestar de la comunidad y al cuidado del medio ambiente.

A continuación, se describen los aspectos clave de este fortalecimiento:

a) Capacitación del Personal

Formación Técnica: Proporcionar cursos y talleres sobre operación de equipos, procesos de tratamiento y manejo de productos químicos. Esto incluye formación en tecnologías específicas utilizadas en la PTAR.

Desarrollo de Habilidades Blandas: Incluir capacitación en liderazgo, trabajo en equipo y comunicación, que son esenciales para una buena gestión operativa.

b) Procedimientos Operativos Estándar

Documentación de Procesos: Establecer y documentar procedimientos para cada aspecto de la operación y mantenimiento. Esto incluye protocolos de arranque, funcionamiento normal y procedimientos de emergencia.

Manual de Operación: Crear un manual que sirva como referencia para el personal, asegurando que todos sigan las mejores prácticas.

c) Mantenimiento Preventivo y Correctivo

Programación de Mantenimiento: Implementar un sistema de mantenimiento preventivo que incluya revisiones regulares y ajustes de equipos para evitar fallos.

Capacitación en Mantenimiento: Entrenar al personal en técnicas de mantenimiento correctivo para que puedan abordar problemas de manera rápida y efectiva.

d) Monitoreo y Control

Instrumentación y Tecnología: Capacitar al personal en el uso de sistemas de monitoreo y control. Esto incluye el entendimiento de sensores, sistemas SCADA y análisis de datos.

Análisis de Rendimiento: Enseñar al personal a interpretar los datos de rendimiento de la planta para identificar áreas de mejora y optimización.

e) Gestión de Recursos

Optimización del Consumo: Capacitar en la gestión eficiente de recursos, como energía y productos químicos, para reducir costos operativos y minimizar el impacto ambiental.

Planificación Financiera: Formar al personal en la elaboración de presupuestos y gestión financiera para asegurar la sostenibilidad económica de la PTAR.

f) Seguridad y Salud Ocupacional

Protocolos de Seguridad: Capacitar al personal en prácticas de seguridad para proteger su salud y bienestar al trabajar con sustancias químicas y equipos pesados.

Prevención de Riesgos: Implementar programas de prevención de riesgos laborales y de emergencia.

g) Mejora Continua

Evaluación y Retroalimentación: Establecer mecanismos para evaluar continuamente el desempeño del personal y la eficacia de los procesos, promoviendo una cultura de mejora continua.

Innovación: Fomentar la búsqueda de nuevas tecnologías y prácticas que mejoren la eficiencia y la sostenibilidad de la operación.

3.5.2.3. Plan de Sostenibilidad/ Metodología de la Inversión

Un plan de sostenibilidad y una metodología de inversión para una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) son esenciales para asegurar que la planta no solo funcione de manera eficiente, sino que también contribuya al bienestar social y ambiental a largo plazo.

A continuación, se describe un enfoque estructurado para desarrollar este plan:

a) Análisis de Costos y Beneficios

Evaluación Financiera: Realizar un análisis costo-beneficio para determinar la viabilidad económica de las inversiones propuestas.

Estimación de Ahorros: Considerar ahorros a largo plazo derivados de la eficiencia operativa y la reducción de costos de energía y mantenimiento.

b) Fuentes de Financiamiento

Fondos Gubernamentales: Explorar subvenciones y financiamiento de programas gubernamentales destinados a la mejora de infraestructuras ambientales.

Inversiones Privadas: Considerar asociaciones con el sector privado que puedan aportar capital y experiencia en el desarrollo de proyectos sostenibles.

Préstamos y Bonos Ambientales: Investigar opciones de financiamiento a través de préstamos de instituciones financieras o emisión de bonos verdes.

c) Planificación Financiera

Elaboración de un Presupuesto: Desarrollar un presupuesto detallado que contemple las inversiones necesarias, el mantenimiento y la operación a largo plazo.

Priorización de Proyectos: Clasificar las inversiones según su impacto, costo y tiempo de retorno, priorizando aquellas que ofrezcan los mayores beneficios.

d) Implementación y Seguimiento

Cronograma de Inversiones: Establecer un cronograma claro para la implementación de cada fase del proyecto de inversión.

Monitoreo de Resultados: Evaluar el impacto de las inversiones en términos de eficiencia operativa, ahorros y cumplimiento de objetivos de sostenibilidad.

3.5.2.4. Sensibilización Hacia la Protección del Medio Ambiente y la Salud

Un plan de sensibilización hacia la protección del medio ambiente y la salud en el contexto de la operación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es fundamental para involucrar a la comunidad y fomentar comportamientos responsables, destacando importantes aspectos para desarrollar este plan:

a) Definición de los objetivos del Plan

Concienciar a la comunidad sobre la importancia del tratamiento de aguas residuales y su impacto en la salud y el medio ambiente.

Fomentar prácticas sostenibles entre los ciudadanos, promoviendo el cuidado del agua y la reducción de contaminantes.

Establecer un diálogo abierto entre la PTAR y la comunidad para abordar preocupaciones y promover la colaboración.

b) Identificación del público objetivo

Comunidad Local: Comunidades próximas a la PTAR y grupos de interés.

Instituciones: GAM, Bancos, mercados, instituciones privadas.

Escuelas y Universidades: Estudiantes y educadores que pueden actuar como multiplicadores de información.

Organizaciones No Gubernamentales (ONG): Grupos que trabajan en temas ambientales y de salud.

c) Estrategias de Comunicación

Charlas y Talleres: Organizar eventos educativos donde se explique el proceso de tratamiento de aguas, su importancia y los beneficios para la salud pública.

Materiales Visuales: Crear folletos, carteles y videos informativos que resalten la importancia del tratamiento de aguas y la protección del medio ambiente.

Redes Sociales y Medios Locales: Utilizar plataformas digitales y medios comunitarios para difundir información y mantener a la comunidad actualizada sobre las actividades de la PTAR.

d) Actividades de Sensibilización

Días de Puertas Abiertas: Invitar a la comunidad a visitar la PTAR para conocer su funcionamiento y sus beneficios. Esto puede incluir recorridos guiados y sesiones de preguntas y respuestas.

Proyectos Escolares: Colaborar con escuelas para desarrollar proyectos sobre el ciclo del agua, la importancia del tratamiento de aguas y la conservación del medio ambiente.

Campañas de Limpieza: Organizar jornadas de limpieza en ríos, lagos y áreas verdes cercanas, promoviendo el cuidado del entorno natural.

e) Incentivos a la Participación

Reconocimientos y Certificados: Ofrecer reconocimientos a grupos comunitarios y escolares que participen activamente en las actividades de sensibilización.

Concursos: Organizar concursos de arte, fotografía o ensayos sobre la importancia del agua y la salud, incentivando la creatividad y el compromiso.

f) Monitoreo y Evaluación

Encuestas de Satisfacción: Realizar encuestas antes y después de las actividades para evaluar el nivel de conocimiento y sensibilización de la comunidad.

Indicadores de Participación: Medir la asistencia a eventos, la distribución de materiales informativos y la participación en actividades comunitarias.

g) Establecimiento de Canales de Comunicación

Líneas Directas: Crear un canal de comunicación donde la comunidad pueda expresar sus preocupaciones, sugerencias o preguntas sobre la operación de la PTAR.

Asambleas Comunitarias: Organizar reuniones periódicas para mantener a la comunidad informada sobre el funcionamiento de la PTAR y escuchar sus inquietudes.

3.6. Mejoras al Tratamiento de Lodos Generados

El indicador referente al tratamiento de lodos generados en las PTAR de Zudáñez como la PTAR de Mojocoya (Redención Pampa), denota un inadecuado manejo y gestión. Situación que motiva a plantear una propuesta para que el GAM, mejore y/o implemente una línea técnicamente adecuada para el tratamiento, manejo y/o disposición ambiental de lodos.

3.6.1. Tecnologías de Tratamiento

Los lodos en exceso que se generan en las PTAR deben someterse a una serie de tratamientos para: reducir su volumen, minimizar el riesgo de putrefacción, facilitar su transporte y minimizar los riesgos sanitarios durante su manejo y reúso.

Cuadro 35. Estabilización de los lodos en las líneas de tratamiento.

PTAR	Líneas de tratamiento de aguas residuales	Lodos estabilizados		* Líneas de tratamiento		
		SÍ	NO	Esp	Est	Des
Zudáñez	Tanques Imhoff + Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA) + Lagunas Facultativas.	Si		No	No	Si

PTAR	Líneas de tratamiento de aguas residuales	Lodos estabilizados		* Líneas de tratamiento		
		SÍ	NO	Esp	Est	Des
Redención Pampa (Mojocoya)	Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA) + Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA) + Humedales de flujo subsuperficial.	Si		No	No	Si

Fuente. MMAyA, 2021.

* Líneas de tratamiento de lodos: Espesamiento (Esp), Estabilización (Est) y Deshidratación (Des).

Cuanto mayor sea la eficiencia de estos tratamientos, menores serán los costos de transporte y disposición final de los lodos, por ejemplo:

- Para reducir el volumen de los lodos se recurre al espesamiento de los mismos.
- Para minimizar los riesgos de putrefacción los lodos se someten a procesos de estabilización, que pueden transcurrir, principalmente, tanto vía aerobia, como anaerobia.
- La deshidratación de los lodos permite que estos adquieran una textura que facilite su manejo y transporte. Generalmente, antes de la etapa de deshidratación de los lodos se recurre a su acondicionamiento, al objeto de facilitar su secado.

En el ámbito de la presente propuesta, se han seleccionado los siguientes tratamientos de lodos:

- Espesamiento por gravedad.
- Estabilización con cal.
- Deshidratación: Lechos de Secado y Humedales Artificiales.

3.6.1.1. Espesamiento por gravedad

Un espesador por gravedad es recomendable por su mayor simplicidad y menores costos de operación y mantenimiento, opera de forma similar a un sedimentador primario. La

alimentación de lodos se efectúa de abajo hacia arriba, por la parte central del espesador, descargando en una campana, que sirve como zona de tranquilización y como sistema de reparto.

Imagen N° 14. Espesador por gravedad estático



Fuente. MMAyA, 2021.

Los sólidos van sedimentando en el fondo del espesador y se compactan para concentrarse, inducidos por la fuerza de la gravedad. El agua sobrenadante se recoge desde la parte superior del espesador, mediante un vertedero perimetral, y se envía a la Línea de Agua para su tratamiento.

Los espesadores por gravedad se emplean para el espesamiento de lodos procedentes de tratamientos primarios, lodos procedentes de procesos de biopelícula (Filtros Percoladores, CBR) y lodos mixtos.

a) Características de los espesadores por gravedad

El rendimiento que se logra en un proceso de espesamiento se puede medir en función de la concentración obtenida en el lodo, o como la relación existente entre los sólidos que escapan en el sobrenadante y los sólidos totales que se introducen al espesador. Un espesador bien operado presenta valores de recuperación de sólidos del orden del 95%.

Las concentraciones de lodos que se alcanzan en los espesadores por gravedad, en función del origen de estos lodos, se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 36. Valores recomendados de la carga de sólidos en función del tipo de lodos

Tipo de lodo	Concentración del lodo (%)	Concentración esperada tras el espesamiento (%)	Carga de sólidos (kg/m ² /d)
Primarios	2 - 7	5 - 10	100 - 145
Aireación Extendida	0,2 - 1,5	2 - 3	25 - 30
Filtros Percoladores	1 - 4	3 - 6	35 - 50
Primarios + Filtros Percoladores	2 - 6	4 - 9	55 - 100

Fuente. Elaboración propia en base a (Sobrados, 2018).

Cuadro 37. Ventajas y desventajas de los espesadores por gravedad

Ventajas	Desventajas
Bajo o nulo consumo de energía, según se empleen espesadores por gravedad dinámicos o estáticos.	Los sobrenadantes presentan una elevada carga orgánica, por lo que la Línea de Agua debe dimensionarse con la capacidad suficiente para poder absorberlos sin alterar su funcionamiento.
Simplicidad operativa, en comparación con los sistemas mecánicos de espesamiento de lodos.	Posible generación de olores desagradables, por lo que se aconseja cubrirlos.
Bajos requisitos de superficie, aunque mayores que los de los espesadores mecánicos.	

Fuente. Elaboración propia en base a (MMAyA, 2021).

b) Dimensionamiento

Para el dimensionamiento de los espesadores por gravedad se emplean los siguientes parámetros:

- Carga de sólidos
- Carga hidráulica (o velocidad ascensional)

- Altura útil del espesador
- Tiempo de retención hidráulica (TRH)

La **carga de sólidos** constituye el parámetro crítico en el dimensionamiento de un espesador por gravedad y viene dada por la expresión:

$$Cs = \frac{Ql * X}{S}$$

Donde:

Cs: Carga de sólidos (kg/m/d).

Ql: Caudal de lodos a espesar (m²/d).

X: Concentración de los lodos a espesar (kg/m³).

S: Superficie de la sección del espesador (m²).

El **tiempo de retención hidráulica** (TRH) con el que trabajan los espesadores por gravedad, viene definido por:

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

Donde:

TRH: tiempo de retención hidráulica (h)

V: volumen útil del espesador por gravedad (m³)

Ql: Caudal de lodos a espesar (m²/d).

En lodos no estabilizados es necesario asegurar que el TRH no supera las 10 horas, para evitar que se originen condiciones de anaerobiosis (Sobrados, 2018).

Otro aspecto importante a considerar, en el dimensionamiento de los espesadores por gravedad, es el hecho de que los sobrenadantes presentan una carga orgánica muy elevada, que puede suponer hasta el 20% de la carga total afluyente a la PTAR, por lo que hay que tener en cuenta esta carga a la hora del diseño de la Línea de Agua, aconsejándose que la incorporación de estos sobrenadantes al tratamiento se lleve a cabo de forma uniforme a lo largo del tiempo.

Finalmente, debe controlarse el tiempo de retención de sólidos (TRS), que está relacionado con la cantidad de lodos espesados que se extraen directamente del espesador y con la concentración de los mismos, y que se determina mediante la expresión:

$$TRS = \frac{V * X_e}{Q_{le} * X_{le}}$$

Donde:

TRS: Tiempo de retención de sólidos (TRS) (h)

V: Volumen útil del espesador (m³)

X_e: Concentración de los lodos en el espesador (kg/m)

Q_{le}: Caudal de lodos extraídos (m/h)

X_{le}: Concentración de los lodos espesados extraídos (kg/m³)

Este tiempo de retención de sólidos puede variar de 1 a 2 días para un lodo primario, dependiendo de la temperatura. En el caso de lodos mixtos, este rango oscila entre 18-30 horas (de acuerdo con la temperatura). Altos tiempos de retención pueden dar lugar a condiciones anaerobias en el espesador y, por tanto, a la disminución de la calidad, tanto del lodo espesado como del sobrenadante.

c) Los elementos de entrada y salida

- La alimentación a los espesadores se efectúa de abajo hacia arriba, por su parte central, descargando los lodos en una campana, que sirve como sistema de reparto y zona de tranquilización. La altura de esta campana no debe perturbar la zona de compactación de lodos.
- El agua sobrenadante se recoge desde la parte superior del espesador mediante el uso de un vertedero perimetral, provisto de deflector (hundido en el agua unos 20 cm), conduciéndose a la Línea de Agua para su tratamiento.
- La extracción de lodos desde la poceta central puede realizarse por gravedad (mediante válvulas), o por aspiración directa mediante bombas.
- Los lodos espesados pueden bombearse por métodos similares a los del agua.

- Aunque se prevea una extracción de lodos espesados en continuo, el espesador debe contar con la posibilidad de que esta extracción se haga de forma temporizada y, a ser posible, que se pueda realizar a diferentes alturas.

d) El mecanismo de limpieza del fondo en los espesadores dinámicos

- Suele estar constituido por un mecanismo giratorio de accionamiento central, dotado de doble brazo diametral.
- Es aconsejable instalar un sistema automático de elevación de las rasquetas, lo que es muy útil en la puesta en marcha del espesador y, sobre todo, después de paradas prolongadas.

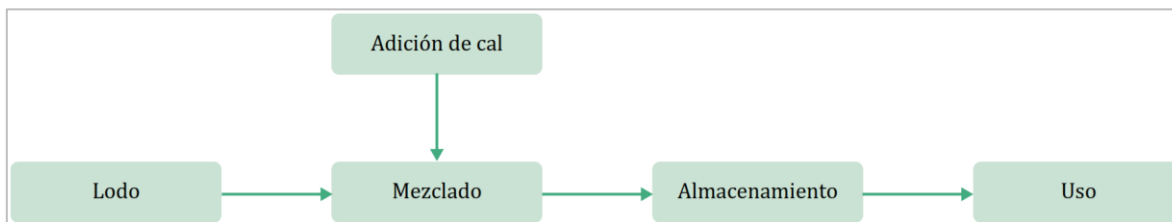
3.6.1.2. Estabilización con Cal

La estabilización de los lodos en exceso, que se generan en los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales urbanas, tiene como objetivo básico disminuir la componente orgánica o inactivar los mimos, con el fin de minimizar el riesgo de que se originen procesos de putrefacción. De manera habitual, se considera que un lodo se encuentra suficientemente estabilizado cuando ha alcanzado un porcentaje de reducción de sólidos totales volátiles de, al menos, un 38% (Sobrados, 2018).

La estabilización de lodos mediante la adición de cal se basa en el incremento del pH para inactivar, tanto a los procesos biológicos que generan malos olores, como a los organismos patógenos presentes. El grado que se logra de estabilización de los lodos depende del valor de pH alcanzado, durante un periodo de tiempo suficiente, para asegurar la inactivación de los microorganismos presentes.

Su principal campo de aplicación se encuentra en la estabilización de lodos primarios generados en las pequeñas PTAR (AAPS, 2022).

Imagen N° 15. Esquema de estabilización de lodos mediante la adición de cal.



Fuente. (MMAY, 2021).

a) Dimensionamiento

Se consideran los siguientes aspectos:

- pH y tiempo de contacto: datos experimentales indican que es preciso mantener valores de pH superiores a 12, durante al menos dos horas. Dado que el pH tiende a disminuir a lo largo del proceso de estabilización, se hace necesario alcanzar valores iniciales como mínimo de 12,5, para que en treinta minutos el pH no descienda por debajo del valor requerido (para asegurar la eliminación de patógenos).
- De forma general, con dosis de 0,28 kg de CaO/kg de sólidos en los lodos, se obtienen valores estables de pH de 12,5.

Entre las principales ventajas, son:

- Bajo costo de instalación, que la hacen compatible con las PTAR de pequeño tamaño.
- Fiabilidad en lo referente a la eliminación de patógenos y olores. A pH 12 se alcanzan rendimientos de eliminación de *E. coli* del 99% y suficientes para que la *Salmonella* no sea detectable. Por encima de 12,5 de pH durante dos horas se logran eliminaciones del 99,99% de *E. coli*.
- Esta destrucción, o inhibición de los microorganismos presentes en los lodos, evita la generación de malos olores, al impedir las reacciones de descomposición biológica.
- La adición de cal mejora la sedimentabilidad y el secado de los lodos y, es por ello, que también se emplea en el acondicionamiento de los lodos, previo a su deshidratación.
- Reduce la concentración de la materia orgánica presente en los lodos: dependiendo de la dosis de cal empleada, esta reducción oscila entre el 10-35%.

La principal desventaja, radica en:

- El aumento de la cantidad de lodo que se genera en la PTAR, y que llega a suponer hasta un 20% (como materia seca) de incremento, repercute negativamente en los costos del transporte de los lodos estabilizados.

3.6.1.3. Deshidratación

Para reducir la cantidad de agua presente en los lodos, se distinguen básicamente dos alternativas de deshidratación:

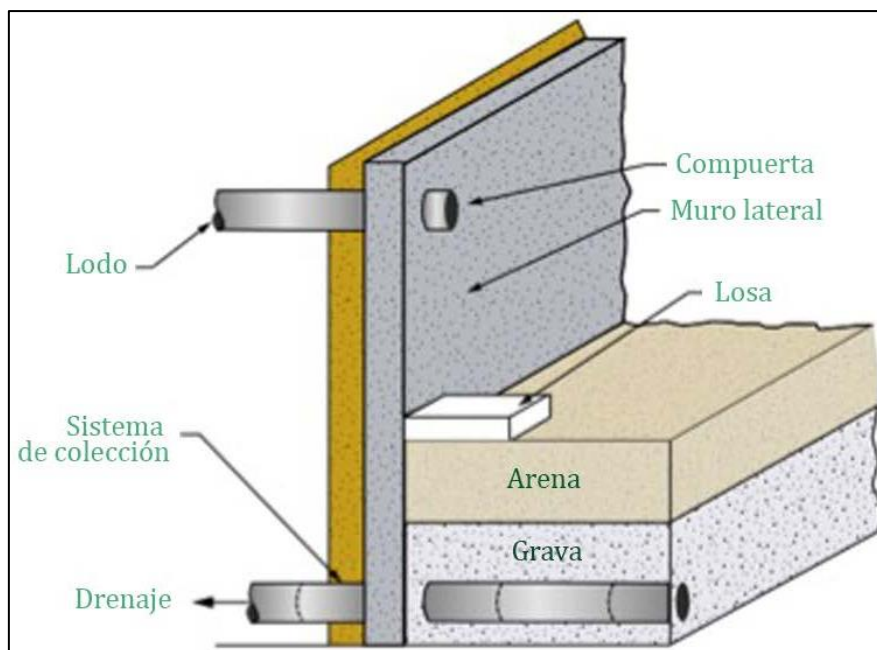
- El secado mecánico, se lleva a cabo mediante procesos físicos de centrifugación o filtración, recurriendo principalmente al empleo de Centrifugas y Filtros Banda.
- En el caso del secado natural, son el sol y el viento los agentes que juegan el papel principal en la deshidratación de los lodos, recurriéndose principalmente al empleo de Lechos de Secado y, más recientemente, al uso de Humedales Artificiales, especialmente diseñados para la deshidratación de los lodos. Antes de proceder a la deshidratación de lodos, estos deben estar estabilizados.

En el ámbito de la presente propuesta, los costos de operación y manejo técnico, se ha seleccionado la deshidratación de lodos mediante lechos de secado, o en su defecto, mejorar su manejo y/o tratamiento de lodos.

a) Deshidratación de lodos mediante lechos de secado

Estos sistemas de deshidratación de lodos están en la línea de tratamiento de las PTAR Zudáñez y PTAR Redención Pampa (Mojocoya), siendo en ambos casos Inadecuado, según los resultados del diagnóstico, por lo que se plantea una propuesta de mejora y/u optimización de los depósitos de lodo, produciéndose un secado óptimo de la propia masa del lodo y del medio filtrante.

Imagen N° 16. Sección de un Lecho de Secado



Fuente. Elaboración propia, 2025.

Mejorar el tratamiento de lodos en un lecho de secado puede aumentar la eficiencia del proceso y reducir costos operativos. Para el presente caso, aquí algunas estrategias específicas:

- **Diseño y Configuración del Lecho**

Optimización del Diseño: Asegurarse de que el lecho tenga un diseño adecuado que facilite el drenaje y la aireación. Utilizar materiales permeables que permitan un buen flujo de aire y agua.

Uso de Capas: Implementar capas de diferentes granulometrías para mejorar la retención de agua y la aireación.

- **Control de la Humedad**

Monitoreo de Humedad: Instalar sensores de humedad para ajustar el tiempo de secado y evitar la saturación del lecho.

Riego Controlado: Implementar un sistema de riego que permita mojar ligeramente el lodo para facilitar la descomposición sin saturar el lecho.

- **Mejora de la Aireación**

Sistemas de Aireación: Incorporar sistemas de aireación forzada para aumentar la transferencia de oxígeno al lodo, acelerando el proceso de secado.

Distribución de Aire: Asegurar una distribución uniforme del aire en todo el lecho para evitar zonas de baja aireación.

- **Uso de Tecnologías de Calefacción**

Calefacción Solar: Implementar sistemas de calefacción solar para aumentar la temperatura del lodo, acelerando el proceso de secado.

Calefacción por Conducción: Utilizar elementos calefactores en el subsuelo del lecho para mejorar la evaporación del agua del lodo.

- **Mejoras en la Gestión de Lodos**

Pretratamiento: Realizar un pretratamiento (como el espesamiento y/o estabilización con cal) antes de llevar los lodos al lecho de secado para reducir el contenido de agua.

Rotación de Cargas: Implementar un sistema de rotación de lodos en el lecho para asegurar un secado uniforme y evitar la formación de costras.

- **Manejo de Residuos Secos**

Recuperación de Materiales: Fomentar la separación de materiales reciclables o reusables del lodo seco para maximizar la sostenibilidad del proceso.

Uso de Lodos Secos: Explorar la posibilidad de utilizar los lodos secos como enmienda en suelos agrícolas.

- **Monitoreo y Control de Procesos**

Sistema de Control: Implementar un sistema de control que ajuste las condiciones del lecho de secado (humedad, aireación, temperatura) en tiempo real.

Análisis de Datos: Usar software para analizar datos históricos y optimizar el proceso de secado.

- **Capacitación del Personal**

Formación Continua: Proporcionar capacitación regular al personal sobre las mejores prácticas en el manejo y tratamiento de lodos en lechos de secado.

Implementar estas estrategias puede resultar en un proceso de secado más eficiente, reduciendo el tiempo de tratamiento y mejorando la calidad del producto final.

3.6.1.4. Deshidratación mediante humedales artificiales

Los humedales artificiales, que se emplean para la deshidratación de lodos, combinan las ventajas de operación de los Lechos de Secado, con las condiciones aerobias que generan las raíces de las plantas en un Humedal Artificial para el tratamiento de agua residuales (Uggetti, 2025). De esta forma, a los fenómenos de percolación y evaporación que se dan en los Lechos de Secado, se agregan los de la transpiración de las plantas y la acción de sus raíces, las cuales crean rutas entre los lodos a secar, para permitir que el agua escape más fácilmente.

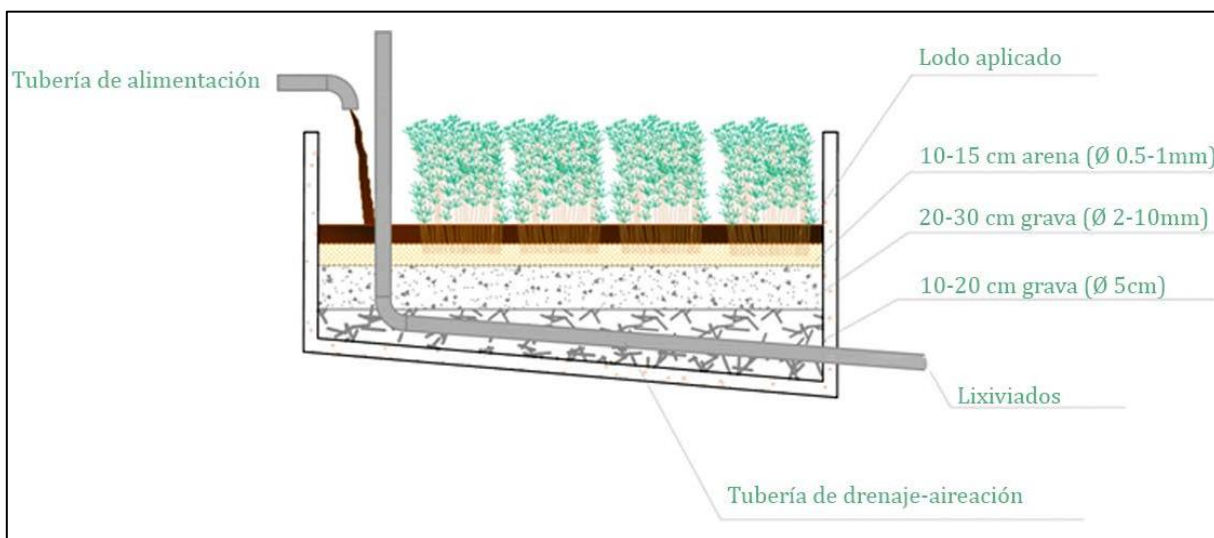
a) Principios del empleo de humedales artificiales para el secado de lodos

Los principios en que se basa el empleo de Humedales Artificiales para el secado de lodos, y que suponen ventajas con respecto a los Lechos de Secado clásicos, son:

- Los tallos, rizomas y raíces de las plantas favorecen el drenaje del agua, al crear canales en profundidad (probablemente sea el efecto más significativo).
- La acción del viento sobre la vegetación origina huecos en la superficie del lodo, por el movimiento pivotante de los tallos, que facilitan el escurrido del agua.
- La evapotranspiración se ve favorecida por la presencia de las plantas, lo que facilita el secado de los lodos.
- Las raíces de las plantas contribuyen a la transferencia de oxígeno entre las capas de grava, creando microespacios aerobios que favorecen la mineralización e higienización del lodo, lo que permite alcanzar un mayor grado de estabilización que en el caso de los Lechos de Secado.

Se precisa la construcción de varios Humedales Artificiales, que operan en alternancia, estando unos en operación y otros en reposo.

Imagen N° 17. Corte transversal de un Humedal Artificial para el secado de lodos



Fuente. Elaboración propia, 2024.

b) Dimensionamiento

Para el dimensionamiento de los Humedales Artificiales destinados al secado de lodos, se hace uso de la **carga de sólidos**, que viene definida por la expresión:

$$C_s = \frac{Q_{ld} * C_{ms}}{S}$$

Donde:

Cs: carga de sólidos (kg m.s./m/año)

Qld: caudal de lodos a deshidratar (m²/año)

Cm.s3: concentración en materia seca de los lodos (kg m.s./m³)

S: superficie de los lechos de secado (m²)

Las cargas de sólidos que habitualmente se recomiendan para el dimensionamiento de este tipo de humedales se muestran en la siguiente tabla:

Cuadro 38. Cargas de sólidos en función de la zona ecológica.

Zona ecológica	Carga de sólidos (kg m.s./m ² /año)
Altiplano	30-40
Valles	40-60
Llanos	60-80

Fuente. Guía Técnica para la Selección y Diseño de Líneas de Tratamiento de Aguas Residuales (MMAyA, 2021).

Número necesario de Lechos de Secado viene dado por la expresión:

$$N = T_{CS} - D_{nl}$$

Donde:

N: número necesario de Lechos de Secado

Tcs: duración del ciclo de secado

Dnl: número mínimo de días no laborables durante el ciclo de secado

La **superficie de cada Lecho de Secado** (S_{lecho}) sería la superficie de lecho requerida al día (S_d lecho), pero teniendo en cuenta el factor de corrección debido al número de días no laborables, de acuerdo con la expresión:

$$S_{lecho} = S_D * \frac{T_{cs}}{(D_{nl} - T_{cs})}$$

c) Ventajas y desventajas

Entre las principales ventajas del empleo de Humedales Artificiales para la deshidratación de los lodos en exceso que se generan en las PTAR, destacan:

Cuadro 39. Ventajas del empleo de humedales artificiales para la deshidratación de los lodos

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Bajos costos de construcción. • Bajos costos de mantenimiento. • Nulo o bajo consumo energético, dependiendo de que haya que bombear los lodos a deshidratar. • No se precisa la adición de reactivos. • No requieren personal cualificado. • Se alcanza un cierto grado de estabilización de los lodos. • Se generan lixiviados menos contaminantes que los Lechos de Secado. En todo caso, estos lixiviados deben ser tratados. • No se producen ruidos, si no se precisa el bombeo de lodos a deshidratar. • Buena integración paisajística. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevados requisitos de superficie, comparados con los sistemas mecánicos de deshidratación de lodos. • Sensibilidad a las condiciones meteorológicas (pluviometría, humedad, temperatura). • Necesidad de la siega periódica de la vegetación. • Posible emisión de malos olores.

Fuente. MMAyA, 2021.

d) Operación y mantenimiento

En climas fríos, se recomienda que la plantación y puesta en marcha de los humedales se lleve a cabo en la época más cálida del año.

La aplicación de los lodos sobre los humedales no debe realizarse inmediatamente después de la plantación, siendo necesario dejar un periodo de establecimiento y crecimiento de la vegetación de 1-2 meses, que vendrá condicionado por la climatología de la zona.

La aplicación de lodos a los humedales debe realizarse de forma que en ningún caso quede cubierta la vegetación.

Tras cada aplicación de lodos al humedal (de unos 7,5-10 cm de espesor), es necesario dejar un periodo de reposo antes de la siguiente aplicación. Mientras dura este periodo se alimentará otro de los humedales implantados.

La duración de los periodos de reposo varía en función del número de humedales implantados, el periodo de reposo oscila entre 2-10 días en humedales nuevos y 55-65 días en humedales maduros.

Cuando el crecimiento de la vegetación implantada dificulte el reparto uniforme de los lodos a secar sobre la superficie del humedal, debe procederse a su siega. Esta operación se realizará en época fría, cortando los tallos un poco por encima del manto de lodos.

Con las sucesivas alimentaciones, la altura de la capa de lodos del humedal se va incrementando, hasta alcanzar una cota máxima (determinada por el resguardo de seguridad). En ese momento, se detiene definitivamente la alimentación al humedal y se le deja en un periodo de reposo final, que puede llevar de 1-2 meses a 1 año, con objeto de aumentar el grado de sequedad y de mineralización de los lodos.

Una vez conseguido el grado de sequedad deseado, el lodo seco es retirado junto con la vegetación del humedal, lo que habitualmente se realiza con la ayuda de una retroexcavadora. Esta operación debe realizarse con especial cuidado, para evitar la retirada de la capa más profunda del lodo seco, en la que se encuentran los rizomas, para que la vegetación vuelva a brotar, sin llevar a cabo una nueva plantación. Los lodos, junto con la vegetación extraída, se someten a un proceso posterior de compostaje.

3.7. Mejoras en la Retención de Sólidos Totales Suspendidos

Ambas PTAR cuentan con dispositivos por el que el agua residual circula a velocidades bajas, permitiendo el depósito y retirada de las arenas en el fondo del mismo.

La operación es parte del pretratamiento de las aguas residuales, que tiene por objetivo la eliminación de materias pesadas de tamaño superior a 0,2 mm, para evitar que sedimenten en canales y conducciones y para proteger las bombas y otros elementos de la abrasión (MMAyA, 2021).

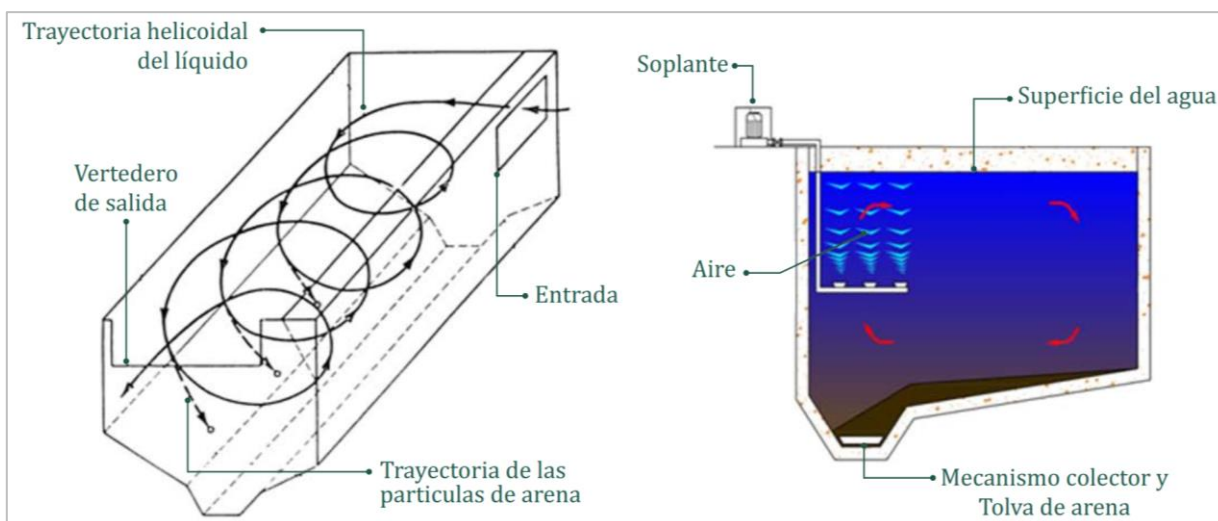
Ambas PTAR (Redención Pampa y Zudáñez) en el tratamiento de las aguas residuales urbanas, presentan desarenadores estáticos de flujo horizontal con canales de flujo constante:

en estos canales se mantiene una velocidad fija el paso del agua, en torno a 0,3 m/s, independientemente del caudal que los atraviesa (Zudáñez, 2018) y (Mojocoya, 2021). Con ello se logra que sedimente la mayor parte de las partículas de origen inorgánico y la menor parte posible de las de origen orgánico.

Para optimizar los estándares de su rendimiento en la retención de sólidos totales suspendidos que afectan la eficiencia del sistema de tratamiento, se plantea, mejorar el diseño de los desarenadores actuales para maximizar la eliminación de arena y otros sólidos pesados para maximizar la sedimentación, con la implementación de un sistema de aireación.

En esta implementación, se introduce aire por su parte inferior, al objeto de provocar un movimiento en espiral de las partículas de arena, controlado por la propia geometría del desarenador y por la cantidad suministrada de aire.

Imagen N° 18. Implementación de un sistema de aireación



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Todo ello permite reducir el contenido en materia orgánica de la arena. Las paredes inferiores de este tipo de desarenadores presentan una fuerte inclinación para facilitar la retirada de la arena acumulada.

Los difusores de aire están situados en uno de los laterales del desarenador, a una distancia de 0,5-0,9 m sobre el fondo. Para el control hidráulico del desarenador, y para mejorar la eficacia en la eliminación de arenas, se suelen usar deflectores, tanto en la entrada, como en la salida del agua (MMAyA, 2021).

La implementación de aireados presenta las siguientes ventajas:

- El agua se airea, con lo que se evita, o minimiza, la producción de olores.
- Rendimientos constantes para amplias variaciones de caudal.
- Pérdidas de carga muy pequeñas.
- Las arenas extraídas tienen un bajo contenido de materia orgánica, siempre que se controle adecuadamente el caudal de aire.
- Posibilidad de utilizarlos también como desengrasadores, cuando el contenido en grasas del agua residual, no sea excesivo.

La extracción de las arenas acumuladas en los desarenadores estáticos o aireados se lleva a cabo mediante la aplicación de bombas centrífugas, o sistemas *air-lift*. Este tipo de sistemas lo que evacuan es una mezcla arena/agua, que posteriormente se separa haciendo uso de tornillos de Arquímedes, clasificadores de arena, hidrociclones, etc.

Las aguas retiradas retornan a cabecera del tratamiento, mientras que las arenas se almacenan en un contenedor, para su posterior transporte a relleno sanitario.

Las recomendaciones para implementar un sistema de aireación, se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 40. Valores recomendados para el dimensionamiento de desarenadores aireados

Parámetro	Recomendación
Carga hidráulica a caudal máximo (m ³ /m ² /h)	≤ 70
Velocidad horizontal (m/s)	≤ 0,15
Tiempo de retención hidráulica a caudal máximo (min)	2-5
Relación longitud/ancho	3/1 - 5/1 (valor típico: 4/1)
Relación ancho/profundidad	1/1 - 5/1 (valor típico: 1,5/1)
Profundidad (m)	2-5
Suministro de aire (Nm ³ /min) por metro de longitud de canal	0,20 - 0,60 (valor típico 0,5)

Fuente. MMAyA, 2021.

3.8. Estimación de Costos

Desde el ámbito técnico, la implementación de tecnologías avanzadas para el tratamiento de lodos y un sistema de aireación, representa una inversión significativa que deben considerarse. Por otro lado, desde la perspectiva social, es fundamental involucrar a la comunidad en el proceso de mejora, lo que implica realizar campañas de sensibilización y capacitación, cuyo costo también debe ser contemplado.

Cuadro 41. Resumen de presupuesto

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo (Bs)
Mejora de las condiciones básicas de Operación y Mantenimiento			330.341,43
Personal	Global	1	104.000,0
Vehículos, alquiler y misceláneos	Global	1	79.110,00
Talleres de capacitación	Global	1	26.000,00
Material de difusión	Global	1	5.000,00
Equipo y herramientas	Global	1	49.560,00
Garantías - seguros - AFP - IVA	Global	1	32.184,40
Gastos generales y utilidades	Global	1	29.585,44
Impuesto (IT)	Global	1	9.901,59
Implementar una línea adecuada para el tratamiento de lodos			384.296,50
Deshidratación	Global	1	11.744,71
Espesamiento por gravedad	Global	1	372.551,79
Mejorar el diseño de los desarenadores			57.663,38
Implementación de un sistema de aireación	Global	1	57.663,38
Total			714.637,93

Fuente. Elaboración propia, 2024 en base al Anexo N°8.

3.9. Conclusiones

Con la implementación de actores clave del sector de saneamiento básico y DESCOM-FI, se logrará una mejora significativa en las Condiciones Básicas de Operación (CBO) de las Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de los centros poblados de Redención Pampa

(Mojocoya) y Zudáñez. Esta interacción estratégica no solo facilitará el acceso a recursos y conocimientos especializados, sino que también promoverá la integración de mejores prácticas operativas y de gestión. Al fortalecer la coordinación entre los diferentes actores involucrados, se optimizarán los procesos, se incrementará la eficiencia operativa y se garantizará un tratamiento adecuado de las aguas residuales, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y al bienestar de la comunidad.

La implementación de tecnologías avanzadas para el tratamiento de lodos, como el espesamiento por gravedad, la estabilización con cal, la deshidratación y la deshidratación mediante humedales artificiales, se anticipa una mejora significativa en la eficiencia del tratamiento de lodos en las PTAR. Estas tecnologías no solo optimizan la gestión de los lodos generados, sino que también reducen el volumen de residuos y mejoran la calidad del material tratado, facilitando su disposición final. Además, la integración de humedales artificiales como parte del proceso de deshidratación contribuye a la sostenibilidad ambiental, promoviendo la biodiversidad y el tratamiento natural de aguas.

Por último, la implementación de un sistema de aireación, optimiza el proceso de sedimentación al fomentar la agitación y distribución uniforme del agua, sino que también promueve un ambiente anaeróbico más eficiente para la actividad biológica, facilitando la descomposición de materia orgánica, mejorando la retención de SST, incrementando la calidad del efluente tratado, lo que contribuye a cumplir con los estándares ambientales y a proteger los cuerpos de agua receptores. Además, esta mejora en la eficiencia operativa puede reducir costos asociados al tratamiento y disposición de lodos, fortaleciendo la sostenibilidad económica y ambiental de la PTAR.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Se han examinado los componentes y procesos empleados en ambas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), evaluando su adecuación a las características específicas de los afluentes, permitiéndonos identificar que la eficiencia del tratamiento está intrínsecamente relacionada con el diseño y la operación de las PTAR, tal cual lo establece la Resolución Administrativa AAPS N° 300/2018, concluyendo que:

- Ambas PTAR implementan un enfoque integrado, considerando tanto los procesos biológicos como los físicos y químicos, muestran una mayor efectividad en la reducción de contaminantes, fundamental para cumplir con los estándares de calidad del efluente.

Las mediciones de calidad hídrica realizadas para comparar parámetros del afluente y efluente en ambas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), utilizando indicadores del Reglamento Ambiental en Materia de Contaminación Hídrica, a través de análisis rigurosos realizados en un laboratorio acreditado, ha permitido evaluar la eficacia de cada sistema en la remoción de contaminantes y su cumplimiento con los parámetros normativos. Cuyos resultados obtenidos demuestran que:

- Si bien ambas PTAR cumplen con los estándares mínimos requeridos por la normativa, existen diferencias significativas en su rendimiento en relación con ciertos indicadores clave, Sólidos Suspendidos Totales (SST). Esta variación subraya la importancia de considerar las características específicas de cada planta, así como las condiciones del afluente, para optimizar el tratamiento y garantizar la calidad del efluente.
- Por ende, la comparación de la calidad del efluente tratado proporciona una base sólida para proponer mejoras en el diseño y operación de las PTAR.

Para determinar el grado de aceptación social y la percepción de las comunidades sobre el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales en Mojocoya (Redención Pampa) y Zudáñez, las encuestas realizadas, denotan una percepción variable sobre las 10 preguntas donde:

- Este análisis revela una comunidad consciente de la importancia del tratamiento de aguas residuales y preocupada por sus efectos en la salud y el medio ambiente.
- Existe un fuerte deseo de recibir información y participar en la gestión de la PTAR, aunque hay resistencia a pagar más por servicios sostenibles, donde la búsqueda de financiamiento externo y la implementación de tecnologías innovadoras son vistas como estrategias clave para mejorar la sostenibilidad económica de las plantas.
- Además, se destaca la necesidad de aumentar la educación y concienciación comunitaria para fomentar un mayor compromiso y colaboración en la gestión del agua.

La investigación realizada ha proporcionado una visión integral sobre la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales, destacando tanto los hallazgos técnicos como las percepciones sociales de la comunidad. A partir de este análisis, la propuesta realizada para maximizar la eficiencia del tratamiento y minimizar la generación de subproductos indeseados, se basó en:

- Mejorar las Condiciones Básicas de Operación (CBO), que permitirá implementar un protocolo riguroso de monitoreo y control de las condiciones operativas, garantizando que todos los parámetros, se mantengan dentro de los rangos óptimos.
- Mejoras al Tratamiento de Lodos Generados, con la implementación de tecnologías, como digestión anaerobia o deshidratación mecánica, puede optimizar la gestión de los residuos, reduciendo su volumen y mejorando su valor como recurso.
- Mejoras en la Retención de Sólidos Totales Suspendidos, optimizando los sistemas de separación y sedimentación para aumentar la eficiencia en la retención de sólidos. Esto puede incluir la modificación de las estructuras de sedimentación y la implementación adicional de tecnologías de filtración y/o aireación.

RECOMENDACIONES

A partir de las evaluaciones realizadas a la eficiencia operativa de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Mojocoya (Redención Pampa) y Zudáñez, en términos de desempeño en relación a los parámetros AAPS N° 300/2018, Reglamento Ambiental en Materia de Contaminación Hídrica y la percepción socioambiental en la época de estiaje, se proponen las siguientes recomendaciones para optimizar su operación y mejorar la sostenibilidad:

Para mejorar la calidad del efluente tratado en términos de eficiencia:

- Implementar un sistema de monitoreo continuo, que permita la recolección de datos en tiempo real sobre los parámetros críticos del proceso, asegurando que se mantengan dentro de los rangos óptimos.
- Capacitar al personal operativo de forma continua sobre las mejores prácticas para el monitoreo y control de las condiciones de operación.
- Adoptar tecnologías avanzadas, como la digestión anaerobia y la deshidratación mecánica, para optimizar la gestión de los lodos.
- Modificar las estructuras de sedimentación existentes para maximizar la retención de sólidos, considerando la implementación de tecnologías de filtración y aireación.

En cuanto a la participación comunitaria:

- Implementar campañas de educación y sensibilización sobre la importancia del tratamiento de aguas residuales y su impacto en la salud pública y el medio ambiente, fomentando un mayor compromiso comunitario.
- Crear plataformas de comunicación donde la comunidad pueda expresar sus inquietudes y sugerencias sobre el funcionamiento de las PTAR, promoviendo así la transparencia y la confianza.

Referente a la sostenibilidad económica:

- Investigar y solicitar fondos o subvenciones gubernamentales e internacionales que apoyen la modernización y sostenibilidad de las PTAR.
- Formar alianzas con organizaciones no gubernamentales y académicas para desarrollar proyectos conjuntos que mejoren la infraestructura y operación de las plantas.

Respecto a la toma de muestras:

- Establecer un sistema de muestreo de agua residual y tratada de forma periódica y/o estacional en cada PTAR, mínimo 2 veces año (época de estiaje y crecida) conforme al Art. 6 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (D.S. N°24176) y las normas técnicas de la serie NB/ISO 5667-10:2021 para el muestreo de aguas

residuales y la NB/ISO 5667-6:2020 para ríos y arroyos, junto con otras normas técnicas aplicables a la calidad del agua.

Estas recomendaciones buscan no solo optimizar la operación técnica de las PTAR, sino también fortalecer la relación con la comunidad, asegurando una gestión sostenible y eficiente de los recursos hídricos en la región.

BIBLIOGRAFÍA

- AAPS. (2022). Guía para Aplicación de Herramientas e Instrumentos de Seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las PTAR en Bolivia. La paz.
- Alabaster, G. (2021). Progreso en el tratamiento de las aguas residuales. Ginebra: DS. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS).
- Anguita, J. C. (05 de 08 de 2025). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos. Obtenido de <https://www.elsevier.es/es-revista-atencion-primaria-27-articulo-la-encuesta-como-tecnica-investigacion-elaboracion-cuestionarios-13047738>
- Bernal, D. N. (2019). Tratamiento Terciario de Aguas Residuales no Domésticas Empleando A. Chloella sp y Conversión de la Biomasa Microbiana por Pirólisis Lenta.
- Constitución, P. (2009). Constitución Política del Estado Plurinacional. La Paz.
- Consultore, B. (24 de 01 de 2022). Criterios de Inclusión y Exclusión. Obtenido de <https://online-tesis.com/criterios-de-inclusion-y-exclusion/>
- Fabregat, L. A. (26 de 10 de 2017). Los métodos teóricos: una necesidad de conocimiento en la investigación científico-pedagógica. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-28742017000400021
- Garcia, M. (2016). Aguas residuales. Composición.
- Gayubas, A. (3 de 3 de 2025). Concepto. Obtenido de <https://concepto.de/tipos-de-investigacion/>
- IBNORCA. (2021). Calidad del agua – Muestreo – Parte 10: Directrices para el muestreo de aguas residuales. La Paz.
- Ley_1333. (1992). Ley de Medio Ambiente. La Paz.
- Lopera, J. D. (2014). El Método Analítico. Centro de Investigaciones Sociales y Humanas (CISH), Universidad de Antioquia.
- Mabel, V. M. (2022). Tratamiento Terciario de Aguas Residuales por Filtración e Intercambio Iónico.

- Mancilla, I. A. (10 de 2018). Manual de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales. Sucre.
- Martín, A. G. (26 de 10 de 2023). El método bibliográfico. Las técnicas bibliográficas y su evolución histórica. Obtenido de <https://revistarecension.com/2023/08/02/el-metodo-bibliografico-1-las-tecnicas-bibliograficas-y-su-evolucion-historica/>
- Mendez, D. (26 de 10 de 2010). Revision Documental. Obtenido de [https://adsucc.fandom.com/es/wiki/Revision_Documental#:~:text=\(Revisi%C3%B3n%20documental\)-,%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20revisi%C3%B3n%20documental%3F,o%20se%20pone%20en%20duda.](https://adsucc.fandom.com/es/wiki/Revision_Documental#:~:text=(Revisi%C3%B3n%20documental)-,%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20revisi%C3%B3n%20documental%3F,o%20se%20pone%20en%20duda.)
- Mendoza, D. R. (2020). Sostenibilidad e Integración Social en la Dirección de Proyectos mineros con PTAR's: Propuesta de Indicadores para Gestión.
- MMAyA. (2018). Resolución Administrativa Regulatoria AAPS N°300/2018. Guía Para Aplicación de Herramientas e Instrumentos de Seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las PTAR en Bolivia. La Paz.
- MMAyA. (2021). Guía Técnica para la Selección y Diseño de Líneas de Tratamiento de Aguas Residuales. La Paz.
- MMAyA. (2023). Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales. En M. d. Agua, Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales. La Paz.
- Mojocoya, G. (2021). Estudio de Diseño de Pre Inversión Proyecto: "Const. Sist. de Alcantarillado y Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR Redención Pampa". Mojocoya.
- Mojocoya, G. (2021). Plan Territorial de Desarrollo Integral Para Vivir Bien del Municipio de Villa Mojocoya. Mojocoya.
- OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. Lima.
- Paucar, F. (2020). Los desafíos de la reutilización de las aguas residuales en el Perú. South Sustainability. Obtenido de Universidad Científica del Sur: <https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/article/view/599>

- RAMCH. (8 de 12 de 1995). Reglamento Ambiental en Materia de Contaminación Hídrica. La Paz, Murillo, Bolivia.
- Rhoton, S. (26 de 10 de 2024). Investigación de campo. Obtenido de <https://www.significados.com/investigacion-de-campo/>
- Rojas, L. (2012). Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales hospitalarias en Xalapa, Veracruz, México. Mexico.
- Sobrados. (2018). Sistemas de espesamiento. XXVI Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras. Madrid.
- Spena, G. (2016). Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Obtenido de <https://spenagroup.com/planta-tratamiento-aguas-residuales-ptar/>
- Uggetti, E. (05 de 05 de 2025). Humedales para el tratamiento de lodos: una revisión del estado del arte. Obtenido de Tecnología de biorrecursos: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852409016095>
- UN. (25 de 08 de 2024). Avances en la implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos: actualización 2024. Obtenido de <https://www.unwater.org/publications/progress-implementation-integrated-water-resources-management-2024-update>
- UNESCO. (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. Paris: UNESCO.
- Unidas, N. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/agenda2030>
- Valdés, Y. M. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. Ingeniería Hidráulica y Ambiental.
- VAPSB. (2019). Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. La Paz.
- Yazdani, S. (2021). A Model for the Taxonomy of Research Studies.
- Zudáñez, G. (2018). Estudio de Diseño Técnico de Pre Inversión “Construcción Sistema de Alcantarillado Sanitario y PTAR Zudáñez”. Zudáñez.

Zudáñez, G. (2021). Plan Territorial de Desarrollo Integral para Vivir Bien del Municipio de Zudáñez . En G. Zudáñez, Plan Territorial de Desarrollo Integral para Vivir Bien del Municipio de Zudáñez (pág. 232). Zudáñez.

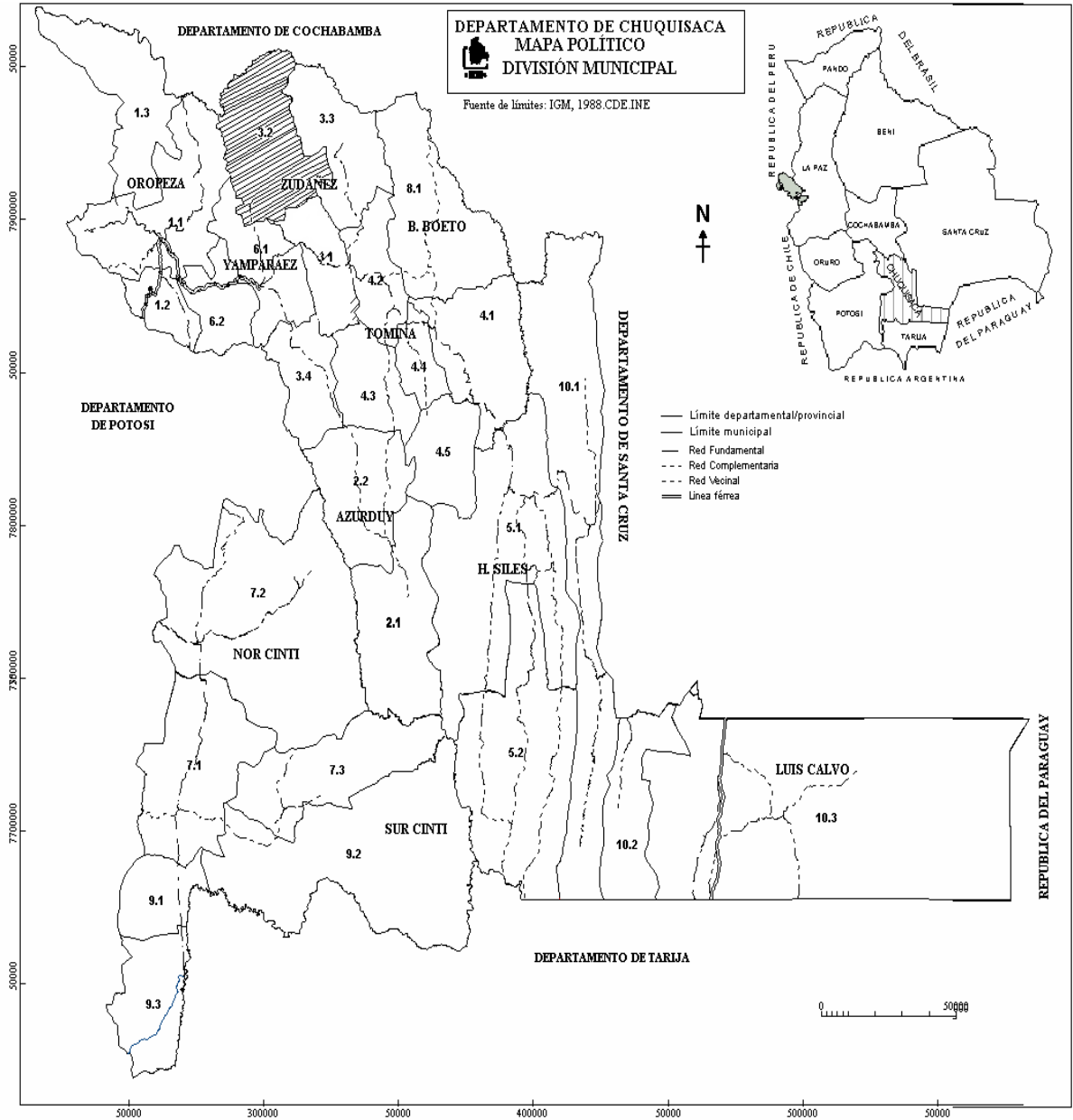
ANEXOS

ÍNDICE

ANEXO 1. UBICACIÓN.....	1
ANEXO 2. REPORTE FOTOGRÁFICO	7
ANEXO 3. PLANILLAS DE CAMPO.....	10
ANEXO 4. INDICES	18
ANEXO 5. ENSAYO DE LABORATORIO	30
ANEXO 6. HERRAMIENTAS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	34
ANEXO 7. PLAN DE TRABAJO	40
ANEXO 8. PRESUPUESTO.....	43
ANEXO 9. ENCUESTA (EVALUACIÓN DE LA PERCEPCIÓN SOCIOAMBIENTAL).....	48

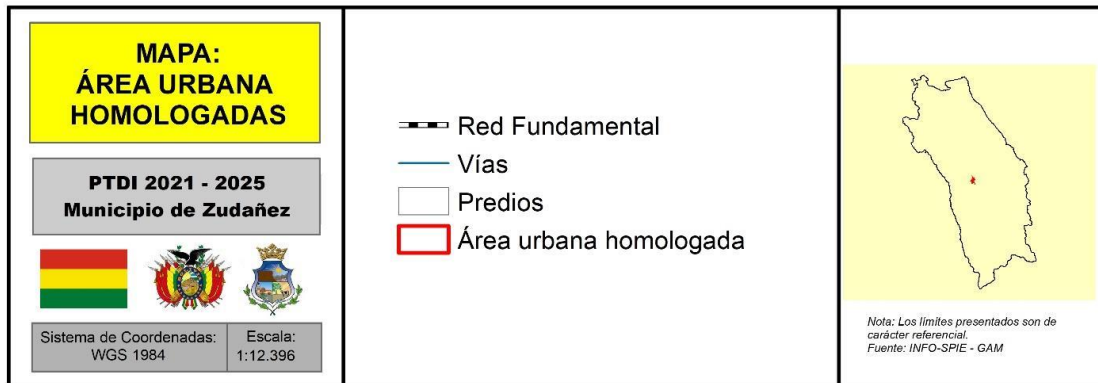
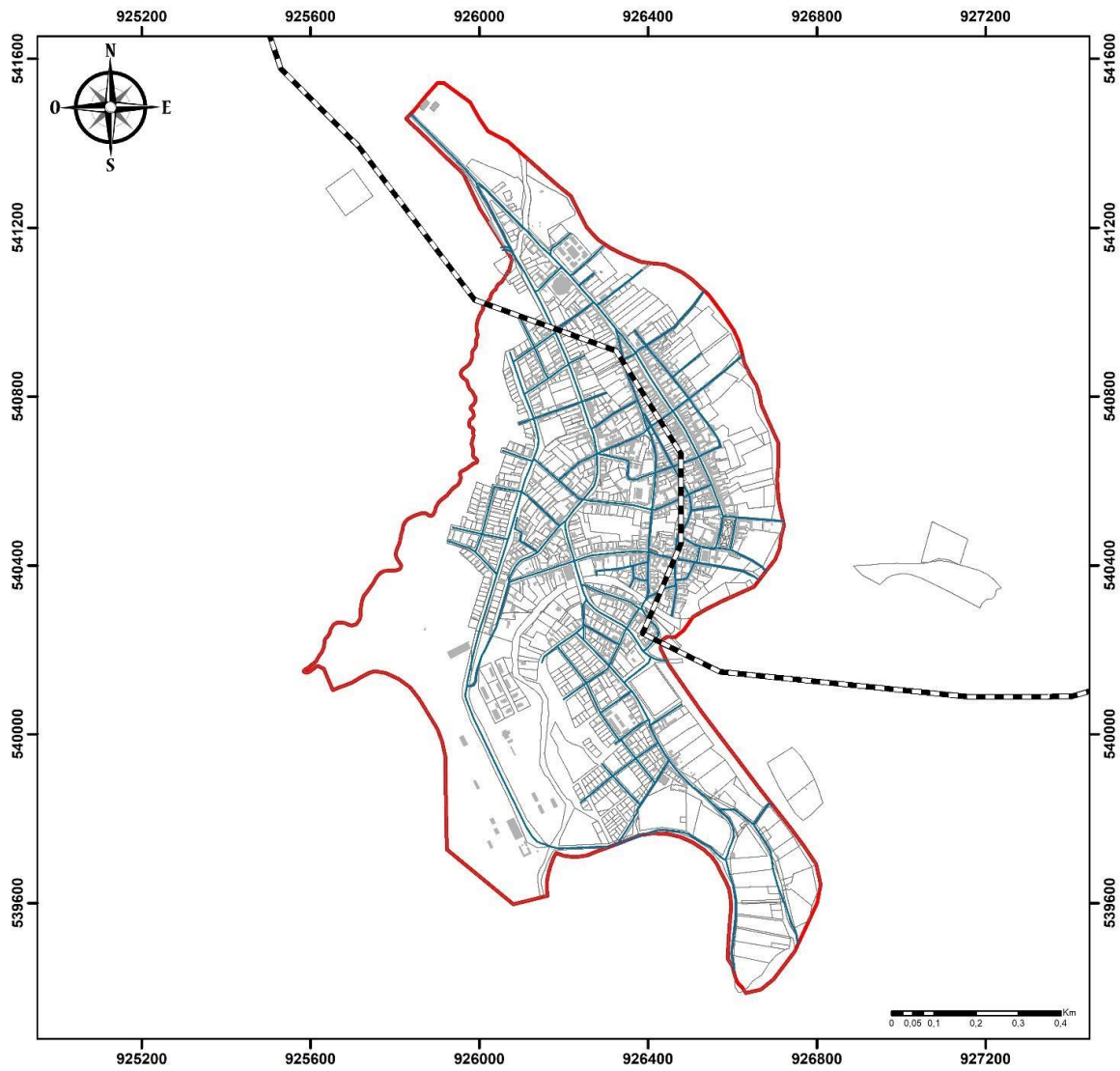
ANEXO 1. UBICACIÓN

Ubicación de la PTAR Zudáñez en el Departamento



Fuente. Zudáñez, 2021.

Ubicación del centro poblado



Fuente. Zudáñez, 2021.

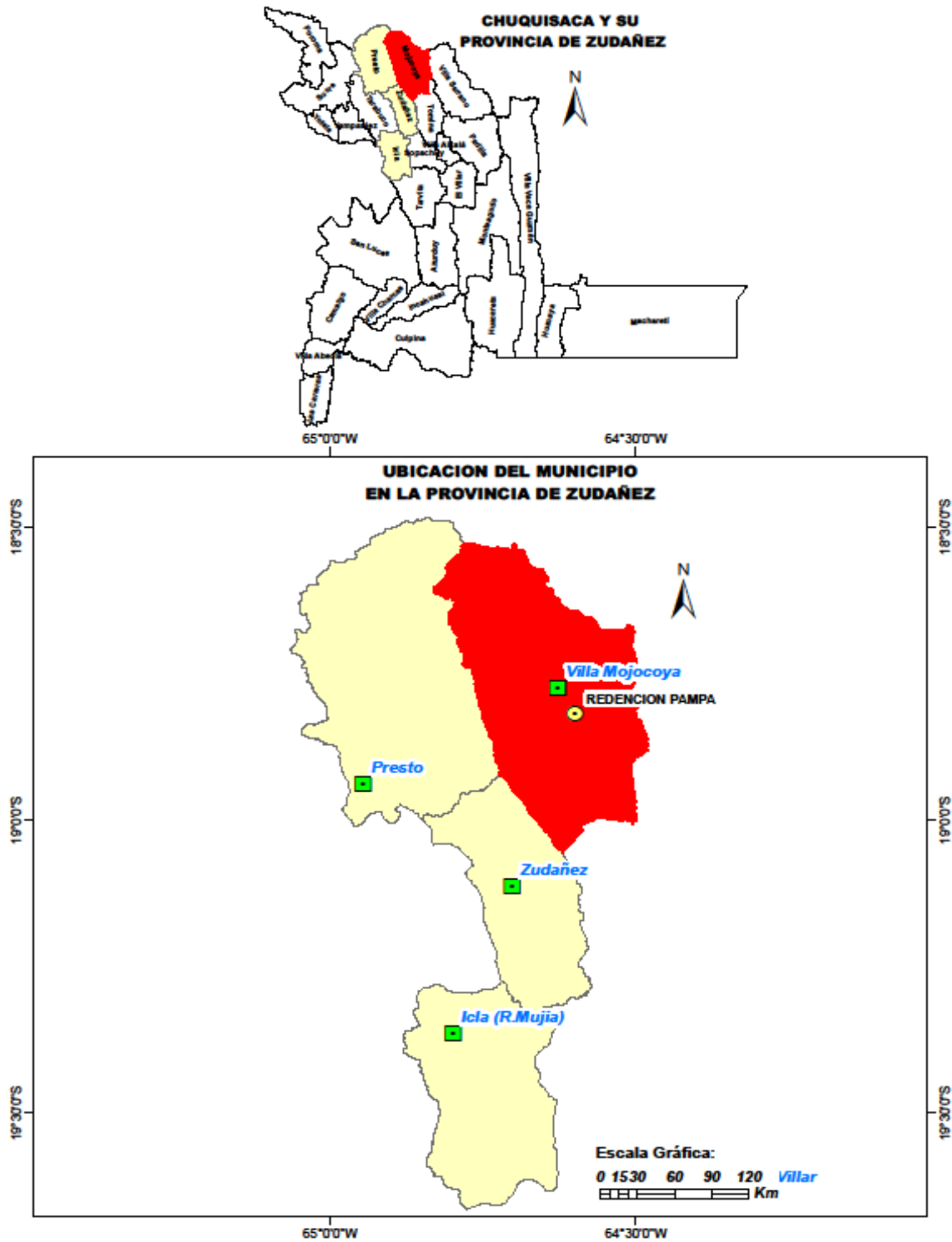
Ubicación Satelital de la PTAR Zudáñez



Fuente. Elaboración propia, 2024 en base a (Zudáñez, 2018).

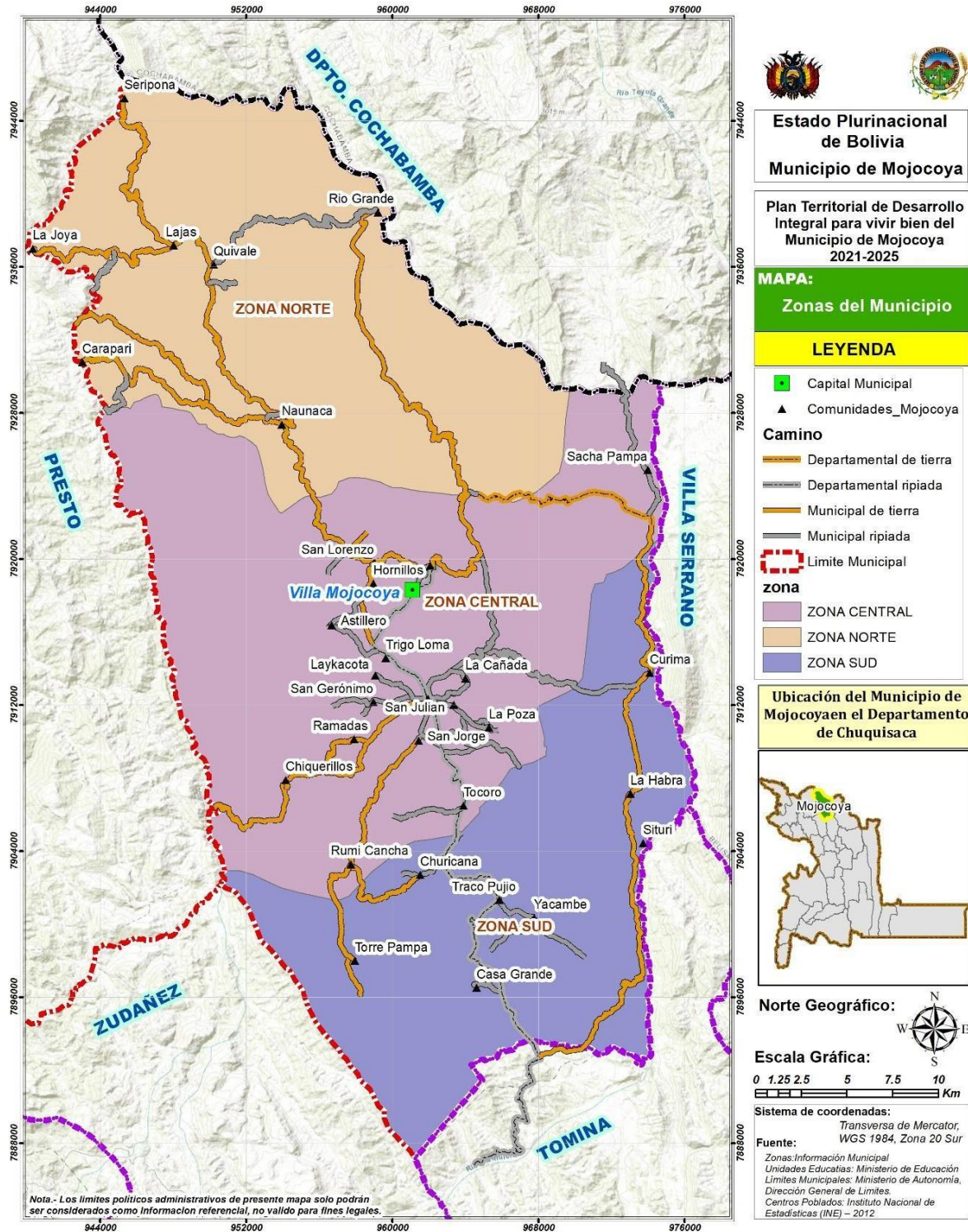
Este	Norte	Zona	Altitud
319640.41	7888102.10	20	2411

Ubicación de la PTAR Redención Pampa (Mojocoya) en el Departamento



Fuente. Elaboración propia, 2024 en base a Zudañez, 2021.

Ubicación del centro poblado Redención Pampa (Mojocoya)



Fuente. Elaboración propia, 2024 en base a Mojocoya, 2021.

Ubicación Satelital de la PTAR Redención Pampa (Mojocouya)



Fuente. Elaboración propia, 2024 en base a (Mojocouya, 2018).

Este	Norte	Zona	Altitud
333718.63	7915250.65	20	2445

ANEXO 2. REPORTE FOTOGRÁFICO

Foto N°1. Vista panorámica de la PTAR Zudáñez



Foto N°2. Caceta de control, cerco perimetral y señalética



Foto N°3. Lechos de secado de lodos



Foto N°4. Lagunas de estabilización



Foto N°5. Desarenador y paso *By Pass*



Foto N°6. Vista panorámica de la PTAR Redención Pampa (Mojocoya)



Foto N°7. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente



Variables de Desempeño y Parámetros de Control de O&M en PTAR																																								
V.a. REPORTE DIARIO DE TAREAS SUGERIDAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO																																								
No.	Descripción de la tarea: Diaria	Sistema, PTAR:																					Mes:			Año:			No. Tareas											
		Comunidad, Municipio, Localidad:																														Prog.	Ejecut.							
		Día																																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31								
TRATAMIENTO PRELIMINAR																																								
REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL																																								
1	Limpieza de rejas																																							
2	Retiro de residuos previamente escurridos																																							
REJILLAS AUTOMÁTICAS																																								
3	Verificación de carro de deslizamiento																																							
DESARENADORES																																								
4	Medición del lecho de arena																																							
CONTROL DE CAUDAL																																								
5	Verificación y control del estado de la unidad																																							
6	Medición y registro del caudal																																							
TRATAMIENTO PRIMARIO																																								
TANQUE SÉPTICO Y TANQUE IMHOFF																																								
7	Verificación y control del estado de la unidad																																							
DECANTADORES O SEDIMENTADORES																																								
8	Retiro de natas, espumas y sólidos flotantes de malla deflectora																																							
9	Limpieza del canal perimetral																																							
10	Examinación de partes móviles o componentes metálicos																																							
TRATAMIENTO SECUNDARIO O BIOLÓGICO																																								
FILTRO PERCOLADOR																																								
11	Limpieza de vertederos de distribución																																							
12	Limpieza de la superficie del lecho filtrante																																							
13	Control del nivel de agua sobre la superficie del lecho filtrante																																							
14	Control de las aberturas de los distribuidores																																							
FILTRO ANAERÓBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)																																								
15	Verificación del medio filtrante																																							
REACTOR ANAEROBIO DE LODO FLUIDIZADO (RALF)																																								
16	Limpieza de vertederos de distribución																																							
LAGUNAS ANAERÓBIAS Y/O FACULTATIVAS																																								
17	Medición de caudales																																							
18	Detecciones sensoriales (olores y colores)																																							
19	Control de niveles de agua																																							
20	Control de temperatura																																							
21	Remoción de natas y sólidos flotantes																																							
22	Disposición de desechos sólidos procedentes de la limpieza																																							

Fuente. MMAyA, 2018.

Variables de Desempeño y Parámetros de Control de O&M en PTAR																													
V. b. REPORTE SEMANAL DE TAREAS SUGERIDAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO																													
No.	Descripción de la tarea: Semanal	Sistema, PTAR:				Semestre:				Año:				No. Tareas				Prog.				Ejecut.							
		Comunidad, Municipio, Localidad:																											
		SEMANAS																											
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
TRATAMIENTO PRELIMINAR																													
REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL																													
1	Limpieza de rejilla 1er turno																												
2	Limpieza de rejilla 2do turno																												
REJILLAS AUTOMÁTICAS																													
3	Lubricación de partes móviles																												
DESARENADORES																													
4	Remoción de la arena																												
5	Estimación de volumen de arena removida																												
6	Lavado de paredes																												
CONTROL DE CAUDAL																													
7	Limpieza de la unidad																												
TRATAMIENTO PRIMARIO																													
TANQUE SÉPTICO																													
8	Medición de altura de lodos y natas																												
TANQUE IMHOFF																													
9	Inspección y control de natas y lodos																												
10	limpieza y retiro de material flotante y exceso de espumas																												
11	Raspaje de muros de la cámara de sedimentación																												
12	Limpieza de canales de ingreso																												
DECANTADORES O SEDIMENTADORES																													
13	Limpieza de canales con agua a presión																												
14	Descarga de lodos																												
TRATAMIENTO SECUNDARIO O BIOLÓGICO																													
FILTRO PERCOLADOR																													
15	Retiro de lodo de la tubería de salida																												
16	Limpieza de la superficie del filtro con agua a presión																												
FILTRO ANAERÓBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)																													
17	Control de colmatación del medio filtrante																												
LAGUNAS ANAERÓBIAS Y/O FACULTATIVAS																													
18	Inspección de taludes y membranas																												
LAGUNAS AIREADAS																													
19	Inspección y limpieza de bordos y accesos																												
HUMEDALES ARTIFICIALES																													
20	Limpieza de los distribuidores de caudal																												

Fuente. MMAyA, 2018.

Variables de Desempeño y Parámetros de Control de O&M en PTAR															
V.C. REPORTE MENSUAL DE TAREAS SUGERIDAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO															
No.	Descripción de la tarea: Mensual	Sistema, PTAR:											No. Tareas		
		Comunidad, Municipio, Localidad:													
		Primer Semestre					Segundo Semestre					Prog.	Ejecut.		
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		
TRATAMIENTO PRELIMINAR															
REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL															
1	Lavado del contenedor de basura BY - PASS														
2	Limpieza de compuertas DESARENADORES														
3	Retiro de la arena a un sitio de disposición ESTACIONES DE BOMBEO														
4	Lubricación y mantenimiento de bombas														
TRATAMIENTO PRIMARIO															
TANQUE SÉPTICO															
5	Inspección y control de natas y lodos														
TANQUE IMHOFF															
6	Control de nivel de lodos DECANTADORES O SEDIMENTADORES														
7	Lubricación y reemplazo de partes móviles														
TRATAMIENTO SECUNDARIO O BIOLÓGICO															
FILTRO PERCOLADOR															
8	Control de ventilación en el Filtro														
FILTRO ANAERÓBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)															
9	Revisión de tapas, válvulas y tuberías														
LAGUNAS ANAERÓBIAS Y/O FACULTATIVAS															
10	Control de calidad (DBO ₅ , DQO, pH, Nitrógeno, Fósforo, etc.)														
11	Limpieza de vegetación y malezas LAGUNAS AIREADAS														
12	Revisión y lubricación de equipos mecánicos														
LECHOS DE SECADO DE LODOS															
13	Remoción de lodos deshidratados														
14	Limpieza de vegetación y malezas														
15	Escarificación de la arena														

Fuente: MMAyA, 2018.

Variables de Desempeño y Parámetros de Control de O&M en PTAR														
V.d. REPORTE SEMESTRAL DE TAREAS SUGERIDAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO														
No.	Descripción de la tarea: Semestral	Sistema, PTAR:		Semestre:				Año:				No. Tareas		
		Comunidad, Municipio, Localidad:		Primer Semestre				Segundo Semestre						
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Prog.
TRATAMIENTO PRELIMINAR														
REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL														
1	Limpieza y pintado de rejas													
BY-PASS														
2	Repintado y engrase de compuerta y vástago													
REJILLAS AUTOMÁTICAS														
3	Limpieza y pintado de la unidad													
TRATAMIENTO PRIMARIO														
TANQUE SÉPTICO														
4	Limpieza general del tanque													
TANQUE IMHOFF														
5	Extracción de lodos digeridos													
TRATAMIENTO SECUNDARIO O BIOLÓGICO														
FILTRO PERCOLADOR														
6	Pintado de componentes metálicos													
FILTRO ANAERÓBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)														
7	Operación de limpieza del filtro													
8	Limpieza de tubería de extracción de lodos													
LAGUNAS ANAERÓBIAS Y/O FACULTATIVAS														
9	Medición de la profundidad de lodos													
LECHOS DE SECADO DE LODOS														
10	Reemplazo de capa de arena													

Variables de Desempeño y Parámetros de Control de O&M en PTAR														
V.e. REPORTE ANUAL DE TAREAS SUGERIDAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO														
No.	Descripción de la tarea: Anual	Sistema, PTAR:		Semestre:				Año:				No. Tareas		
		Comunidad, Municipio, Localidad:		Primer Semestre				Segundo Semestre						
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Prog.
TRATAMIENTO PRELIMINAR														
ESTACIONES DE BOMBEO														
1	Inspección del estado de los equipos													
TRATAMIENTO SECUNDARIO O BIOLÓGICO														
FILTRO ANAERÓBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)														
2	Remoción del material sólido del fondo													
LAGUNAS ANAERÓBIAS Y/O FACULTATIVAS														
3	Retiro de lodos vía húmeda													
4	Retiro de lodos vía seca													
HUMEDALES ARTIFICIALES														
5	Corte y limpieza de plantas secas													

Fuente. MMAyA, 2018.

Variables de Desempeño y Parámetros de Control de O&M en PTAR							
Condiciones de Base para la O&M en el entorno de la PTAR							
VI. REPORTE MENSUAL DE SITUACIONES DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO							
Indique las acciones de mantenimiento correctivo que se realizan en la PTAR en el periodo. Señale también las situaciones a las que no pudo darse respuesta hasta la fecha de reporte.							
REPORTE DEL PROBLEMA			DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES CORRECTIVAS			Tiempo de Respuesta	
Fecha	Hora	Descripción de la Situación	Fecha	Hora	Detalle de los trabajos	Días	Horas
TOTAL DE SITUACIONES IMPREVISTAS PRESENTADAS			TOTAL DE SITUACIONES IMPREVISTAS ATENDIDAS O SOLUCIONADAS				
						TOTAL (DIAS/HORAS)	

Fuente. MMAyA, 2018.

ANEXO 4. INDICES

Variables de desempeño y parámetros de control de O&M en PTAR Zudáñez

Condiciones de Base para la O&M en el entorno de la PTAR							
Nombre de la EP&A					Fecha de reporte (D/M/A)		
Nombre de la PTAR					Nombre y cargo del responsable		
Departamento							
Municipio							

I. CAPACIDAD DE TRATAMIENTO UTILIZADA DE LA PTAR		
Período de diseño o última ampliación		Años
Año de operación o última ampliación		Años
Caudal de diseño o última ampliación		m ³ /h
Población de diseño o última ampliación		hab
Concentración DBO ₅ de diseño		mg/l
Caudal medio del afluente de la PTAR		m ³ /h
Población servida con la PTAR		hab
Concentración media DBO ₅ del afluente		mg/l
Volumen de lodos de ETRL		m ³ /día
Concentración media DBO ₅ de lodos de ETRL		mg/l

III. GESTIÓN DE PERSONAL OPERATIVO DE LA PTAR						
DESCRIPCIÓN	MARCAR "X"			0: NO TIENE 1: TIENE INADECUADO 2: TIENE ADECUADO	DATO INFORMATIVO	
	0	1	2	OBSERVACIONES	NUMERO DE FUNCIONARIOS	
					DISPONIBLE	REQUERIDO
Jefe o responsable principal de la PTAR		1				
Jefe o responsable de laboratorio	0					
Personal técnico calificado		1				
Personal de apoyo capacitado	0					
Personal capacitado en tareas de O&M de la PTAR		1				
Personal capacitado en Seguridad Industrial e Higiene	0					
Personal con Equipo de Protección			2			
Equipo de primeros auxilios (Botiquín equipada)		1				

II. CONDICIONES DE INFRAESTRUCTURA ADICIONAL Y SERVICIOS				
DESCRIPCIÓN	MARCAR "X"			0: NO TIENE 1: TIENE INADECUADO 2: TIENE ADECUADO
	0	1	2	OBSERVACIONES
Laboratorio equipado y en funcionamiento	0			
Caseta/Oficina (en uso) para operador en la PTAR			2	
Depósito con herramientas e insumos para la PTAR			2	
Baños/ambientes de aseo personal			2	
Servicios de energía eléctrica			2	
Servicios de agua potable			2	
Señalización preventiva e informativa			2	
Accesos y vías internas en la PTAR			2	
Cerca perimetral			2	
Áreas verdes y forestación			2	

IV. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA ESPECIFICA DE LA PTAR			
DESCRIPCIÓN	MARCAR "X"		0: NO TIENE 1: TIENE
	0	1	OBSERVACIONES
Esquema visible del sistema de tratamiento	0		
Organigrama consolidado	0		
Disponibilidad y utilización de manuales de O&M en PTAR		1	
Plan Actividades de O&M en PTAR		1	

6

2

18

Capacidad de tratamiento utilizada en la PTAR Zudáñez

$$CTUP = \frac{CPTAR + CTP}{2}$$

Donde:

CTUP [%]: Capacidad de Tratamiento utilizada en la PTAR.
CPTAR [%]: Capacidad de Tratamiento actual respecto al Caudal del afluente.¹²
CTP [%]: Capacidad de Tratamiento actual respecto a la Población Servida.¹³

$$CPTAR = \frac{\text{Caudal medio actual del afluente}}{\text{Caudal de diseño o de la última ampliación}} \times 100$$

Donde:

CPTAR [%]: Capacidad de tratamiento utilizada actual respecto al caudal del afluente.

Caudal medio actual del afluente $\left[\frac{m^3}{h}\right]$: Capacidad hidráulica de operación actual de la planta.

Caudal de diseño o de la última ampliación $\left[\frac{m^3}{h}\right]$: Representa el caudal de agua residual que puede ser tratado de manera eficiente, calculado para el periodo de diseño de la planta.

$$CTP = \frac{\text{Población actual servida}}{\text{Población de diseño o de la última ampliación}} \times 100$$

Donde:

CTP [%]: Capacidad de Tratamiento actual respecto a la Población Servida.
Población actual servida [hab]: Número de habitantes conectados a un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales con descarga a una PTAR.

Población de Diseño o de la última ampliación [hab]: Número de habitantes a ser servidos por la PTAR para el periodo de diseño el cual se establece con base en la población inicial del proyecto.

Caudal Medio Afluente (CME)

T_{PTAR}	Seg	H
Vol_{PTAR}	Lt	m ³
CME_{PTAR}	6,17 Lt/Seg	22,21 m ³ /h

CME_{PTAR} 22,21 m³/h

Capacidad de Tratamiento Población

Población Actual	5120
Población de Diseño $_{PTAR1 \text{ P}2}$	11860

CTP_{PTAR1 \text{ P}2} 43,17

Caudal de Diseño (CD)

CD_{PTAR}	m ³ /mes	
CD_{PTAR}	15,560 Lt/Seg	56,02 m ³ /h

CD_{PTAR1 \text{ P}2} 56,016 m³/h

CPTAR 39,65

≥ 70%	!	Si el valor de CPTAR es mayor o igual a 70%, significa que la capacidad hidráulica de tratamiento de la PTAR se encuentra próxima a alcanzar su capacidad máxima de diseño, por lo que considerando el tiempo que demanda el desarrollo y ejecución de proyectos de mejora o ampliación, se requiere que la EPSA asuma acciones a corto plazo. Si el valor supera el 100% significa que el volumen de agua residual que ingresa a la planta ya superó la capacidad hidráulica de diseño y la PTAR requiere que la EPSA asuma acciones inmediatas para la gestión de mejoras o ampliaciones a la planta.
< 70%	✓	La capacidad hidráulica actual de la PTAR es suficiente para atender la demanda existente sin comprometer aún su capacidad de diseño; no obstante las actividades de control, operación y mantenimiento no deben ser descuidadas.

≥ 70%	!	Si el valor de CTP es mayor o igual a 70%, significa que la PTAR se encuentra próxima a alcanzar su capacidad máxima de diseño en relación a la población servida, por lo que considerando el tiempo que demanda el desarrollo y ejecución de proyectos de mejora o ampliación, se requiere que la EPSA asuma acciones a corto plazo. Si el valor supera el 100% significa que la población servida ha superado la población de diseño, por lo que la PTAR requiere que la EPSA asuma acciones inmediatas de mejora o ampliaciones a la planta.
< 70%	✓	La capacidad de tratamiento actual de la PTAR es suficiente para atender la demanda actual de la población servida, sin comprometer el funcionamiento de la planta; no obstante las actividades de control, operación y mantenimiento no deben ser descuidadas.

CTUP 41,41

RIESGO: ≥ 70%; Advierte que la PTAR se encuentra próxima a alcanzar o sobrepasar su capacidad de tratamiento de diseño, ya sea por la capacidad hidráulica, la población servida y/o la carga orgánica, por tanto, se requiere que la EPSA asuma acciones inmediatas para la gestión y ejecución de mejoras y/o ampliaciones necesarias en la infraestructura de la PTAR, a fin de incrementar su capacidad de diseño.

ACEPTABLE: < 70%; Indica que la PTAR no está próxima a alcanzar su capacidad de diseño.

Condiciones básicas para la operación y mantenimiento de la PTAR Zudáñez

CBO = (IYS · 0,3 + GPO · 0,5 + DTE · 0,2) · 100

Donde:

CBO [%]: Condiciones Básicas para la Operación y Mantenimiento de la PTAR.
IYS [%]: Es la infraestructura adicional a las unidades de tratamiento y los servicios que son necesarios para que el personal operativo de la PTAR pueda realizar de manera adecuada sus labores de operación y mantenimiento.
GPO [%]: Es la gestión del personal operativo en la PTAR, considera al personal existente y su capacitación en tareas de operación y mantenimiento.
DTE [%]: Es la documentación técnica específica de la PTAR con que dispone la EPSA, estos documentos establecen criterios, cronogramas y recomendaciones para que el personal operativo de la planta, pueda realizar adecuadas labores de operación y mantenimiento.
0,3; 0,5 y 0,2: Ponderación asignada a cada índice de CBO, según la importancia de cada componente. Se considera al personal operativo como fundamental para desarrollar actividades de operación y mantenimiento en la PTAR.

$$IYS = \frac{\text{Infraestructura y Servicios existentes}}{\text{Infraestructura y Servicios requeridos}} \cdot 100$$

Infr Exis 18
 Infr Req 20

IYS 90

A: < 90%	!	Las condiciones de Infraestructura adicional y servicios de la PTAR no son las adecuadas para llevar a cabo satisfactoriamente las actividades de operación y mantenimiento en la PTAR. Se recomienda realizar mejoras y/o reemplazar de manera paulatina, parte de la Infraestructura adicional y los servicios en el entorno de la PTAR, para así mejorar el valor del índice y en consecuencia el valor del indicador.
B: < 75%		
C: < 45%		
D: < 40%		

CBO 5575

Tabla 4. Rangos de CBO por Categoría de PTAR

INDICE	INADECUADO				ADECUADO			
	Categoría PTAR				Categoría PTAR			
	A	B	C	D	A	B	C	D
CONDICIONES BÁSICAS PARA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PTAR	< 86%	< 81%	< 61%	< 50%	≥ 86%	≥ 81%	≥ 61%	≥ 50%

$$GPO = \frac{\text{Personal Operativo existente}}{\text{Personal Operativo requerido}} \cdot 100$$

Donde:

GPO [%]: índice de Gestión de personal operativo.
Personal Operativo existente: Es la suma de ponderaciones de las condiciones de personal operativo con las que cumple la PTAR.
Personal Operativo requerido¹⁵: Se le asigna un valor igual a 16, y representa la sumatoria total de ponderaciones asignadas para las condiciones de gestión de personal operativo en la planta.

Pers Op Exis 6
 Pers Op Req 16

GPO 37,5

A: < 88%	!	La EPSA no cuenta con las condiciones mínimas en términos de gestión de personal para lograr un correcto desempeño de las actividades de operación y mantenimiento en la PTAR, por lo que de manera inmediata debe mejorar las condiciones de trabajo del personal operativo. Las acciones inmediatas a desarrollarse son: - Mejorar la capacidad del personal operativo en el desarrollo de sus funciones en relación a las actividades de operación y mantenimiento. - Mejorar las condiciones de seguridad ocupacional en la PTAR.
B: < 88%		
C: < 75%		
D: < 56%		

$$DTE = \frac{\text{Documentación Técnica existente}}{\text{Documentación Técnica requerida}} \cdot 100$$

Donde:

DTE [%]: Índice de Documentación Técnica Específica
Documentación Técnica existente: Es la suma de ponderaciones de las condiciones de disponibilidad y manejo de documentación técnica con las que cuenta la PTAR.
Documentación Técnica requerida¹⁶: Se le asigna un valor igual a 4, que es la sumatoria total de las ponderaciones asignadas a la disponibilidad y manejo de documentación técnica específica.

Doc Tec Exis 2
 Doc Tec Req 4

DTE 50

A: < 75%	!	La falta o deficiencia de la documentación técnica específica disponible para realizar las actividades de operación y mantenimiento de la PTAR constituye un problema que afecta el desempeño del personal de la planta, por lo que se debe elaborar y administrar la documentación mínima requerida en relación a la operación y mantenimiento de la planta.
B: < 75%		
C: < 50%		
D: < 50%		

Gestión de mantenimiento de la PTAR Zudáñez

$$GEM = \frac{(EMP + EMC)}{2}$$

Donde:
GEM [%]: Gestión del mantenimiento de la PTAR
EMP [adimensional]: Eficacia del Mantenimiento Preventivo
EMC [adimensional]: Eficacia del Mantenimiento Correctivo

GEM 91,67

Los rangos establecidos para el indicador, así como para sus correspondientes índices son:

INADECUADO:	< 85%
ADECUADO:	≥ 85%

$$EMP = \left(\frac{\text{Número de actividades ejecutadas}}{\text{Número de actividades programadas}} \right) * 100$$

Donde:
EMP [%]: Eficacia del Mantenimiento Preventivo.
Número de Actividades Ejecutadas: Son el total de actividades de mantenimiento preventivo que fueron efectivamente realizadas en la PTAR en base a lo programado.
Número de Actividades Programadas: Son el total de actividades que deben ejecutarse periódicamente (semestralmente) relacionadas al mantenimiento preventivo en función de las características de las unidades de tratamiento de la PTAR. La programación de estas actividades debe realizarse en base a los manuales o planes de O&M particulares de cada PTAR.

Nº Act Ejec 10
 Nº Act Prog 12

EMP 83,33

≥ 85%		Las actividades de mantenimiento preventivo son llevadas a cabo de manera consecuente y regular, sin embargo se recomienda realizar una evaluación periódica para mantener la eficiencia en el desarrollo de dichas actividades.
-------	--	--

$$EMC = \left(\frac{\text{Número de situaciones imprevistas atendidas o solucionadas}}{\text{Número de situaciones imprevistas presentadas}} \right) * 100$$

Donde:
EMC [%]: Eficacia del mantenimiento correctivo
Número de situaciones imprevistas Atendidas o Solucionadas: Son el total de problemas presentados en la PTAR que fueron atendidos o solucionados.
Número de situaciones imprevistas presentadas: Son el total de problemas presentados en la PTAR que debieron ser atendidos o solucionados.

Nº Sit Aten 1
 Nº Sit Pres 1

EMC 100,00

	Las actividades de mantenimiento correctivo son llevadas a cabo de manera eficaz, sin embargo se recomienda realizar una evaluación periódica para mantener la eficiencia en el desarrollo de dichas actividades.
--	---

Eficiencia de tratamiento de la PTAR Zudáñez

$$EfPTARx = \frac{Cx_{Afluente} - Cx_{Efluente}}{Cx_{Afluente}} * 100$$

Donde:

EffPTARx [%]: Eficiencia de remoción o reducción de la carga contaminante en la planta para el parámetro considerado (DBO₅, DQO o SST).

Cx_{Afluente} [$\frac{mg}{l}$]: Concentración media en afluente del parámetro considerado (DBO₅, DQO o SST).

Cx_{Efluente} [$\frac{mg}{l}$]: Concentración media en efluente del parámetro considerado (DBO₅, DQO o SST).

x: Parámetro (DBO₅, DQO o SST) considerado para la evaluación de la eficiencia de tratamiento de la PTAR.

Donde:

$$EfPTARx \geq EfPTARx \text{ de Diseño}$$

EffPTARx [%]: Eficiencia actual de remoción o reducción de la carga contaminante en la planta para el parámetro considerado (DBO₅, DQO o SST).

EffPTARx de Diseño [%]: Eficiencia de diseño para remoción o reducción de la carga contaminante considerando el parámetro (DBO₅, DQO o SST)

$$EfDBO_5 = \frac{C_{DBO_5 \text{ Afluente}} - C_{DBO_5 \text{ Efluente}}}{C_{DBO_5 \text{ Afluente}}} * 100$$

$$EfDQO = \frac{C_{DQO \text{ Afluente}} - C_{DQO \text{ Efluente}}}{C_{DQO \text{ Afluente}}} * 100$$

$$EfSST = \frac{C_{SST \text{ Afluente}} - C_{SST \text{ Efluente}}}{C_{SST \text{ Afluente}}} * 100$$

PTAR 1

Parametro	Afluente (mg/l)	Efluente (mg/l)	Ef PTAR de Diseño	Ef PTAR	Comparación
DBO	262,0	7,0	80,0	97,3	Cumple
DQO	347,5	26,0	75,0	92,5	Cumple
SST	582,0	18,0	70,0	96,9	Cumple

NO	<p>En el caso de que la eficiencia actual de tratamiento fuese menor a la eficiencia de diseño, implica que debe realizarse un control de la cantidad de materia contaminante que ingresa a la PTAR ya que no se logra tratar de manera eficiente.</p> <p>Inadecuadas o nulas tareas de operación y mantenimiento también pueden afectar la eficiencia de tratamiento.</p>
$EffPTAR_{DBO_5} \geq EffPTAR_{DBO_5} \text{ de diseño}$	
SI	<p>El nivel de reducción de la materia orgánica contaminante degradable en la PTAR es adecuado con relación a la eficiencia de tratamiento de diseño, lo cual implica el buen estado de la planta en términos de operación y mantenimiento y el cumplimiento de los límites permisibles establecidos en la normativa.</p>

NO	<p>En el caso de que la eficiencia actual de tratamiento de los SST, fuese menor a la eficiencia de diseño, implica que debe realizarse un control a los sólidos en suspensión que ingresan a la PTAR, mejorando el sistema de pre tratamiento y de esa manera evitar comprometer el funcionamiento de las unidades de tratamiento de la planta, lo que afecta la eficiencia del sistema de tratamiento por una mala gestión en la operación y mantenimiento.</p>
$EffPTAR_{SST} \geq EffPTAR_{SST} \text{ de diseño}$	
SI	<p>El grado de remoción de la materia contaminante en la PTAR es adecuado, en función a la eficiencia de tratamiento de diseño, lo cual implica el buen estado actual de la planta y el cumplimiento de los límites permisibles establecidos en la normativa.</p>

Tratamiento de lodos generados en la PTAR Zudáñez

$$TLG = \frac{\text{Volumen de lodos Tratados}}{\text{Volumen de lodos Generados}} * 100$$

Donde:

TLG [%]: Tratamiento de lodos generados en la PTAR.

Volumen de Lodos Tratados [m³]: Es el volumen de lodos procesados mediante un sistema de tratamiento en durante un semestre, en función de las características requeridas para su valorización, reutilización o disposición final, de forma que no constituyan un riesgo para el medio ambiente ni para la salud pública.

Volumen de Lodos Generados [m³]: Es el volumen total de lodos que son generados y extraídos en las diferentes unidades de tratamiento en la planta durante un semestre, que no son utilizados para la recirculación del sistema, el mismo está en función al tipo de tecnología implementada en la PTAR.

Vol Resid Sol y Nata (L)	Área (m ²)	Alt Lodo (cm)	Vol Lodo (m ³)	Vol Lodo Total (m ³)	Vol Lodo Tratado (m ³)
27,8	385,9	0,3	1,2	1,2	2,3

TLG 7,78

< 10%	!	La EPSA debe mejorar, ampliar o implementar una línea técnicamente adecuada para el tratamiento, manejo y/o disposición ambiental de lodos. La AAPS deberá en el marco de sus atribuciones y competencias, informar a la autoridad ambiental competente para que se tomen las acciones necesarias para la protección del medio ambiente.
≥ 10%	✓	La PTAR realiza esfuerzos para el manejo o disposición de los lodos que genera y extrae, no obstante, se debe realizar mejoras, ampliaciones y/o convenios interinstitucionales para que los mismos no constituyan un problema ambiental en coordinación y apoyo de las autoridades ambientales competentes.

VARIABLES DE DESEMPEÑO Y PARÁMETROS DE CONTROL DE O&M EN PTAR MOJOCOYA

Condiciones de Base para la O&M en el entorno de la PTAR

Nombre de la EPSA

Nombre de la PTAR

Departamento

Municipio

Fecha de reporte (D/M/A)

Nombre y cargo del responsable

I. CAPACIDAD DE TRATAMIENTO UTILIZADA DE LA PTAR	
Período de diseño o última ampliación	Años
Año de operación o última ampliación	Años
Caudal de diseño o última ampliación	m ³ /h
Población de diseño o última ampliación	hab
Concentración DBO ₅ de diseño	mg/l
Caudal medio del afluente de la PTAR	m ³ /h
Población servida con la PTAR	hab
Concentración media DBO ₅ del afluente	mg/l
Volumen de lodos de ETRL	m ³ /día
Concentración media DBO ₅ de lodos de ETRL	mg/l

III. GESTIÓN DE PERSONAL OPERATIVO DE LA PTAR						
DESCRIPCIÓN	MARCAR "X"			0: NO TIENE 1: TIENE INADECUADO 2: TIENE ADECUADO	DATO INFORMATIVO	
	0	1	2		NUMERO DE FUNCIONARIOS	REQUERIDO
Jefe o responsable principal de la PTAR		X		1		
Jefe o responsable de laboratorio	X			0		
Personal técnico calificado		X		1		
Personal de apoyo capacitado	X			0		
Personal capacitado en tareas de O&M de la PTAR	X			0		
Personal capacitado en Seguridad Industrial e Higiene	X			0		
Personal con Equipo de Protección		X		1		
Equipo de primeros auxilios (Botiquín equipado)	X			0		

II. CONDICIONES DE INFRAESTRUCTURA ADICIONAL Y SERVICIOS				
DESCRIPCIÓN	MARCAR "X"			0: NO TIENE 1: TIENE INADECUADO 2: TIENE ADECUADO
	0	1	2	
Laboratorio equipado y en funcionamiento	X			0
Caseta/Oficina (en uso) para operador en la PTAR			X	2
Depósito con herramientas e insumos para la PTAR			X	2
Baños/ambientes de aseo personal			X	2
Servicios de energía eléctrica	X			0
Servicios de agua potable	X			0
Señalización preventiva e informativa		X		1
Accesos y vías internas en la PTAR			X	2
Cerco perimetral			X	2
Áreas verdes y forestación	X			0

IV. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA ESPECIFICA DE LA PTAR			
DESCRIPCIÓN	MARCAR "X"		0: NO TIENE 1: TIENE
	0	1	
Esquema visible del sistema de tratamiento	X		0
Organigrama consolidado	X		0
Disponibilidad y utilización de manuales de O&M en PTAR		X	1
Plan Actividades de O&M en PTAR	X		0

3

1

11

Capacidad de tratamiento utilizada en la PTAR Mojocoya

$$CTUP = \frac{CPTAR + CTP}{2}$$

Donde:

CTUP [%]: Capacidad de Tratamiento utilizada en la PTAR.
CPTAR [%]: Capacidad de Tratamiento actual respecto al Caudal del afluente.¹²
CTP [%]: Capacidad de Tratamiento actual respecto a la Población Servida.¹³

$$CPTAR = \frac{\text{Caudal medio actual del afluente}}{\text{Caudal de diseño o de la última ampliación}} \times 100$$

Donde:

CPTAR [%]: Capacidad de tratamiento utilizada actual respecto al caudal del afluente.

Caudal medio actual del afluente $\left[\frac{m^3}{h}\right]$: Capacidad hidráulica de operación actual de la planta.

Caudal de diseño o de la última ampliación $\left[\frac{m^3}{h}\right]$: Representa el caudal de agua residual que puede ser tratado de manera eficiente, calculado para el periodo de diseño de la planta.

$$CTP = \frac{\text{Población actual servida}}{\text{Población de diseño o de la última ampliación}} \times 100$$

Donde:

CTP [%]: Capacidad de Tratamiento actual respecto a la Población Servida.
Población actual servida [hab]: Número de habitantes conectados a un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales con descarga a una PTAR.

Población de Diseño o de la última ampliación [hab]: Número de habitantes a ser servidos por la PTAR para el periodo de diseño el cual se establece con base en la población inicial del proyecto.

Caudal Medio Afluente (CME)

T_{PTAR}	Seg	H
Vol_{PTAR}	Lt	m3
CME_{PTAR}	8,40 Lt/Seg	30,24 m3/h

CME_{PTAR} 30,24 m3/h

Capacidad de Tratamiento Población

Población Actual	3577
Población de Diseño _{PTAR 1 P}	6981

CTP_{PTAR 1 PTAR 2} 51,24

Caudal de Diseño (CD)

CD_{PTAR}	m3/mes
CD_{PTAR}	29,660 Lt/Seg
$CD_{PTAR 1 PTAR 2}$	106,776 m3/h

CD_{PTAR 1 PTAR 2} 106,776 m3/h

CPTAR 28,32

≥ 70%	!	Si el valor de CPTAR es mayor o igual a 70%, significa que la capacidad hidráulica de tratamiento de la PTAR se encuentra próxima a alcanzar su capacidad máxima de diseño, por lo que considerando el tiempo que demanda el desarrollo y ejecución de proyectos de mejora o ampliación, se requiere que la EPSA asuma acciones a corto plazo. Si el valor supera el 100% significa que el volumen de agua residual que ingresa a la planta ya superó la capacidad hidráulica de diseño y la PTAR requiere que la EPSA asuma acciones inmediatas para la gestión de mejoras o ampliaciones a la planta.
< 70%	✓	La capacidad hidráulica actual de la PTAR es suficiente para atender la demanda existente sin comprometer aún su capacidad de diseño; no obstante las actividades de control, operación y mantenimiento no deben ser descuidadas.

≥ 70%	!	Si el valor de CTP es mayor o igual a 70%, significa que la PTAR se encuentra próxima a alcanzar su capacidad máxima de diseño en relación a la población servida, por lo que considerando el tiempo que demanda el desarrollo y ejecución de proyectos de mejora o ampliación, se requiere que la EPSA asuma acciones a corto plazo. Si el valor supera el 100% significa que la población servida ha superado la población de diseño, por lo que la PTAR requiere que la EPSA asuma acciones inmediatas de mejora o ampliaciones a la planta.
< 70%	✓	La capacidad de tratamiento actual de la PTAR es suficiente para atender la demanda actual de la población servida, sin comprometer el funcionamiento de la planta; no obstante las actividades de control, operación y mantenimiento no deben ser descuidadas.

CTUP 39,78

RIESGO: ≥ 70%; Advierte que la PTAR se encuentra próxima a alcanzar o sobrepasar su capacidad de tratamiento de diseño, ya sea por la capacidad hidráulica, la población servida y/o la carga orgánica, por tanto, se requiere que la EPSA asuma acciones inmediatas para la gestión y ejecución de mejoras y/o ampliaciones necesarias en la infraestructura de la PTAR, a fin de incrementar su capacidad de diseño.

ACEPTABLE: < 70%; Indica que la PTAR no está próxima a alcanzar su capacidad de diseño.

Condiciones básicas para la operación y mantenimiento de la PTAR Mojocoya

CBO = (IYS + 0,3 + GPO + 0,5 + DTE + 0,2) * 100

Donde:

CBO [%]: Condiciones Básicas para la Operación y Mantenimiento de la PTAR.

IYS [%]: Es la infraestructura adicional a las unidades de tratamiento y los servicios que son necesarios para que el personal operativo de la PTAR pueda realizar de manera adecuada sus labores de operación y mantenimiento.

GPO [%]: Es la gestión del personal operativo en la PTAR, considera al personal existente y su capacitación en tareas de operación y mantenimiento.

DTE [%]: Es la documentación técnica específica de la PTAR con que dispone la EPSA, estos documentos establecen criterios, cronogramas y recomendaciones para que el personal operativo de la planta, pueda realizar adecuadas labores de operación y mantenimiento.

0,3; 0,5 y 0,2: Ponderación asignada a cada índice de CBO, según la importancia de cada componente. Se considera al personal operativo como fundamental para desarrollar actividades de operación y mantenimiento en la PTAR.

$$IYS = \frac{\text{Infraestructura y Servicios existentes}}{\text{Infraestructura y Servicios requeridos}} * 100$$

Infr Exis 11
Infr Req 20

IYS 55

A: < 90%	!	Las condiciones de infraestructura adicional y servicios de la PTAR no son las adecuadas para llevar a cabo satisfactoriamente las actividades de operación y mantenimiento en la PTAR. Se recomienda realizar mejoras y/o reemplazar de manera paulatina, parte de la infraestructura adicional y los servicios en el ensayo de la PTAR, para así mejorar el valor del índice y en consecuencia el valor del indicador.
B: < 75%		
C: < 45%		
D: < 40%		

CBO 3087,5

Tabla 4. Rangos de CBO por Categoría de PTAR

INDICE	INADECUADO				ADECUADO			
	Categoría PTAR				Categoría PTAR			
	A	B	C	D	A	B	C	D
CONDICIONES BÁSICAS PARA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PTAR	< 86%	< 81%	< 61%	< 50%	≥ 86%	≥ 81%	≥ 61%	≥ 50%

GPO = $\frac{\text{Personal Operativo existente}}{\text{Personal Operativo requerido}} * 100$

Donde:

GPO [%]: Índice de Gestión de personal operativo.

Personal Operativo existente: Es la suma de ponderaciones de las condiciones de personal operativo con las que cumple la PTAR.

Personal Operativo requerido¹⁹: Se le asigna un valor igual a 16, y representa la sumatoria total de ponderaciones asignadas para las condiciones de gestión de personal operativo en la planta.

Pers Op Exis 3
Pers Op Req 16

GPO 18,75

A: < 88%	!	La EPSA no cuenta con las condiciones mínimas en términos de gestión de personal para lograr un correcto desempeño de las actividades de operación y mantenimiento en la PTAR, por lo que de manera inmediata debe mejorar las condiciones de trabajo del personal operativo. Las acciones inmediatas a desarrollarse son: - Mejorar la capacidad del personal operativo en el desarrollo de sus funciones en relación a las actividades de operación y mantenimiento. - Mejorar las condiciones de seguridad ocupacional en la PTAR.
B: < 88%		
C: < 75%		
D: < 56%		

DTE = $\frac{\text{Documentación Técnica existente}}{\text{Documentación Técnica requerida}} * 100$

Donde:

DTE [%]: Índice de Documentación Técnica Específica

Documentación Técnica existente: Es la suma de ponderaciones de las condiciones de disponibilidad y manejo de documentación técnica con las que cuenta la PTAR.

Documentación Técnica requerida¹⁹: Se le asigna un valor igual a 4, que es la sumatoria total de las ponderaciones asignadas a la disponibilidad y manejo de documentación técnica específica.

Doc Tec Exis 1
Doc Tec Req 4

DTE 25

A: < 75%	!	La falta o deficiencia de la documentación técnica específica disponible para realizar las actividades de operación y mantenimiento de la PTAR constituye un problema que afecta el desempeño del personal de la planta, por lo que se debe elaborar y administrar la documentación mínima requerida en relación a la operación y mantenimiento de la planta.
B: < 75%		
C: < 50%		
D: < 50%		

Gestión de mantenimiento de la PTAR Mojocoya

$$GEM = \frac{(EMP + EMC)}{2}$$

Donde:

GEM [%]: Gestión del mantenimiento de la PTAR

EMP [adimensional]: Eficacia del Mantenimiento Preventivo

EMC [adimensional]: Eficacia del Mantenimiento Correctivo

GEM 90,00

Los rangos establecidos para el indicador, así como para sus correspondientes índices son:

INADECUADO:	< 85%
ADECUADO:	≥ 85%

$$EMP = \left(\frac{\text{Número de actividades ejecutadas}}{\text{Número de actividades programadas}} \right) \cdot 100$$

Donde:

EMP [%]: Eficacia del Mantenimiento Preventivo.

Número de Actividades Ejecutadas: Son el total de actividades de mantenimiento preventivo que fueron efectivamente realizadas en la PTAR en base a lo programado.

Número de Actividades Programadas: Son el total de actividades que deben ejecutarse periódicamente (semestralmente) relacionadas al mantenimiento preventivo en función de las características de las unidades de tratamiento de la PTAR. La programación de estas actividades debe realizarse en base a los manuales o planes de O&M particulares de cada PTAR.

N° Act Ejec	12
N° Act Prog	15

EMP 80,00

≥ 85%		Las actividades de mantenimiento preventivo son llevadas a cabo de manera consecuente y regular, sin embargo se recomienda realizar una evaluación periódica para mantener la eficiencia en el desarrollo de dichas actividades.
-------	--	--

$$EMC = \left(\frac{\text{Número de situaciones imprevistas atendidas o solucionadas}}{\text{Número de situaciones imprevistas presentadas}} \right) \cdot 100$$

Donde:

EMC [%]: Eficacia del mantenimiento correctivo

Número de situaciones imprevistas Atendidas o Solucionadas: Son el total de problemas presentados en la PTAR que fueron atendidos o solucionados.

Número de situaciones imprevistas presentadas: Son el total de problemas presentados en la PTAR que debieron ser atendidos o solucionados.

N° Sit Aten	5
N° Sit Pres	5

EMC 100,00

	Las actividades de mantenimiento correctivo son llevadas a cabo de manera eficaz, sin embargo se recomienda realizar una evaluación periódica para mantener la eficiencia en el desarrollo de dichas actividades.
--	---

Eficiencia de tratamiento de la PTAR Mojocoya

$$EfPTARx = \frac{Cx_{Afluente} - Cx_{Efluente}}{Cx_{Afluente}} * 100$$

Donde:

EfPTARx [%]: Eficiencia de remoción o reducción de la carga contaminante en la planta para el parámetro considerado (DBO₅, DQO o SST).

Cx_{Afluente} [$\frac{mg}{l}$]: Concentración media en afluente del parámetro considerado (DBO₅, DQO o SST).

Cx_{Efluente} [$\frac{mg}{l}$]: Concentración media en efluente del parámetro considerado (DBO₅, DQO o SST).

x: Parámetro (DBO₅, DQO o SST) considerado para la evaluación de la eficiencia de tratamiento de la PTAR.

Donde:

$$EfPTARx \geq EfPTARx \text{ de Diseño}$$

EfPTARx [%]: Eficiencia actual de remoción o reducción de la carga contaminante en la planta para el parámetro considerado (DBO₅, DQO o SST).

EfPTARx de Diseño [%]: Eficiencia de diseño para remoción o reducción de la carga contaminante considerando el parámetro (DBO₅, DQO o SST)

$$EfDBO_5 = \frac{C_{DBO_5 \text{ Afluente}} - C_{DBO_5 \text{ Efluente}}}{C_{DBO_5 \text{ Afluente}}} * 100$$

$$EfDQO = \frac{C_{DQO \text{ Afluente}} - C_{DQO \text{ Efluente}}}{C_{DQO \text{ Afluente}}} * 100$$

$$EfSST = \frac{C_{SST \text{ Afluente}} - C_{SST \text{ Efluente}}}{C_{SST \text{ Afluente}}} * 100$$

PTAR 1

Parametro	Afluente (mg/l)	Efluente (mg/l)	Ef PTAR de Diseño	Ef PTAR	Comparación
DBO	177,0	28,0	80,0	84,2	Cumple
DQO	437,8	36,1	75,0	91,8	Cumple
SST	205,0	81,0	70,0	60,5	No cumple

NO	<p>En el caso de que la eficiencia actual de tratamiento fuese menor a la eficiencia de diseño, implica que debe realizarse un control de la cantidad de materia contaminante que ingresa a la PTAR ya que no se logra tratar de manera eficiente.</p> <p>Inadecuadas o nulas tareas de operación y mantenimiento también pueden afectar la eficiencia de tratamiento.</p>
$EfPTAR_{DBO_5} \geq EfPTAR_{DBO_5} \text{ de diseño}$	
SI	<p>El nivel de reducción de la materia orgánica contaminante degradable en la PTAR es adecuado con relación a la eficiencia de tratamiento de diseño, lo cual implica el buen estado de la planta en términos de operación y mantenimiento y el cumplimiento de los límites permisibles establecidos en la normativa.</p>

NO	<p>En el caso de que la eficiencia actual de tratamiento de los SST, fuese menor a la eficiencia de diseño, implica que debe realizarse un control a los sólidos en suspensión que ingresan a la PTAR, mejorando el sistema de pre tratamiento y de esa manera evitar comprometer el funcionamiento de las unidades de tratamiento de la planta, lo que afecta la eficiencia del sistema de tratamiento por una mala gestión en la operación y mantenimiento.</p>
$EfPTAR_{SST} \geq EfPTAR_{SST} \text{ de diseño}$	
SI	<p>El grado de remoción de la materia contaminante en la PTAR es adecuado, en función a la eficiencia de tratamiento de diseño, lo cual implica el buen estado actual de la planta y el cumplimiento de los límites permisibles establecidos en la normativa.</p>

Tratamiento de lodos generados en la PTAR Mojocoya

$$TLG = \frac{\text{Volumen de lodos Tratados}}{\text{Volumen de lodos Generados}} * 100$$

Donde:

TLG [%]: Tratamiento de lodos generados en la PTAR.

Volumen de Lodos Tratados [m³]: Es el volumen de lodos procesados mediante un sistema de tratamiento en durante un semestre, en función de las características requeridas para su valorización, reutilización o disposición final, de forma que no constituyan un riesgo para el medio ambiente ni para la salud pública.

Volumen de Lodos Generados [m³]: Es el volumen total de lodos que son generados y extraídos en las diferentes unidades de tratamiento en la planta durante un semestre, que no son utilizados para la recirculación del sistema, el mismo está en función al tipo de tecnología implementada en la PTAR.


Vol Resid Sol y Nata (L)	Area (m ²)	Alt Lodo (cm)	Vol Lodo (m ³)	Vol Lodo Total (m ³)	Vol Lodo Tratado (m ³)
38,3	123,4	0,8	0,9	1,0	1,9

TLG 4,71

< 10%	!	La EPSA debe mejorar, ampliar o implementar una línea técnicamente adecuada para el tratamiento, manejo y/o disposición ambiental de lodos. La AAPS deberá en el marco de sus atribuciones y competencias, informar a la autoridad ambiental competente para que se tomen las acciones necesarias para la protección del medio ambiente.
≥ 10%	✓	La PTAR realiza esfuerzos para el manejo o disposición de los lodos que genera y extrae, no obstante, se debe realizar mejoras, ampliaciones y/o convenios interinstitucionales para que los mismos no constituyan un problema ambiental en coordinación y apoyo de las autoridades ambientales competentes.

ANEXO 5. ENSAYO DE LABORATORIO

Análisis de agua residual afluyente (ingreso a la PTAR Zudáñez)



PCB
Ambiental S.R.L.

www.pcbambiental.com
gerencia@pcbambiental.com

REPORTE DE ENSAYO - ANALISIS DE AGUA PCB-AG-24-374

Datos de Cliente

Cliente	MARCO JAVIER CHOQUE NINA
Fecha de elaboración Informe	2024-08-29

Datos de Muestra

Código de Muestra Campo	1	Código de Muestra Laboratorio	AG-24-374
Lugar de Muestreo	Afluyente (Desarenador)		
Coordenadas GPS	20 K; 319681.10 m E; 7888056.56 m S		
Departamento - Provincia - Municipio	Chuquisaca - Zudáñez - Zudáñez		
Fecha - Hora de Muestreo	2024-08-22 - 09:30		
Procedencia de Muestreo	Agua Residual		
Responsable de Muestreo	Cliente		

Datos del Ensayo

Fecha de Recepción	2024-08-23	Cadena de Custodia	LAB-SU-072/24
Periodo de Ensayo	2024-08-23 al 2024-08-28	Lugar de Ensayo	Laboratorio 1
Aspecto	Turbia		

#	Parámetro	Método de determinación	LD*	Unidad	Resultado	Límite permisible Anexo A-2
1	Colifecales (NMP/100ml)	SM 9221 (PROC-007.4.1 Interno)	<2	NMP/100 ml	5x10 ³	1000
2	DBO5	SM 5210 B (PROC-007.6 Interno)	2	mg/l O ₂	262	80
3	DQO	SM 5220 D (PROC-007.7 Interno)	0,1	mg/l O ₂	347,5	250
4	pH	SM 4500-H+ pH (PROC-007.1 Interno)	-	Unidad de pH	7,62	6-9
5	Sólidos Suspendidos Totales	SM 2540 D (PROC-007.3 Interno)	10	mg/l SS	582	60

OBSERVACIONES

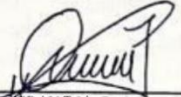
*LD: Límite de detección del método

El método de muestreo se realizó de acuerdo al PROC- 008.1 procedimiento interno

SM: «Standard Methods» For the Examination of Water and Wastewater. 23^{ra} Edition (los análisis se realizan de acuerdo a los procedimientos internos basado en el SM)

1. Las firmas de los responsables de ese trabajo confirman que los resultados finales reflejan verdaderamente los datos originales. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas en el momento y lugar de muestreo
2. El informe de Ensayo es válido solo si se presenta sellado.
3. En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representatividad, ni la preservación de las muestras.
4. Las muestras serán almacenadas por un lapso no mayor a 2 meses en un depósito del laboratorio (en relación a la estabilidad).
5. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio.

FIN DEL REPORTE DE ENSAYO



Ing. María Lorena Gutiérrez Torrico
JEFE DE LABORATORIO

Página 1 de 1


Casa matriz Cochabamba:
Av. Circunvalación II Urb. Colorados N° 300
Cel: 70300220 fono (4)-4010710
regional.cocha@pcbambiental.com

Sucursal Sucre
Av. Martín Cardenas N° 180
Cel: 67622739
regional.sucre@pcbambiental.com

Sucursal Santa Cruz
Calle Trinidad # 15 y primer anillo
Cel: 60992999
regional.santacruz@pcbambiental.com

Sucursal Potosí
Av. Prado San Clemente s/n
Cel: 60995999
regional.potosi@pcbambiental.com

Análisis de agua residual efluente (salida de la PTAR Zudáñez)



PCB
Ambiental S.R.L.

www.pcbambiental.com
gerencia@pcbambiental.com

REPORTE DE ENSAYO - ANALISIS DE AGUA PCB-AG-24-375

Datos de Cliente

Cliente	MARCO JAVIER CHOQUE NINA
Fecha de elaboración Informe	2024-08-29

Datos de Muestra

Código de Muestra Campo	2	Código de Muestra Laboratorio	AG-24-375
Lugar de Muestreo	Efluente (Descarga)		
Coordenadas GPS	20 K; 319626.88 m E; 7888168.82 m S		
Departamento - Provincia - Municipio	Chuquisaca - Zudáñez - Zudáñez		
Fecha - Hora de Muestreo	2024-08-22 - 09:45		
Procedencia de Muestreo	Agua Residual		
Responsable de Muestreo	Cliente		

Datos del Ensayo

Fecha de Recepción	2024-08-23	Cadena de Custodia	LAB-SU-072/24
Periodo de Ensayo	2024-08-23 al 2024-08-28	Lugar de Ensayo	Laboratorio 1
Aspecto	Ámbar		


#	Parámetro	Método de determinación	LD*	Unidad	Resultado	Límite permisible Anexo A-2
1	Coliformes (NMP/100ml)	SM 9221 (PROC-007.4.1 Interno)	<2	NMP/100 ml	15	1000
2	DBO5	SM 5210 B (PROC-007.6 Interno)	2	mg/l O ₂	7	80
3	DQO	SM 5220 D (PROC-007.7 Interno)	0,1	mg/l O ₂	26,0	250
4	pH	SM 4500-H+ pH (PROC-007.1 Interno)	-	Unidad de pH	7,66	6-9
5	Sólidos Suspendedos Totales	SM 2540 D (PROC-007.3 Interno)	10	mg/l SS	18	60

OBSERVACIONES

*LD: Límite de detección del método
 El método de muestreo se realizó de acuerdo al PROC- 008.1 procedimiento interno
 SM: «Standard Methods» For the Examination of Water and Wastewater, 23 va Edition (los análisis se realizan de acuerdo a los procedimientos internos basado en el SM)

1. Las firmas de los responsables de ese trabajo confirman que los resultados finales reflejan verdaderamente los datos originales. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas en el momento y lugar de muestreo
2. El informe de Ensayo es válido solo si se presenta sello seco.
3. En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representatividad, ni la preservación de las muestras.
4. Las muestras serán almacenadas por un lapso no mayor a 2 meses en un depósito del laboratorio (en relación a la estabilidad).
5. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio.

FIN DEL REPORTE DE ENSAYO



Ing. **Jorge Antonio Torres Terrica**
JEFE DE LABORATORIO

Página 1 de 1

Casa matriz Cochabamba:
Av. Circunvalación II Urb. Colorados N° 300
Cel.: 70300220 fono (4)-4010710
regional.cocha@pcbambiental.com

Sucursal Sucre
Av. Martin Cardenas N° 180
Cel.: 67622739
regional.sucre@pcbambiental.com

Sucursal Santa Cruz
Calle Trinidad # 15 y primer anillo
Cel.: 60992999
regional.santacruz@pcbambiental.com

Sucursal Potosí
Av. Prado San Clemente s/n
Cel.: 60995999
regional.potosi@pcbambiental.com

MARCO JAVIER CHOQUE NINA

31

Análisis de agua residual afluyente (ingreso a la PTAR Mojocoya)



www.pcbambiental.com
gerencia@pcbambiental.com

REPORTE DE ENSAYO - ANALISIS DE AGUA

PCB-AG-24-376

Datos de Cliente

Cliente	MARCO JAVIER CHOQUE NINA
Fecha de elaboración Informe	2024-08-29

Datos de Muestra

Código de Muestra Campo	1	Código de Muestra Laboratorio	AG-24-376
Lugar de Muestreo	Afluyente (Desarenador)		
Coordenadas GPS	20 K; 333697.48 m E; 7915287.46 m S		
Departamento - Provincia - Municipio	Chuquisaca - Zudáñez - Redención Pampa (Mojocoya)		
Fecha - Hora de Muestreo	2024-08-22 - 15:07		
Procedencia de Muestreo	Agua Residual		
Responsable de Muestreo	Cliente		

Datos del Ensayo

Fecha de Recepción	2024-08-23	Cadena de Custodia	LAB-SU-073/24
Periodo de Ensayo	2024-08-23 al 2024-08-28	Lugar de Ensayo	Laboratorio 1
Aspecto	Turbia		

#	Parámetro	Método de determinación	LD*	Unidad	Resultado	Límite permisible Anexo A-2
1	Colifecales (NMP/100ml)	SM 9221 (PROC-007.4.1 Interno)	<2	NMP/100 ml	2,9x10 ⁴	1000
2	DBO ₅	SM 5210 B (PROC-007.6 Interno)	2	mg/l O ₂	177	80
3	DQO	SM 5220 D (PROC-007.7 Interno)	0,1	mg/l O ₂	437,8	250
4	pH	SM 4500-H ⁺ pH (PROC-007.1 Interno)	-	Unidad de pH	8,38	6-9
5	Sólidos Suspendedos Totales	SM 2540 D (PROC-007.3 Interno)	10	mg/l SS	205	60

OBSERVACIONES


*LD: Límite de detección del método

El método de muestreo se realizó de acuerdo al PROC- 008.1 procedimiento interno

SM: «Standard Methods» For the Examination of Water and Wastewater, 23 va Edition (los análisis se realizan de acuerdo a los procedimientos internos basado en el SM)

- Las firmas de los responsables de ese trabajo confirman que los resultados finales reflejan verdaderamente los datos originales. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas en el momento y lugar de muestreo.
- El informe de Ensayo es válido solo si se presenta sello seco.
- En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representatividad, ni la preservación de las muestras.
- Las muestras serán almacenadas por un lapso no mayor a 2 meses en un depósito del laboratorio (en relación a la estabilidad).
- Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio.

FIN DEL REPORTE DE ENSAYO

Ing. 
JEFE DEL LABORATORIO

Página 1 de 1

Casa matriz Cochabamba:
Av. Circunvalación II Urb. Colorados N° 300
Cel.: 70300220 fono (4)-4010710
regional.cocha@pcbambiental.com

Sucursal Sucre
Av. Martín Cardenas N° 180
Cel.: 67622739
regional.sucre@pcbambiental.com

Sucursal Santa Cruz
Calle Trinidad # 15 y primer anillo
Cel.: 60992999
regional.santacruz@pcbambiental.com

Sucursal Potosí
Av. Prado San Clemente s/n
Cel.: 60995999
regional.potosi@pcbambiental.com

Análisis de agua residual efluente (salida de la PTAR Mojocoya)



www.pcbambiental.com
gerencia@pcbambiental.com

REPORTE DE ENSAYO - ANALISIS DE AGUA

PCB-AG-24-377

Datos de Cliente

Cliente	MARCO JAVIER CHOQUE NINA
Fecha de elaboración Informe	2024-08-29

Datos de Muestra

Código de Muestra Campo	2	Código de Muestra Laboratorio	AG-24-377
Lugar de Muestreo	Efluente (Descarga)		
Coordenadas	20 K; 333709.36 m E; 7915192.30 m S		
Departamento - Provincia - Municipio	Chuquisaca - Zudáñez - Redención Pampa (Mojocoya)		
Fecha - Hora de Muestreo	2024-08-22 - 15:35		
Procedencia de Muestreo	Agua Residual Tratada		
Responsable de Muestreo	Cliente		

Datos del Ensayo

Fecha de Recepción	2024-08-23	Cadena de Custodia	LAB-SU-073/24
Periodo de Ensayo	2024-08-23 al 2024-08-28	Lugar de Ensayo	Laboratorio 1
Aspecto	Ámbar		

#	Parámetro	Método de determinación	LD*	Unidad	Resultado	Límite permisible Anexo A-2
1	Colifecales (NMP/100ml)	SM 9221 (PROC-007.4.1 Interno)	<2	NMP/100 ml	210	1000
2	DBO5	SM 5210 B (PROC-007.6 Interno)	2	mg/l O ₂	28	80
3	DQO	SM 5220 D (PROC-007.7 Interno)	0,1	mg/l O ₂	36,1	250
4	pH	SM 4500-H+ pH (PROC-007.1 Interno)	-	Unidad de pH	7,57	6-9
5	Sólidos Suspendedos Totales	SM 2540 D (PROC-007.3 Interno)	10	mg/l SS	81	60

OBSERVACIONES

*LD: Límite de detección del método

El método de muestreo se realizó de acuerdo al PROC- 008.1 procedimiento interno

SM: «Standard Methods» For the Examination of Water and Wastewater, 23 va Edition (los análisis se realizan de acuerdo a los procedimientos internos basado en el SM)

- Las firmas de los responsables de ese trabajo confirman que los resultados finales reflejan verdaderamente los datos originales. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas en el momento y lugar de muestreo
- El informe de Ensayo es válido solo si se presenta sello seco.
- En caso de que el laboratorio no efectuó el muestreo, no es responsable para la representatividad, ni la preservación de las muestras.
- Las muestras serán almacenadas por un lapso no mayor a 2 meses en un depósito del laboratorio (en relación a la estabilidad).
- Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización escrita del laboratorio.

FIN DEL REPORTE DE ENSAYO

Ing. Leonardo Quiroz Tarrica
JEFE DE LABORATORIO

Página 1 de 1

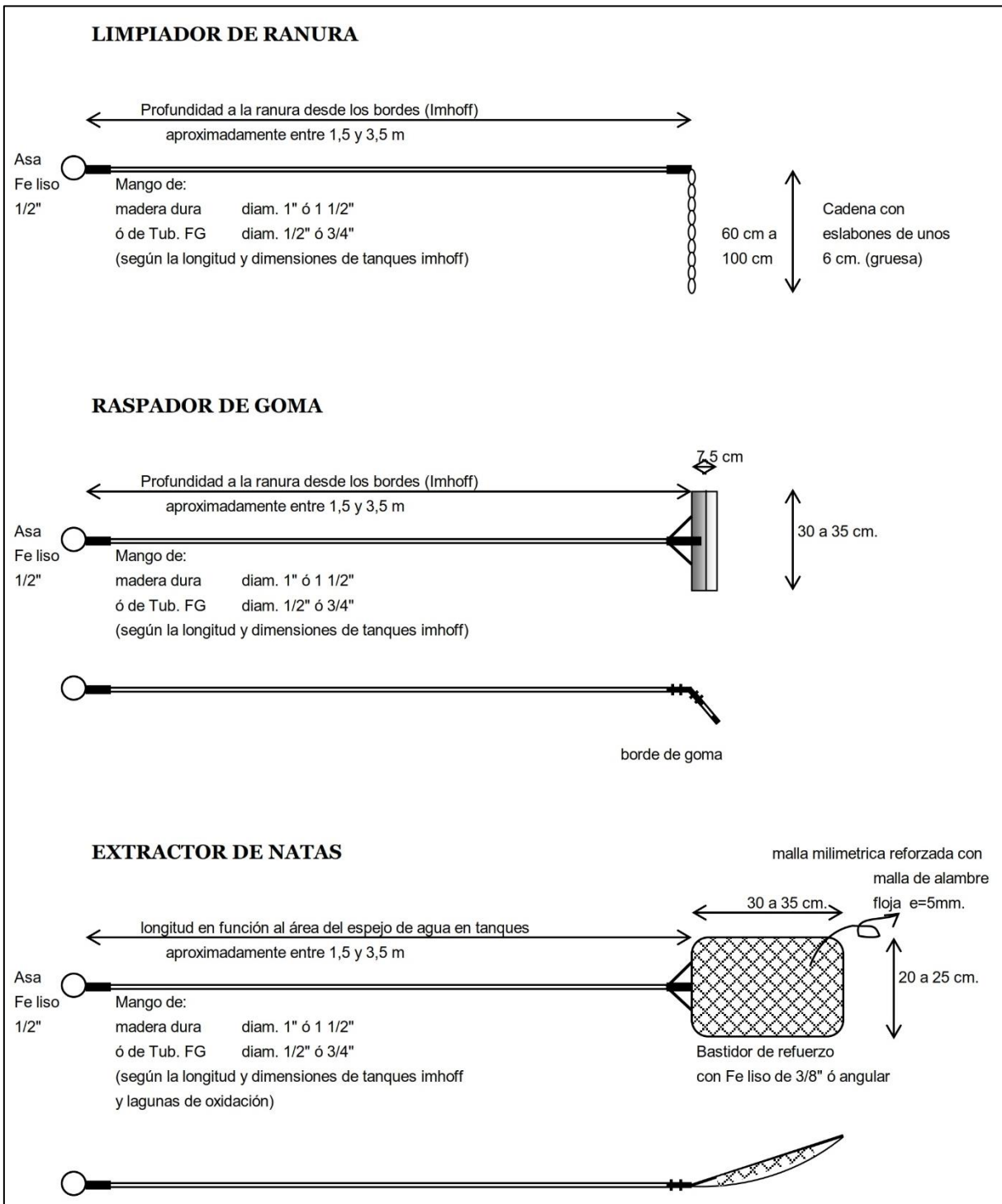
Casa matriz Cochabamba:
Av. Circunvalación II Urb. Colorados N° 300
Cel.: 70300220 fono (4)-4010710
regional.cocha@pcbambiental.com

Sucursal Sucre
Av. Martín Cardenas N° 180
Cel.: 67622739
regional.sucre@pcbambiental.com

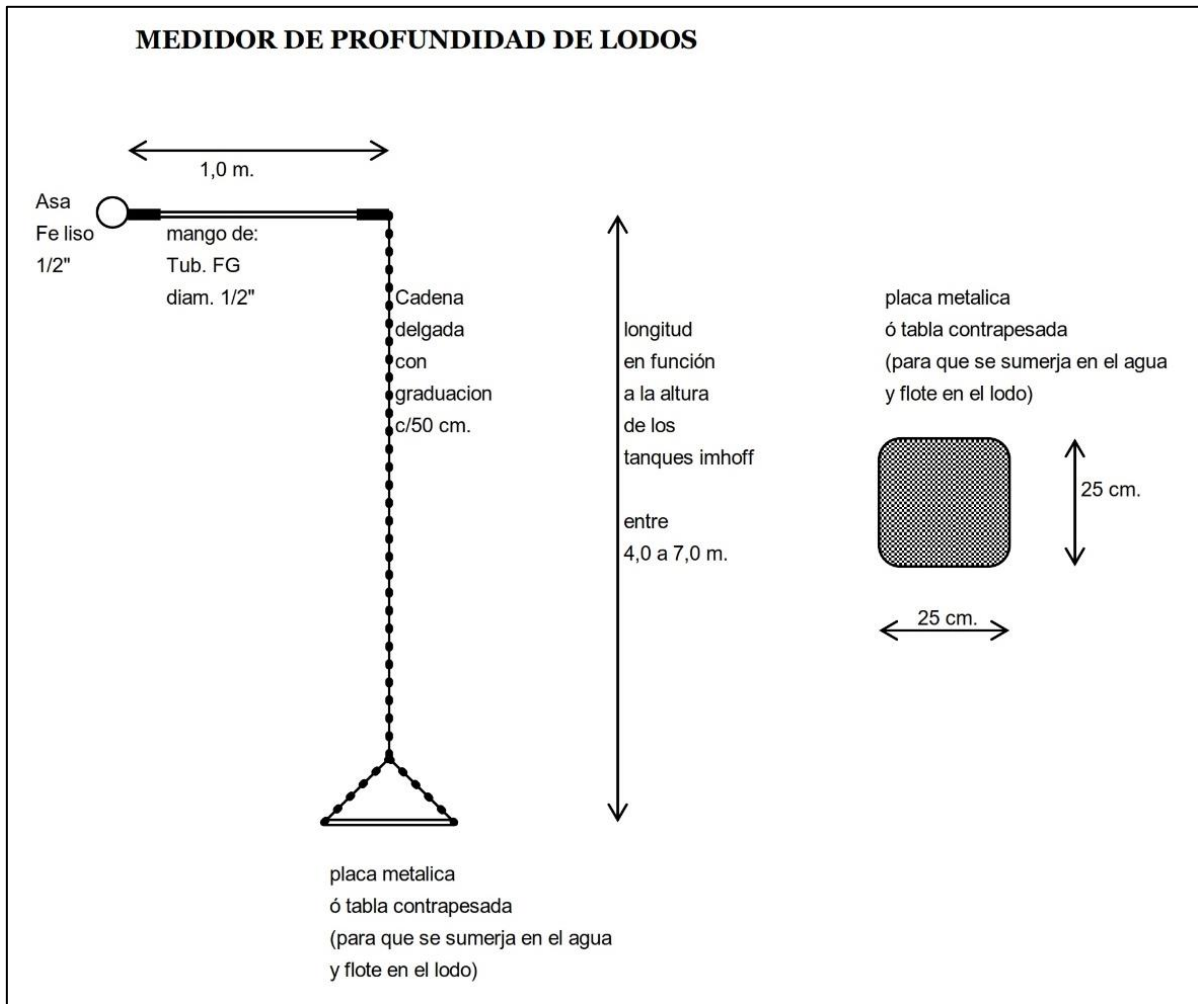
Sucursal Santa Cruz
Calle Trinidad # 15 y primer anillo
Cel.: 60992999
regional.santacruz@pcbambiental.com

Sucursal Potosí
Av. Prado San Clemente s/n
Cel.: 60995999
regional.potosi@pcbambiental.com

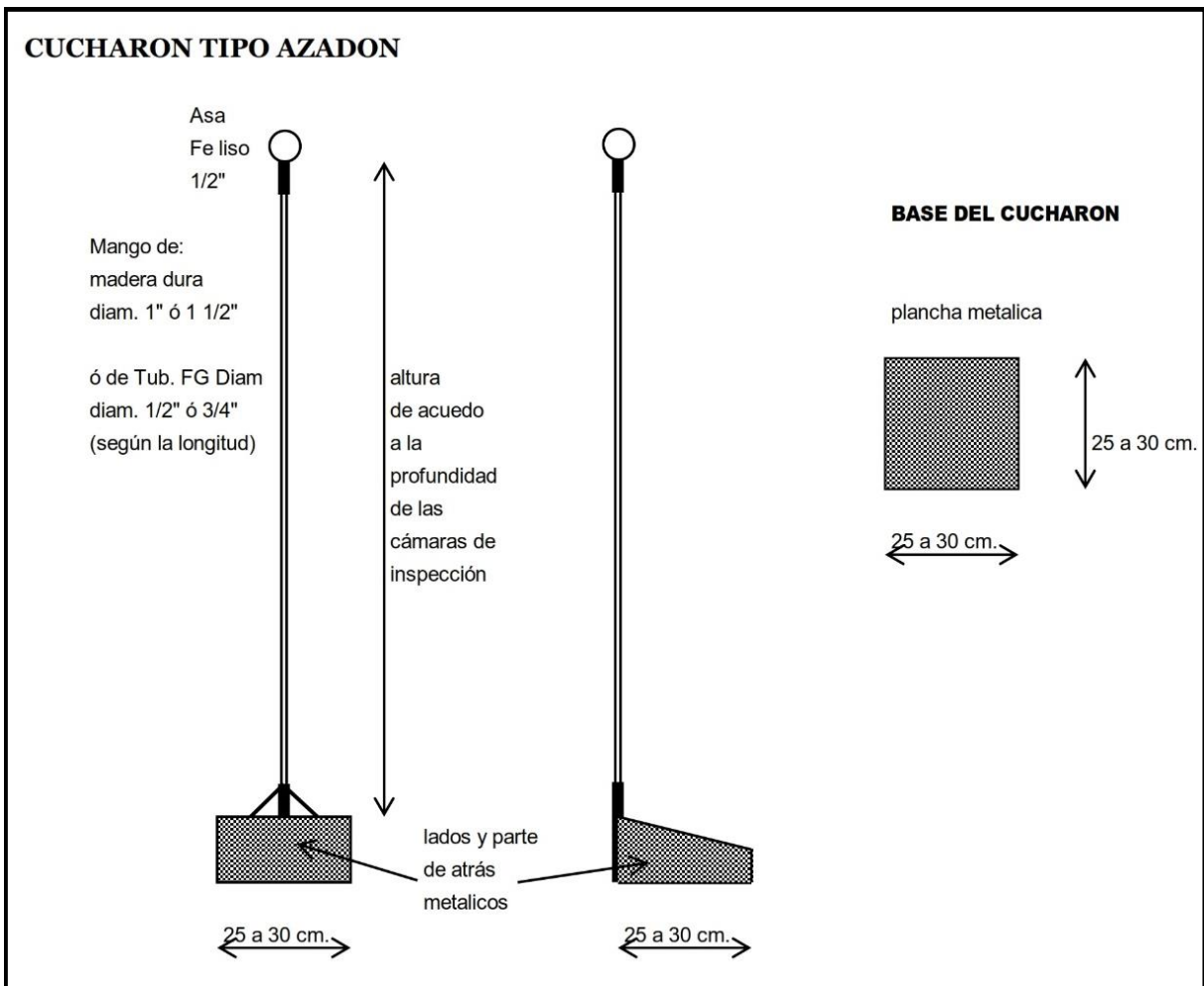
ANEXO 6. HERRAMIENTAS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO



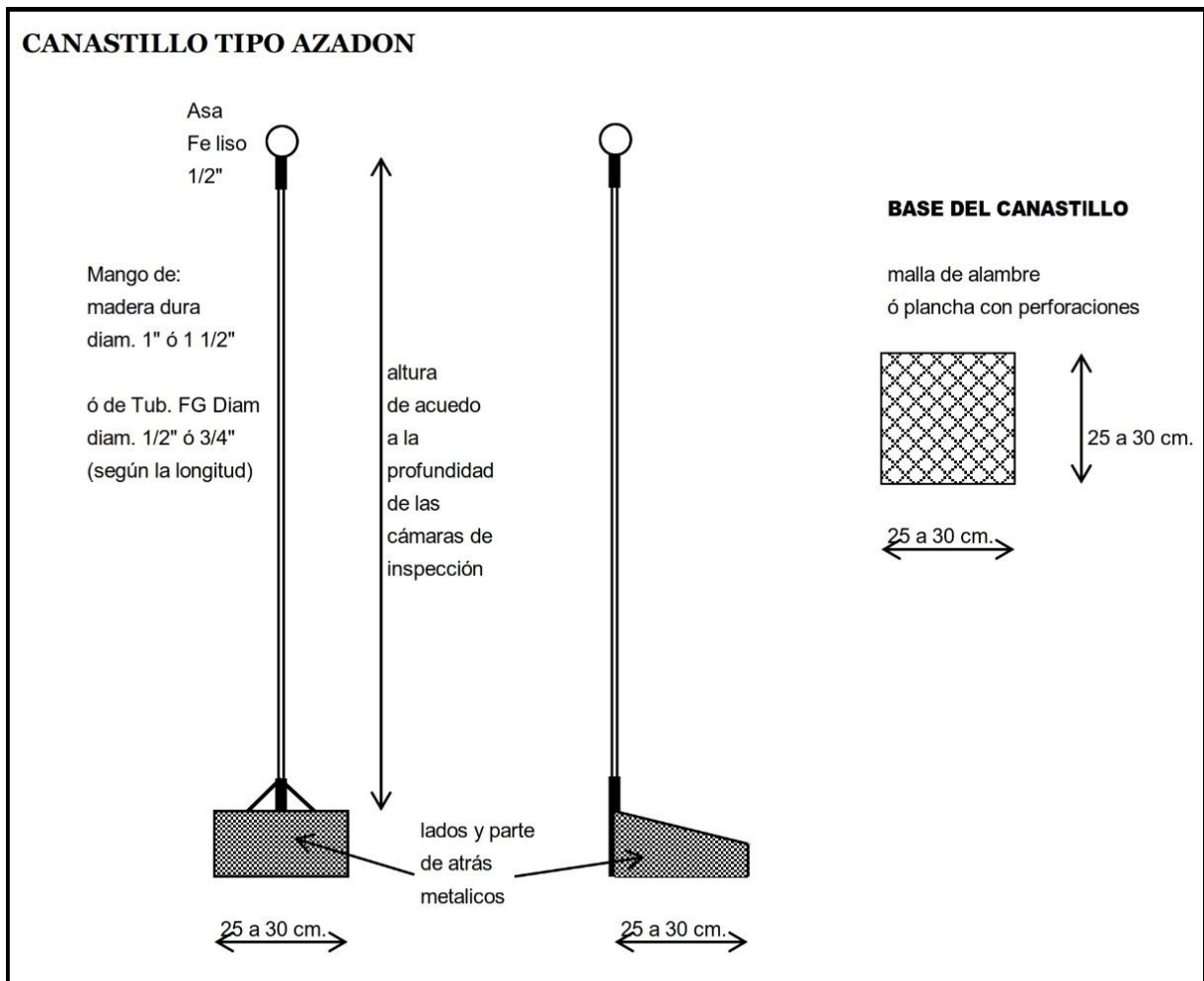
Fuente. Mancilla, 2018.



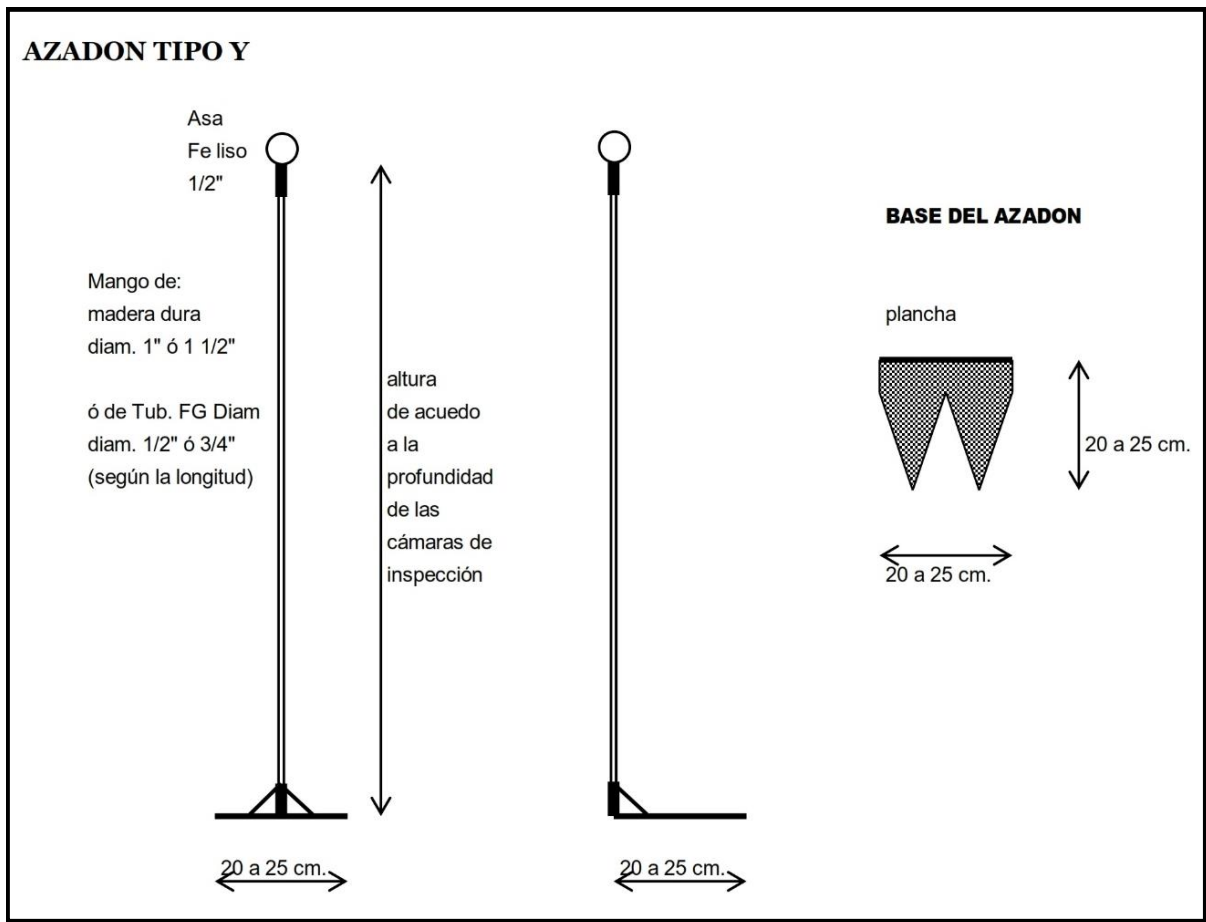
Fuente. Mancilla, 2018.



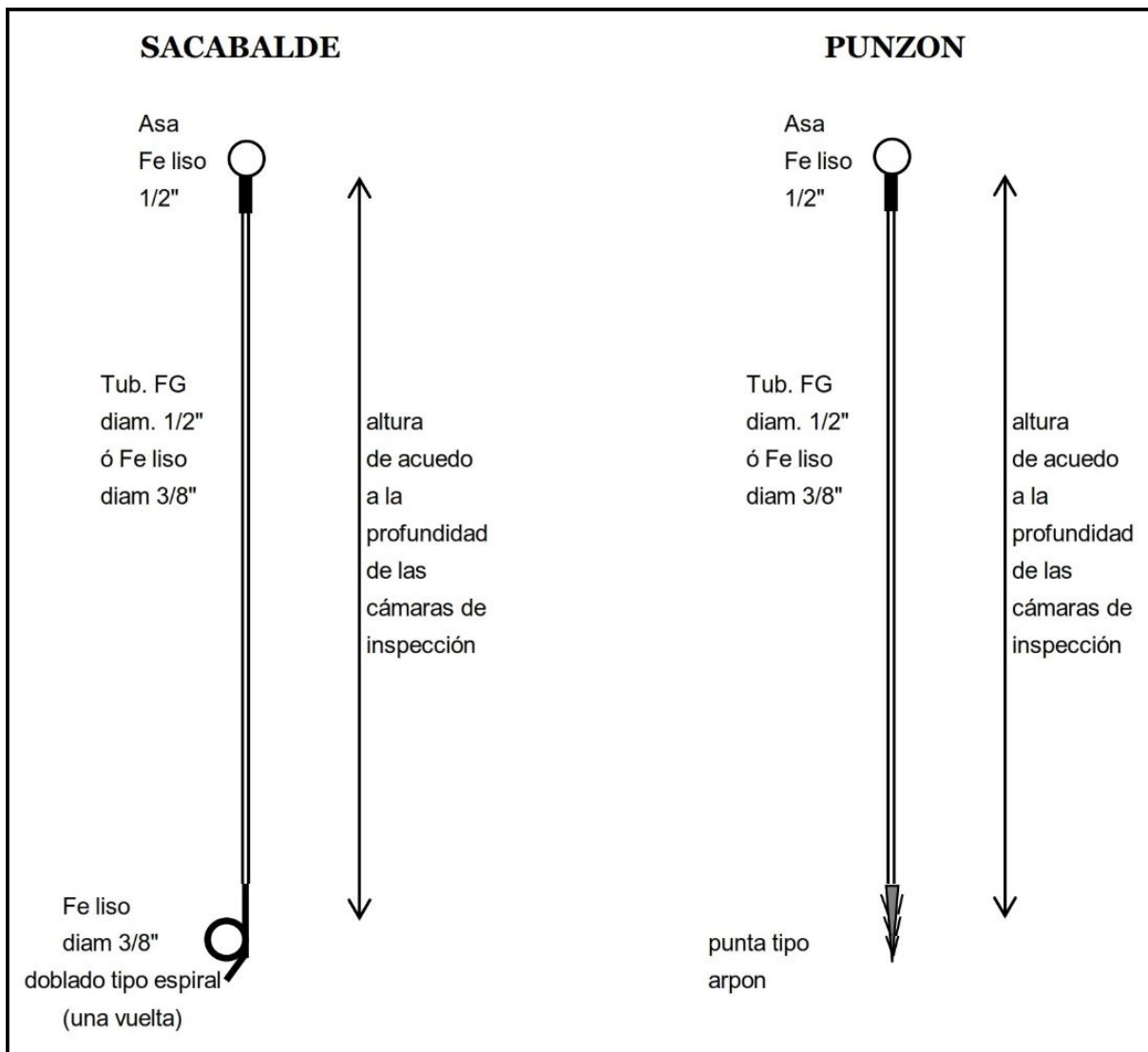
Fuente. Mancilla, 2018.



Fuente. Mancilla, 2018.



Fuente. Mancilla, 2018.



Fuente. Mancilla, 2018.

ANEXO 7. PLAN DE TRABAJO

Estas son algunas acciones a realizar en la Operación y Mantenimiento de la PTAR.

Módulo	Acción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov
Paso Directo	Limpieza superficial	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	Control y mantenimiento	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
Cámara de Rejas	Limpieza superficial	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Control y mantenimiento	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Desarenador	Limpieza superficial	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Control y mantenimiento	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Sedimentador Tanque Séptico	Limpieza superficial	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Módulo	Acción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov
	Retiro de lodos				•							
	Control y mantenimiento	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Tanque Imhoff	Limpieza superficial	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
	Retiro de lodos		•					•				
	Control y mantenimiento	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Filtro de Flujo Ascendente	Limpieza superficial	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
	Limpieza de material filtrante		•									
	Control y mantenimiento	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Lechos de Secado de Lodos	Limpieza superficial	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Módulo	Acción	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov
	Retiro de lodos											
	Control y mantenimiento	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Equipos	Limpieza superficial			•								
	Control y mantenimiento			•								

ANEXO 8. PRESUPUESTO

Mejora de las condiciones básicas de Operación y Mantenimiento

A. PERSONAL (incluye beneficios sociales)							
Nº	DESCRIPCION RESPONSABILIDAD	PROFESION ESPECIALIDAD	UNIDAD	PERSON A / MES	TIEMPO (MESES)	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	PROFESIONAL DEL AREA SOCIAL Responsable social	TRABAJADORA SOCIAL Especialista en desarrollo comunitario	Persona	0,5	18	4000,00	36000,00
2	PROFESIONAL DEL AREA Responsable técnico	ING. CIVIL Especialista en Agua y Saneamiento	Persona	1	1	5000,00	5000,00
3	PROFESIONAL TECNICO Especialista en Aguas Residuales	Especialista en proyectos de Aguas Residuales	Persona	1	18	3500,00	63000,00
TOTAL PERSONAL Bs.							104.000,00

B. VEHICULOS, ALQUILER Y MISCELÁNEOS							
Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDA D	TIEMPO (MESES)	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	
1	VEHICULOS						
		Combustible	mes	1	18	500,00	9000,00
		Mantenimiento	mes	1	18	300,00	5400,00
2	OFICINAS						
		Alquiler en la localidad	mes	1	18	200,00	3600,00
3	EQUIPOS Y MATERIALES						
		Equipo de Computación	mes	1	18	100,00	1800,00
		Equipo de Vídeo + proyector	mes	1	18	150,00	2700,00
		Material de escritorio	Gbl.	1	18	150,00	2700,00
		Toner para impresiones	Cartucho	4	18	200,00	14400,00
4	COMUNICACIONES, FAX, CORREO		mes	1	18	100,00	1800,00
5	PASAJES		Pasaje	3	18	15,00	810,00
6	VIATICOS	Responsable Social	Día	15	18	50,00	13500,00
		Responsable Técnico	Día	10	18	50,00	9000,00
		Facilitadora social	Día	10	18	50,00	9000,00
7	ALOJAMIENTO		Día	10	18	30,00	5400,00
TOTAL ALQUILER Y MISCELÁNEOS Bs.							79.110,00

C. TALLERES DE CAPACITACION					
Nº	DESCRIPCION TALLER	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	TALLER DE ARRANQUE	Taller	1	1500,00	1500,00
2	TALLER DE LIDERAZGO Y GENERO	Taller	1	2500,00	2500,00
3	TALLER DE GESTION Y ADM DE LOS SERVICIOS	Taller	1	2500,00	2500,00
4	TALLER PRACTICO DE GESTION Y ADM DE LOS SERVICIOS	Taller	1	1500,00	1500,00
5	TALLER DE PROMOCION DE HIGIENE	Taller	2	2500,00	5000,00
6	CAMPAÑA DE LAVADO DE MANOS Y PROM. DE HIGIENE	Campaña	1	5000,00	5000,00
7	TALLER DE O&M DE ALCANTARILLADO SANITARIO	Taller	1	1500,00	1500,00
8	TALLER PRACTICO DE O&M DE ALCANTARILLADO SANITARIO	Taller	1	1500,00	1500,00
9	OTROS EVENTOS	Glb	1	5000,00	5000,00
TOTAL TALLERES Bs.					26.000,00
D. MATERIAL DE DIFUSION - IEC					
Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	MATERIAL DE IEC (Afiches, Trípticos, cartillas, otros)	Gbl.	1	5000,00	5000,00
TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPOS Bs.					5.000,00
E. EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Dotación de equipo especial				
	Dotación Bomba de Extracción de lodos (Wacker PD3 con accesorios)	Pza.	1	32000,00	32000,00
	Dotación Bomba de agua de 3"(con accesorios)	Pza.	1	12000,00	12000,00
2	Dotación Herramientas especiales				
	Cucharon tipo azadón	Pza.	1	400,00	400,00
	Canastillo tipo azadón	Pza.	1	400,00	400,00
	Azadón tipo Y	Pza.	1	400,00	400,00
	Saca balde	Pza.	1	150,00	150,00
	Punta tipo arpón	Pza.	1	150,00	150,00
	Limpiadores de ranura	Pza.	1	350,00	350,00
	Raspador de Goma	Pzas	1	300,00	300,00
	Extractor de natas o desnatadora	Pzas	1	300,00	300,00
	Medidor de profundidad de lodos	Pzas	1	250,00	250,00
3	Dotación Herramientas menores				
	Picotas	Pza.	2	45,00	90,00
	Palas punta cuadrada	Pza.	2	40,00	80,00
	Rastrillo	Pza.	2	30,00	60,00
	Carretillas	Pza.	2	320,00	640,00
	Soga plástica de 1/2"	m.	20	4,50	90,00
	Cable de acero de 1/2"	m.	20	20,00	400,00
	Linterna grande	Pza.	1	50,00	50,00

EFICIENCIA DE UN REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE Y UN TANQUE IMHOFF EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Barrenos de 1" L=2m	Pza.	2	100,00	200,00
Baldes de construcción	Pza.	2	25,00	50,00
Escalera de aluminio 2,50 extensible a 5 m.	Pza.	1	1200,00	1200,00
TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPOS Bs.				49.560,00

F.- GARANTIAS - SEGUROS - AFP - IVA				UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Costos Bancarios GARANTIA DE CUMPLIMIENTO DE CONTRATO			Gbl	1	450,00	450,00
2	Costos Bancarios GARANTIA DE CORRECTA INVERSION DE ANTICIPO			Gbl	1	450,00	450,00
3	SEGURO CONTRA ACCIDENTES			Gbl	3	250,00	750,00
4	PAGO A LA GESTORA	14,42%	de (A)	Gbl	14,42%	104000,00	14996,80
5	IVA (Impuesto al valor agregado)	14,94%	de (A)	Gbl	14,94%	104000,00	15537,60
TOTAL GARANTIAS Bs.							32.184,40

G. GASTOS GENERALES Y UTILIDADES				UNIDAD	CANTIDAD %	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	GASTOS GENERALES	5%	de (A+B+C+D+E+F)	Gbl	5%	295854,40	14792,72
2	UTILIDAD	5%	de (A+B+C+D+E+F)	Gbl	5%	295854,40	14792,72
TOTAL GARANTIAS Bs.							29.585,44

H. IMPUESTO IT				UNIDAD	CANTIDAD %	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	IT (Impuesto a las transacciones)	3,09%	(A+B+C+D+E+F+G)	Gbl	3,09%	320439,84	9901,59
TOTAL IMPUESTOS Bs.							9.901,59
COSTO TOTAL DEL SERVICIO (A+B+C+D+E+F+G)					Bs.	330.341,43	

Ampliar o implementar una línea técnicamente adecuada para el tratamiento de lodos

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
MEDIDAS DE MITIGACION AMBIENTAL				11.744,71
FORESTACION	PLANT	250	9,92	2.480,00
CONTROL Y MANEJO DE RESIDUOS LIQUIDO (PTAR)	GLB	1	3501,97	3.501,97
CONTROL Y MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS (PTAR)	GLB	1	3501,97	3.501,97
CAPACITACION Y CONCIENTIZACION AMBIENTAL	GLB	1	2260,77	2.260,77
LECHO DE SECADO				372.551,79
EXCAVACION CON MAQUINARIA TERRENO SEMIDURO	M³	220,44	31,5	6.943,86
SOLADURA DE PIEDRA E=0.15M	M²	387,42	55,7	21.579,29
LOSA DE FONDO DE H°A° - DOSIF. 1:2:3 H21	M³	58,22	2506,49	145.927,85
MURO DE H°A° - DOSIF. 1:2:3 H21	M³	13,32	3490,42	46.492,39
HORMIGON ARMADO P/TAPAS	M³	0,15	1890,58	283,59
REVOQUE Y ENLUCIDO DE CEMENTO C/IMPER. SIKA 1	M²	462,4	175,56	81.178,94
REVOQUE DE CEMENTO	M²	64,38	75,78	4.878,72
PROV. Y COL. TUB. PVC D=150MM PERF. D=1/2" C/15CM	M	27,5	88,41	2.431,28
PROV. Y COL. GRAVA 25MM - 50MM P/FILTRO	M³	93,5	145,38	13.593,03
PROV. Y COL. GRAVA 4.8MM - 12.50MM P/FILTRO	M³	37,13	141,32	5.247,21
PROV. Y COL. GRAVA 0.3MM - 2MM P/FILTRO	M³	37,4	135,23	5.057,60
PROV. Y COL. LADRILLO GAMBOTE P/LECHO	M²	374	99,95	37.381,30
RELLENO Y COMP. MANUAL CON MAT. COMUN C/COMP.	M³	31,5	49,42	1.556,73
COSTO TOTAL				384.296,50

Mejorar el diseño de los desarenadores

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
EXCAVACION MANUAL EN TERRENO SEMIDURO 0 - 2 M.	M ³	4,97	40,6	201,78
SOLADURA DE PIEDRA E=0.15M	M ²	20,8	55,7	1.158,56
LOSA DE FONDO DE H°A° - DOSIF. 1:2:3 H21	M ³	2,45	2.506,49	6.140,9
MURO DE H°A° - DOSIF. 1:2:3 H21	M ³	6,42	3.490,42	22.408,5
REVOQUE Y ENLUCIDO DE CEMENTO C/IMPER. SIKA 1	M ³	56,22	175,56	9.869,98
PROV. Y COL. COMPUERTA METALICA 0.40X1.10M	PZA	1	2.353,92	2.353,92
PROV. Y COL. COMPUERTA METALICA 0.60X0.65M	PZA	4	2.047,78	8.191,12
PROV. Y COL. REJA METALICA 0.40X1.15M	PZA	1	629,08	629,08
PROV. Y COL. LLAVE DE PASO CORTINA BR. 6"	PZA	2	3.248,93	6.497,86
PROV. Y COL. VERTEDOR DE PLANCHA 0.45X0.35M E=1/8"	PZA	2	105,84	211,68
TOTAL				57.663,38

ANEXO 9. ENCUESTA (EVALUACIÓN DE LA PERCEPCIÓN SOCIOAMBIENTAL)

Preguntas para muestras con dificultad de acceso y manejo de celular

1. ¿Qué tan importante considera que es el tratamiento adecuado de aguas residuales para la protección del medio ambiente?

Muy importante Importante Poco importante No importa en absoluto

2. ¿Qué aspecto del tratamiento de aguas residuales le preocupa más en relación con el medio ambiente?

Contaminación de cuerpos de agua Emisiones de gases de efecto invernadero Efectos en la biodiversidad Salud pública

3. ¿Le gustaría recibir información sobre cómo el tratamiento de aguas residuales afecta la salud pública en su área?

Sí, definitivamente Sí, tal vez No, no me interesa No, no creo que sea relevante

4. ¿Qué aspecto relacionado con la salud pública considera más crítico en la operación de la PTAR?

Calidad del agua tratada Prevención de enfermedades Información sobre riesgos para la salud Acceso a servicios de salud en la comunidad

5. ¿Está interesado en participar activamente en la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)?

Sí, definitivamente Sí, tal vez No, preferiría no participar No, no estoy interesado

6. ¿Cómo preferiría participar en la evaluación de la PTAR?

Asistiendo a reuniones comunitarias Respondiendo encuestas en línea Participando en grupos de enfoque No tengo interés en participar

7. ¿Qué tan dispuesto estaría a pagar más por un servicio de tratamiento de aguas residuales más sostenible?

Muy dispuesto Algo dispuesto Poco dispuesto No dispuesto en absoluto

8. ¿Qué medidas considera más efectivas para mejorar la sostenibilidad económica de la PTAR?

Aumentar tarifas Implementar tecnologías más eficientes Promover la educación sobre el uso responsable del agua Buscar financiamiento externo

9. ¿Qué tipo de mejoras le gustaría ver implementadas en la PTAR?

Mejora en la eficiencia del tratamiento Uso de energías renovables Mayor transparencia en los procesos Educación y concienciación de la comunidad

10. ¿Qué fuente de innovación considera más relevante para la PTAR?

Investigaciones académicas Experiencias de otras comunidades Nuevas tecnologías en tratamiento de aguas Propuestas de la comunidad

Preguntas para muestras con facilidad de acceso y manejo de celular



EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LOS MUNICIPIOS DE MOJOCOYA Y ZUDÁÑEZ, CHUQUISACA

Se pretende evaluar la eficiencia de la PTAR, diseñada con métodos mejorados y/o combinados para el tratamiento de aguas residuales del centro poblado de Redención Pampa (Mojocoya). El resultado expresara la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales de acuerdo a los valores y estándares de eficiencia aplicados conforme la Resolución Administrativa Regulatoria AAPS N°300/2018 y normativa ambiental vigente.

* Indica que la pregunta es obligatoria

1. ¿Qué tan importante considera que es el tratamiento adecuado de aguas residuales para la protección del medio ambiente? *

- Muy importante
- Importante
- Poco importante
- No importa en absoluto

2. ¿Qué aspecto del tratamiento de aguas residuales le preocupa más en relación con el medio ambiente? *

- Contaminación de cuerpos de agua
- Emisiones de gases de efecto invernadero
- Efectos en la biodiversidad
- Salud pública

3. ¿Le gustaría recibir información sobre cómo el tratamiento de aguas residuales afecta la salud pública en su área? *

- Sí, definitivamente
- Sí, tal vez
- No, no me interesa
- No, no creo que sea relevante

4. ¿Qué aspecto relacionado con la salud pública considera más crítico en la operación de la PTAR? *

- Calidad del agua tratada
- Prevención de enfermedades
- Información sobre riesgos para la salud
- Acceso a servicios de salud en la comunidad

5. ¿Está interesado en participar activamente en la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)? *

- Sí, definitivamente
- Sí, tal vez
- No, preferiría no participar
- Opción 4

6. ¿Cómo preferiría participar en la evaluación de la PTAR? *

- Asistiendo a reuniones comunitarias
- Respondiendo encuestas en línea
- Participando en grupos de enfoque
- No tengo interés en participar

7. ¿Qué tan dispuesto estaría a pagar más por un servicio de tratamiento de aguas residuales más sostenible? *

- Muy dispuesto
- Algo dispuesto
- Poco dispuesto
- No dispuesto en absoluto

8. ¿Qué medidas considera más efectivas para mejorar la sostenibilidad económica de la PTAR? *

- Aumentar tarifas
- Implementar tecnologías más eficientes
- Promover la educación sobre el uso responsable del agua
- Buscar financiamiento externo

9. ¿Qué tipo de mejoras le gustaría ver implementadas en la PTAR? *

- Mejora en la eficiencia del tratamiento
- Uso de energías renovables
- Mayor transparencia en los procesos
- Educación y concienciación de la comunidad

10. ¿Qué fuente de innovación considera más relevante para la PTAR? *

- Investigaciones académicas
- Experiencias de otras comunidades
- Nuevas tecnologías en tratamiento de aguas
- Propuestas de la comunidad

Enviar

Borrar formulario