

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

**VICERRECTORADO**

**CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN CEPI**



**ESTABLECIMIENTO DE LINEAS DE ACCIÓN EN LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO  
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “EL CAMPANARIO” DEL  
MUNICIPIO DE SUCRE**

**TRABAJO EN OPCIÓN DE GRADO DE MAESTRIA EN GESTIÓN INTEGRAL DE  
RESIDUOS SOLIDOS Y AGUAS RESIDUALES**

**MAESTRANTE: ING. CLIVER PÉREZ ROJAS**

**TUTOR: ING. MSc. ARNULFO BORGES HUANCA**

*Bolivia, Sucre – 2024*

## ÍNDICE

RESUMEN.....	.....
INTRODUCCIÓN.....	.....
1. ANTECEDENTES.....	.....2
2. SITUACION PROBLEMICA.....	.....5
3. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	.....6
4. JUSTIFICACIÓN.....	.....7
5. OBJETO DE ESTUDIO.....	.....7
6. CAMPO DE ACCIÓN.....	.....7
7. OBJETIVOS.....	.....8
7.1. Objetivo General:.....	.....8
7.2. Objetivos Específicos.....	.....8
8. EL APORTE PRÁCTICO.....	.....8
9. LA SIGNIFICANCIA PRÁCTICA.....	.....9
10. ACTUALIDAD.....	.....9
11. NOVEDAD.....	.....10
12. PERTINENCIA SOCIAL.....	.....10
13. DISEÑO METODOLÓGICO.....	.....11
13.1. Idea a defender.....	.....11
13.2. Enfoque de la investigación.....	.....11
13.3. Tipo de investigación.....	.....12
13.3.1. Investigación de Campo.....	.....12
13.3.2. Investigación Documental.....	.....12
13.4. Alcances de la Investigación.....	.....13
13.4.1. Exploratorio.....	.....13

13.4.2. Descriptiva .....	13
13.5. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	14
13.5.1. Métodos.....	14
a) Métodos empíricos .....	14
b) Métodos Teóricos .....	15
13.6. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	17
CAPÍTULO I.....	21
MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL .....	21
1.1. MARCO TEÓRICO.....	21
1.2. MARCO CONCEPTUAL.....	29
1.3. MARCO LEGAL .....	34
1.4. MARCO CONTEXTUAL .....	38
CAPITULO II.....	42
DIAGNÓSTICO.....	42
Características generales.....	42
2.1. LOCALIZACION DE LA INVESTIGACION.....	47
2.2. LA PLANTA TIENE UN TRATAMIENTO CON UN SISTEMA COMBINADO.....	49
2.2.1. <i>PRE TRATAMIENTO</i> .....	50
2.2.2. TRATAMIENTO PRIMARIO .....	51
2.2.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO .....	53
2.2.4. TRATAMIENTO DE LODOS .....	55
2.3. RESULTADOS.....	56
2.3.1. INDICADOR “A”: CAPACIDAD DE TRATAMIENTO UTILIZADA EN LA PTAR (CTUP) .....	59
2.3.2. INDICADOR “B”: CONDICIONES BÁSICAS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PTAR (CBO) .....	66

2.3.3. INDICADOR “C”: GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LA PTAR (GEM).....	75
2.3.4. INDICADOR “D”: EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DE LA PTAR (EfPTAR).....	78
2.3.5. INDICADOR “E”: TRATAMIENTO DE LODOS GENERADOS EN LA PTAR (TLG)	82
2.4. LIMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL REGLAMENTO EN MATERIA DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA.....	83
2.4.1. pH.....	83
2.4.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub> .....	85
2.4.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	86
2.4.4. Conductividad Eléctrica.....	88
2.4.5 Solidos Suspendidos Totales SST del Efluente .....	89
RESUMEN DE LOS LÍMITES PERMISIBLES.....	90
2.5. AGUAS RESIDUALES Y SU REÚSO EN LA AGRICULTURA.....	91
2.6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	93
CAPÍTULO III.....	97
PROPUESTA.....	97
3.1. LÍNEAS DE ACCIÓN PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA PTAR EL CAMPANARIO .....	97
3.2. VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL REGLAMENTO EN MATERIA DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA	107
3.3. REUSÓ DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO “EL CAMPANARIO” PARA LA AGRICULTURA .....	108
3.3.1. LOS TRABAJADORES AGRÍCOLAS, ANTES, DURANTE Y DESPUÉS DEL RIEGO .....	111
3.3.2. MEJORAR LA CALIDAD SANITARIA DE LOS PRODUCTOS DE CONSUMO ...	112
APORTE TEÓRICO.....	112

APORTE METODOLÓGICO.....	114
3.4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	115
3.4.1. CONCLUSIONES.....	115
3.4.2. RECOMENDACIONES.....	118
4. BIBLIOGRAFIA .....	120
ANEXOS.....	122

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1:</b> Principales Cultivos Hortícolas en el Distritos 6, 7 y 8.ZAS.....	43
<b>Cuadro 2:</b> Usuarios de Agua Potable y Alcantarillado.....	46
<b>Cuadro 3:</b> Capacidad de Tratamiento actual respecto al Caudal del afluente .....	59
<b>Cuadro 4:</b> Capacidad de Tratamiento actual respecto a la Población Servida. ....	62
<b>Cuadro 5:</b> Resumen de Capacidad de Tratamiento Actual Respecto a la Carga Orgánica...65	
<b>Cuadro 6:</b> Condiciones para la Gestión de Personal Operativo.....	71
<b>Cuadro 7:</b> Resumen Condiciones Básicas para la Operación y Mantenimiento .....	75
<b>Cuadro 8:</b> Parámetros de diseño de Eficiencia de Tratamiento de la PTAR.....	79
<b>Cuadro 9:</b> Criterio de comparación respecto a la eficiencia de diseño .....	81
<b>Cuadro 10:</b> Cuadro Comparativo.....	85
<b>Cuadro 11:</b> Comparativo de DBO5 en Mg/L.....	86
<b>Cuadro 12:</b> Comparación de DQO EN (Mg/L).....	87
<b>Cuadro 13:</b> Comparación Conductividad Eléctrica.....	89
<b>Cuadro 14:</b> Valores del efluente en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica ...90	
<b>Cuadro 15:</b> Veneficios y riesgos .....	92
<b>Cuadro 16:</b> Capacidad de Tratamiento Utilizada en la PTAR (CTUP) .....	98
<b>Cuadro 17:</b> Condiciones Básicas para la Operación y Mantenimiento de la PTAR (CBO)..100	
<b>Cuadro 18:</b> Gestión de Mantenimiento de la PTAR (GEM) .....	103
<b>Cuadro 19:</b> Eficiencia de Tratamiento de la PTAR (EfPTAR). ....	105
<b>Cuadro 20:</b> Tratamiento de Lodos Generados en la PTAR (TLG) .....	106
<b>Cuadro 21:</b> Verificación de los Limites permisibles en la normativa nacional y los resultados del análisis de laboratorio - 2022.....	107

<b>Cuadro 22:</b> Cultivo de Lechuga con uso de agua residual.....	109
--	-----

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Indicadores y Variables para la Guía de PTAR .....	57
<b>Tabla 2:</b> Las condiciones objeto de evaluación .....	67
<b>Tabla 3:</b> Estado, funcionalidad de la Infraestructura o servicio: .....	68
<b>Tabla 4:</b> Ponderación de datos Cualitativos Sobre Gestión del Personal Operativo .....	71
<b>Tabla 5:</b> Componentes sobre Documentación Técnica Especifica.....	74
<b>Tabla 6:</b> Valores Del pH en el Efluente .....	84
<b>Tabla 7:</b> Valores de DBO <sub>5</sub> del Efluente .....	85
<b>Tabla 8:</b> Valores de DQO del Efluente.....	87
<b>Tabla 9:</b> Valores de Conductividad Eléctrica en el Efluente .....	88
<b>Tabla 10:</b> Valores de SST del Efluente .....	89

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo N° 1:</b> Caudales .....	123
<b>Anexo N° 2:</b> Resumen de Caudales.....	124
<b>Anexo N° 3</b> Sólidos en Afluente de la PTAR El Campanario - 2022 .....	124
<b>Anexo N° 4:</b> Análisis de las aguas en Lechos Percoladores.....	126
<b>Anexo N° 5:</b> Volumen del Lodo Líquido Generado en la Planta del Campanario .....	128
<b>Anexo N° 6:</b> Volumen de lodo seco .....	129
<b>Anexo N° 7:</b> Análisis Completo Laboratorio de la propia Planta El Campanario - 2022 .....	130
<b>Anexo N° 8:</b> Análisis de Lodo .....	131
<b>Anexo N° 9:</b> Análisis de todas las variables .....	132
<b>Anexo N° 10:</b> Lectura de DBO <sub>5</sub> y DQO.....	133
<b>Anexo N° 11:</b> Reporte de Ensayo - Análisis de agua.....	134
<b>Anexo N° 12:</b> Maqueta de la Planta El Campanario.....	135
<b>Anexo N° 13:</b> Equipos de Laboratorio .....	135
<b>Anexo N° 14:</b> Guía de la entrevista .....	136
<b>Anexo N° 15:</b> Solicitud de Información estructurada .....	138
<b>Anexo N° 16:</b> Guía de campo de observación estructurada.....	139

## RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo establecer líneas de acción en la Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” del Municipio de Sucre, Departamento de Chuquisaca, en su primera parte se presenta los antecedentes, donde se explican las características, orígenes, historia sobre el tratamiento de las aguas residuales en la fase de operación y mantenimiento de las Plantas, se identifica los diferentes problemas que se tiene en el campanario y se establece la pregunta de investigación. La metodología que se utilizó en la tesis tiene un enfoque mixto, su alcance es exploratorio y descriptivo, se aplicó métodos empíricos y teóricos. Llegando a establecerse todo el tren de tratamiento de aguas residuales en la PTAR el Campanario como la muestra para la presente investigación.

En el capítulo uno se tiene el Marco Teórico, resaltando las investigaciones más importantes realizadas por otros autores pero que tienen relación con el tema de la presente investigación, se tiene también el marco conceptual donde se describe las principales definiciones, características de aguas residuales; también en este acápite se tiene un desglose de toda la legislación vigente con relación a tratamiento y reuso de aguas residuales; al interior de este capítulo se desarrolla el marco contextual donde se describe el contexto, la situación se encuentra al momento de realizar la investigación

En el capítulo dos se tiene un diagnóstico actual, donde se describe las características de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Campanario, todo el tren de tratamiento, la Operación el mantenimiento que se realiza y la tecnología se utiliza en la planta.

En el acápite de los resultados se presentan de manera ordenada todos los resultados de acuerdo a nuestros objetivos planteados, en base a la Guía para Aplicación de Herramientas e Instrumentos de Seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las PTAR en Bolivia; el Manual de Operación y Mantenimiento, Descripción de Obas de la Planta de tratamiento de aguas residuales El Campanario: la Guía Técnica para el Reúso de Aguas Residuales en Bolivia, aprobada mediante la Resolución Ministerial N° 583 y el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica proveniente de la Ley 1333 de Medio Ambiente.

Finalmente se describen las propuestas, las conclusiones y recomendaciones

## PALABRAS CLAVES

**PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES:** Unidad o conjunto de unidades destinadas a mejorar la calidad del agua residual de tal forma que produzcan en los cuerpos receptores, efectos compatibles con las exigencias legales y/o con la utilización aguas abajo de la población.

**PTAR:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

**CBO:** Condiciones Básicas para la Operación y Mantenimiento de la PTAR.

**OPERACIÓN:** Conjunto de acciones que se efectúan para poner en funcionamiento todos los componentes o partes de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

**O\$M:** Operación y Mantenimiento.

**AFLUENTE:** Agua Residual que ingresa a un proceso de tratamiento.

**CUERPO RECEPTOR:** Cualquier curso de agua natural o masa de agua natural o de suelo que recibe el lanzamiento o descarga del efluente final.

**CARGA PER CÁPITA:** Corresponde a la carga contaminante promedio de un determinado parámetro, generada por una persona en un día.

**CALIDAD DEL AGUA:** Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.

**CAPACIDAD DE TRATAMIENTO:** Conjunto de condiciones técnicas y operativas con las que cuenta una planta de tratamiento, que permiten minimizar o eliminar la presencia de contaminantes que se encuentran en el agua.

**POBLACIÓN EQUIVALENTE:** Número de habitantes estimado que aportaría una cantidad determinada de un parámetro específico (generalmente DBO5 o Sólidos Suspendidos); suele utilizarse con referencia a descargas industriales.

**POBLACIÓN SERVIDA:** Número de habitantes que aportan al sistema de recolección y evacuación de aguas residuales con descarga a una PTAR.

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>):** Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer biológicamente la materia orgánica carbonácea expresada en mg/l. Se determina en laboratorio a una temperatura de 20°C y en 5 días.

**DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO):** Es la cantidad de oxígeno necesario para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica expresada en mg/l. Se determina en laboratorio por un proceso de digestión en un lapso de 3 hora.

**SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES:** Es la cantidad de sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en el agua en forma molecular, ionizada o en suspensión coloidal. La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables a través de una membrana con poros de 2.0 µm (o más pequeños).

**SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES:** Cantidad de sustancias que se encuentran en mezcla heterogénea y pueden ser removidas del agua por medios físicos o mecánicos. Constituyen residuos no filtrables retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105°C hasta peso constante.

**TRATAMIENTO:** Proceso de transformación físico, químico y/o biológico de las aguas residuales con el fin de reducir o eliminar contaminantes que puedan provocar efectos negativos en el hombre y/o en el medio ambiente.

**PERIODO DE DISEÑO:** Es el tiempo para el cual se proyecta la PTAR, para proporcionar un servicio de calidad y eficiencia, sin incurrir en costos innecesarios y optimizando la economía de la misma.

**VIDA ÚTIL:** Periodo durante el cual una infraestructura estará apta para cumplir su función de manera óptima, eficiente y continua.

## INTRODUCCIÓN

### 1. ANTECEDENTES

Con el pasar del tiempo, con la creciente tendencia de la globalización, el avance de la tecnología, el enorme crecimiento de la industria, las actividades económicas, han generado una serie de factores contaminantes muy elevados que afectan de manera directa los recursos agua, medio ambiente, entre otros. De aquí surge la necesidad de las entidades gubernamentales y sociedad en general de buscar soluciones inmediatas que mejoren las condiciones ambientales del entorno y que le permita a la humanidad gozar de una calidad de vida aceptable.

El crecimiento demográfico, la urbanización y el incremento en el consumo de agua en los hogares, en la agricultura y la industria, han aumentado significativamente el uso global del agua. Ante esta problemática, el saneamiento de las aguas residuales adquiere mas importancia para asegurar su recolección, conducción, tratamiento y adecuada disposición en los cuerpos receptores, en condiciones que no perjudiquen al medio ambiente y a la salud de la población Peña, M.E, Ducci, J y Zamora, V. (2013).

Las aguas residuales producen un nivel de contaminación donde se encuentran residuos sólidos, grasas, detergentes, desechos orgánicos e inorgánicos. etc. Estos requieren de un tratamiento para su eliminación parcial o total; la importancia de la descontaminación radica en la posibilidad de devolverlas a su origen natural o ser reutilizada para algunas actividades agrícolas, contribuyendo al aprovechamiento del líquido, sobre todo en algunos períodos de sequía donde se presenta escases de agua para el riego y a la sostenibilidad ambiental sin que representen peligro alguno para la vida humana. Seoáñez Calvo, (1995)

En muchas localidades de Bolivia, tanto en el área urbana como rural, se construyeron plantas para el tratamiento de aguas residuales con tecnologías convencionales de costos de operación y mantenimiento relativamente altos, que, junto con la carencia de modelos de gestión apropiados para el servicio, resultaron en el descuido y funcionamiento inadecuado de los sistemas construidos. Ameller , (2014). Por otra parte, de acuerdo a Medina (2013) la legislación sobre el tratamiento de las aguas residuales producto del uso doméstico e

industrial en nuestro país, se encuentra dispersa e inmersa en varios instrumentos jurídicos referidos al aprovechamiento, manejo, conservación y preservación de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente. En Bolivia de acuerdo el Informe de la Plataforma Virtual de EPSAs reguladas por la AAPS que tienen PTAR a la gestión 2020, se tiene un número total de 70 EPSAs.

Según Alvestegui (220) en Bolivia de las aguas residuales generadas se estima que solo el 27% son tratadas y en las ciudades con mayor de 10.000 habitantes, la tasa de tratamiento de aguas residuales es de 39%.

De acuerdo al Plan Sectorial de Desarrollo de Saneamiento Básico 2011-2015. En Bolivia, aproximadamente 2.3 millones de habitantes no tienen acceso al Agua Potable, de los cuales un 75% corresponden al área rural. Cerca de 5 Millones de habitantes no tienen acceso a un adecuado servicio de Saneamiento básico, de los cuales un 57% corresponden al área rural.

La alteración de la composición biológica y física del agua es un tema crucial, de aquí surge la idea de la implementación de un sistema que ayude a reducir el porcentaje de la contaminación del agua, así reducir el impacto que produce en el medio ambiente sobre todo en mares y ríos López Salazar, (2016). Las plantas de tratamiento de aguas residuales se construyen con el propósito de proteger el ambiente y la salud, por consiguiente, su impacto ambiental debería ser positivo. Sin embargo, al hacer el análisis de este impacto, debe considerarse la posibilidad de que se presenten aspectos negativos; los impactos negativos más importantes de una planta de tratamiento son la presencia de malos olores y de mosquitos, con frecuencia ligados a problemas de operación o falta de mantenimiento de las instalaciones de tratamiento y de la infraestructura. León Suematsu, (1995).

En La ciudad de Sucre la administración, provisión, ampliación y tratamiento de agua potable y aguas residuales está a cargo de la Empresa Local de Agua Potable y Alcantarillado Sucre (ELAPAS), que fue creada mediante Decreto Supremo N° 07309 de 2 de septiembre de 1965 y reorganizada por Decreto Supremo N° 10601 de 24 de noviembre de 1972. Posteriormente, modifica su Estatuto Jurídico por determinación del Decreto Supremo N° 21021 de 01 de agosto de 1985, siendo una Empresa Pública descentralizada del Municipio, que goza de autonomía de gestión económica, administrativa, financiera y patrimonio propio, bajo la tuición y súper vigilancia del Gobierno Municipal de la Ciudad de Sucre. ELAPAS,

cuenta con Licencia de Funcionamiento en la ciudad de Sucre, otorgada por la Autoridad de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS), suscrito con la Superintendencia de Aguas en aquella época denominada República de Bolivia, ex Superintendencia de Saneamiento Básicos (SISAB), en aspectos normativos y fiscalización, la tuición se ejerce a través del Ministerio de Medioambiente y Agua Potable, en el ámbito de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario. (ELAPAS, 2017). Sin dejar de lado la tuición que tiene el Concejo Municipal de Sucre en su rol fiscalizador dentro su jurisdicción y otras instituciones llamadas por ley.

El sistema de agua cruda no tratada para la ciudad de sucre proviene de varias fuentes como es del Rio Ravelo, Rio Perasmayu, Rio Cajamarca y de las vertientes de agua que se encuentran a lo largo del canal Ravelo cuyas aguas son conducidas al canal, para transportarlos a la Planta de Tratamiento de Agua Potable “El Rollo”, posterior a su tratamiento se distribuyen en toda la ciudad en 16 redes principales, algunas de estas alimentan a los tanques de almacenamiento que se tiene en las diferentes zonas para el abastecimiento de agua potable en la ciudad.

De acuerdo al periódico Local Correo del Sur, que publico el 2018. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” fue construida con el Proyecto Sucre II, entró en funcionamiento el año 2003, tiene un tiempo de vida útil de 30 años. Está diseñada para una capacidad máxima de tratamiento de 1.458 m<sup>3</sup>/hora, y materia orgánica de 600 ppm, la planta de tratamiento tiene un sistema combinado de tratamiento convencional (tanques Imhoff, lechos percoladores), tratamiento con lagunas de maduración y de sedimentación, tratamiento de lodos.

La red de alcantarillado sanitario, tiene un drenaje combinado se realiza la recolección a través de colectores clasificados por emisarios, existen colectores de aguas pluviales, que están diferenciados, hasta llegar a los embovedados en el cual se mezclan con aguas servidas, estas redes conducen hasta el emisario principal ubicado en zona del Tejar para conducir hasta la Planta de Tratamiento “El Campanario”.

El origen de la investigan parte de que el crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización, el aumento de la producción y el consumo han generado una demanda de agua dulce cada vez mayor en la ciudad, a mayor demanda de agua dulce se tendrá mayor

disposición de aguas residuales, en nuestro medio la contaminación de los cuerpos de agua es uno de los problemas más complejos que enfrenta la gestión de recursos hídricos, esto no sólo está vinculado a los costos elevados y el grado de dificultad tecnológica que supone el tratamiento de las aguas residuales, sino también a las debilidades institucionales, en la formación y capacitación de los operadores en la PTAR, la escasa conciencia social que considere al tratamiento de aguas residuales algo fundamental para preservar la salud de la población y la insostenibilidad de los proyectos que no contemplan más allá de la infraestructura, en la PTAR el Campanario, se debe realizar un diagnóstico del funcionamiento actual, esto nos permitirá identificar, las fortalezas, las debilidades que se tiene en la Planta, sobre todo en base a ese diagnóstico a las autoridades competentes permitirá planificar las acciones a realizar en la operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento.

## **2. SITUACION PROBLEMICA**

La creación de plantas de tratamiento de agua residual se ha presentado como una respuesta a la grave contaminación que sufren los cuerpos de agua subterráneos y superficiales; en los países en vía de desarrollo se ha convertido en una necesidad a causa del crecimiento poblacional, la desigualdad en la distribución del recurso hídrico y los largos períodos de sequía que exigen la búsqueda de nuevos abastecimientos de agua como los son las aguas residuales.

En la ciudad de Sucre se tiene un drenaje combinado por el que se descargan las aguas negras, aguas industriales y los escurrimientos pluviales, estos flujos son una combinación de aguas que llevan una mezcla de contaminantes como: sólidos gruesos, basuras flotantes, grasas, agentes orgánicos DBO<sub>5</sub> y no orgánicos DQO, así como agentes patógenos etc. En época de lluvia esto también se convierte en un problema, ya que el exceso de agua que generan los escurrimientos fluviales provoca que se sobrecarguen hidráulicamente las redes de saneamiento de la PTAR "El Campanario", el cual tiene un caudal máximo de diseño para tratar 1.458 m<sup>3</sup>/h de agua residual, siendo que en la actualidad trabaja con un 40% de su capacidad total en época normal.

De acuerdo al Estudio de Evaluación de Impactos Ambientales, (2018), del total del caudal generado de afluentes residuales en la ciudad solo el 60% ingresa a la planta de tratamiento el resto es vertido directamente al río Quirpinchaca, la planta presenta varias dificultades por la mala operación y la falta de mantenimiento, y la misma solo removería un porcentaje de los sólidos totales y un porcentaje considerable de materia orgánica devolviendo las aguas al Río Quirpinchaca, agua cuyo tratamiento no es del todo eficiente y que vuelve a ser contaminada al mezclarse con el agua existente del río Quirpinchaca, según informe remitido al Concejo Municipal de Sucre por la Empresa de Agua Potable, la Planta solo captaría el 75% de las aguas residuales generadas en el Municipio de Sucre, el restante fluyen en el río Quirpinchaca y en la Cuenca Amazonas sector (Río Chico).

Los vecinos de la Comunidad “El Campanario”, que aglutina a 82 familias, y la Comunidad “El Campanario Bajo” a 46 familias, todos ellos hacen conocer su malestar en diferentes reuniones e inspecciones que se realiza al lugar, a simple visita de campo se puede evidenciar que no toda el agua residual generada en la ciudad de Sucre es tratada en la planta, que la misma no funciona bien, esto puede generar problemas a la salud pública de tipo respiratorio e infecciosas ya que los agentes patógenos se alojan en el ambiente y afectan particularmente a los habitantes de las zonas aledañas; los comunarios del río abajo en su gran mayoría se dedican a la producción verduras las cuales son regadas con aguas residuales directo sin ser tratadas adecuadamente y estas se comercializan en la ciudad de Sucre poniendo en riesgo la salud pública.

Como se puede verificar en Informe de la AAPS, en base a los reportes de Indicadores de la Plataforma Virtual de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (AAPS) ,(2020) Los resultados obtenidos correspondientes al indicador C: “GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LA PTAR - GEM” para las PTAR y EPSA en ambos semestres de 2019, en el caso de ELAPAS es INADECUADO es decir que ELAPAS no tienen la capacidad de mantenimiento de la PTAR “El Campanario”

### **3. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

¿Cuál el establecimiento de líneas de acción en la Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” del Municipio de Sucre?

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

En el Municipio de Sucre a pesar de existir un sistema de tratamiento para las aguas residuales, debido a tratamientos incompletos se sigue presentando contaminación en el río Quirpinchaca, porque son vertidos los efluentes de la Planta de Tratamiento del Campanario y no tratan todas las aguas provenientes de la ciudad de Sucre. En el lugar del funcionamiento de la planta los componentes ambientales como el suelo, agua y aire, se ven afectados presentando impactos negativos como olores ofensivos, presencia de insectos, se puede apreciar en el agua casi nula vida acuática (eutrofización) debido a la disposición de aguas residuales.

El tratamiento de las aguas residuales de manera integral en el sector, solucionaría diversos problemas de la comunidades aledañas si se capta todas las aguas residuales y se aprovecha el recurso hídrico antes de la descarga, se podría alcanzar altos índices de calidad, se mitigará el nivel de contaminación previniendo que estas aguas negras afecten el medio ambiente y la salud de los comunarios reducirían los olores, se mitigaría el daño ocasionando al medio ambiente; el manejo adecuado garantizaría que las familias de estas comunidades aledañas gocen de un ambiente sano y sin riesgos a diversas enfermedades que generan estos vertimientos, por eso es necesario realizar líneas de acciones en la Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, que permitirá identificar las diferentes acciones a realizar y también permitirá encontrar las fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades.

En base a los resultados a las autoridades competentes permitirá planificar las acciones a realizar en la operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento

#### **5. OBJETO DE ESTUDIO**

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” del Municipio de Sucre

## **6. CAMPO DE ACCIÓN**

La realización del establecimiento de las líneas de acción en la Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” del Municipio de Sucre Departamento de Chuquisaca.

## **7. OBJETIVOS**

### **7.1. Objetivo General:**

- ✓ Establecer líneas de acción en la Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” del Municipio de Sucre Departamento de Chuquisaca

### **7.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Formular un diagnóstico actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” del Municipio de Sucre, en base a la Guía para la Aplicación de Herramientas e Instrumentos de Seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las PTAR en Bolivia.
- ✓ Analizar los resultados del diagnóstico y exponer el estado actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario”
- ✓ Analizar los últimos 3 resultados de las aguas residuales, realizados por el laboratorio de ELPAS en la PTAR “El Campanario” y determinar si los mismos cumplen o no con los Valores Máximos admisible de acuerdo al Anexo A-2 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica.

## **8. EL APORTE PRÁCTICO.**

Las aguas residuales generadas en la ciudad de Sucre y tratadas en la Planta de Tratamiento “El Campanario” del Municipio de Sucre, en la actualidad generan problemas medio ambientales y sociales con las comunidades aledañas y con el Municipio de Yotala por la mala gestión de las mismas. El presente trabajo aporta soluciones prácticas en cada componente de la Operación y Mantenimiento de la Planta de tratamiento, identificando el problema y sugiriendo soluciones para cada uno de los problemas identificados.

También el trabajo aporta en la ampliación de la información sobre el tratamiento de aguas residuales, con la elaboración un diagnóstico de la situación actual, toda esta información puede ser constatada con otros estudios con diferentes variables y buscar soluciones prácticas.

## **9. LA SIGNIFICANCIA PRÁCTICA**

El estudio beneficiara directamente a los habitantes, estantes de las comunidades, “El Campanario” que aglutina a 82 familias, a la Comunidad “El Campanario Bajo” que integran 46 familias; a la Empresa Local de Agua Potable Sucre (ELAPAS), a las entidades públicas y privadas y a la población del Municipio de Yotala y del Municipio de Sucre, tomando en cuenta que esta problemática abarca a estos dos municipios.

En la actualidad para los administradores de las aguas residuales ellos consideran que se está operando de manera correcta la planta, pero para los comunarios colindantes la Planta no cumple su función, con los resultados de esta investigación se demuestra que en la PTAR se tiene variadas falencias y no se tratan todas las aguas residuales generadas en la ciudad.

A partir de la identificación de las diferentes problemáticas en las fases de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, se plantea líneas de acción para dar solución a cada uno de las deficiencias que se encuentran en la actualidad, que permitirá tener una gestión adecuada de las aguas residuales en la PTAR

## **10. ACTUALIDAD**

La presente investigación corresponde a un tema muy actual como es el caso de las Aguas Residuales en Bolivia particularmente en Sucre esta temática tan importante debido a la creciente tendencia de la globalización, el avance de la tecnología, el enorme crecimiento de la industria, las actividades económicas, han generado una serie de factores contaminantes muy elevados que afectan de manera directa los recursos agua, medio ambiente, entre otros. De aquí surge la necesidad de las entidades gubernamentales y sociedad en general de buscar soluciones inmediatas que mejoren las condiciones del recurso agua y que le permita a la humanidad gozar de una calidad de vida aceptable.

En las comunidades aledañas a la planta de tratamiento los agricultores se dedican a la producción de todo tipo de productos agrícolas, los mismos son comercializados en la ciudad de Sucre, existen constantes problemas, reclamos y movilizaciones ciudadanas por los malos olores que genera la planta y ante la escasez hídrica, se ven obligados a reusar el agua residuales poniendo en riesgo la salud de los agricultores y de los consumidores, por todo lo señalado este tema de investigación es de actualidad y de necesidad pública.

## **11. NOVEDAD**

En la ciudad de Sucre en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario”, en la gestión 2018 realizaron un estudio de Evaluación de Impacto Ambiental por el Método Battelle-Columbus Modificado, a través de este método evaluaron los impactos ambientales que genera la planta, el estudio referido ya es de varios años atrás, además no es suficiente para entender el estado real de la Planta de Tratamiento en todas sus fases particularmente en la fase de Operación y Mantenimiento. El presente estudio permite analizar 5 indicadores magros con sus 12 sub indicadores, como es la Capacidad de Tratamiento Utilizada en la PTAR (CTUP), las Condiciones Básicas para la Operación y Mantenimiento (CBO), la Gestión de Mantenimiento (GEM), la Eficiencia de Tratamiento (EfPTAR), el Tratamiento de Lodos Generados en la PTAR (TLG), también este trabajo evalúa el cumplimiento del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica cumplen o no con los Valores Máximos admisible de acuerdo al Anexo A-1. Que son los valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, la Demanda Química de Oxígeno, de los Sólidos Suspendidos Totales y a partir de los resultados obtenidos de cada uno de los indicadores y su respectivo análisis se plantea líneas de acción para mejorar el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Campanario.

De acuerdo a lo expuesto es un tema de investigación novedoso que permitirá planificar en la gestión pública, tomar decisiones técnicas adecuados para mejorar el funcionamiento de la planta y las condiciones de vida de los Sucrenses.

## **12. PERTINENCIA SOCIAL**

La problemática Ambiental que genera la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales es muy seria de acuerdo al Estudio de Evaluación de Impactos Ambientales, (2018), del total del caudal generado de afluentes residuales en la ciudad solo el 60% ingresa a la planta de tratamiento el resto es vertido directamente al río Quirpinchaca, la planta presenta varias dificultades por la mala operación y la falta de mantenimiento, y la misma solo removería un porcentaje de los sólidos totales y un porcentaje considerable de materia orgánica devolviendo las aguas al Río Quirpinchaca, agua cuyo tratamiento no es del todo eficiente y que vuelve a ser contaminada al mezclarse con el agua existente del río Quirpinchaca

Los vecinos de la Comunidad “El Campanario”, que aglutina a 82 familias, y la Comunidad “El Campanario Bajo” a 46 familias, todos ellos hacen conocer su malestar en diferentes reuniones e inspecciones que se realiza al lugar, a simple visita de campo se puede evidenciar que no toda el agua residual generada en la ciudad de Sucre es tratada en la planta, que la misma no funciona bien, esto puede generar problemas a la salud pública de tipo respiratorio e gastrointestinales; los comunarios del río abajo en su gran mayoría se dedican a la producción verduras las cuales son regadas con aguas residuales directo sin ser tratadas adecuadamente y estas se comercializan en la ciudad de Sucre poniendo en riesgo la salud pública. Como se puede apreciar este estudio es muy importante y tiene una fuerte pertinencia social porque tiene que dar respuestas a las grandes necesidades de las comunidades colindantes y a la población en general porque se trata, de medio ambiente, de salud pública y el bienestar social.

## **13. DISEÑO METODOLÓGICO**

En el presente capítulo se presenta el desarrollo del proceso investigativo a través del uso de métodos y técnicas, para tal fin, por esto se establecen una serie de procedimientos ordenados para comprender el significado de los hechos presentados en el estudio. De igual forma se estableció el tipo de la investigación, población, técnicas de instrumentos de recolección de datos, caracterización de las variables y metodología empleada

### **13.1. Idea a defender**

Con la Implementación de las diferentes Líneas de Acción en la Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” del Municipio de Sucre, se logrará tener una mejor gestión en el tratamiento de las aguas residuales

### **13.2. Enfoque de la investigación**

Para la presente investigación el enfoque que se optó es el cuali-cuantitativo porque necesitamos recolectar, datos numéricos y analizar eventos adversos etc.

### **13.3. Tipo de investigación**

Para el presente caso se optó por las investigaciones no experimental, de campo y la documental

#### **13.3.1. Investigación de Campo**

La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental. (Arias, 2012, pág. 33)

Según los investigadores Santa Palella y Feliberto Martins, (2010, pag.87) la investigación de campo consiste en la recolección de datos directo de la realidad, sin manipular o controlar las variables, estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural. El investigador no manipula variables debido a que se pierde el entorno de naturalidad en el cual se manifiesta

Para el presente trabajo se utilizó la investigación de campo, en el proceso de recolección de datos de los diferentes tratamientos que se realizan en la planta, esta recolección de información se realizó todos los días durante 1 mes, como parte de la investigación con el apoyo del personal autorizado se manejó la planta en su fase de operación y mantenimiento.

### **13.3.2. Investigación Documental**

La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos (Arias, 2012, pág. 26).

La investigación documental. Es detectar, obtener y consultar la bibliografía y otros materiales que aporten de otros conocimientos y/o informaciones recogidas moderadamente de cualquier realidad, de manera selectiva, de modo que puedan ser útiles para los propósitos del estudio (Sampieri, 2000, pág. 50)

La investigación documental se utilizó para elaborar el marco teórico, estado de arte a través de recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, como es el caso de la Guía para la Aplicación de Herramientas e Instrumentos de Seguimiento para la Operación y Manteamiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, el Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta El Campanario, la Guía para el Reúso de Aguas Residuales en Bolivia, la Tesis el Estudio de Evaluación de Impactos Ambientales de la Planta El Campanario, entre otras fuentes secundarias.

## **13.4. Alcances de la Investigación**

### **13.4.1. Exploratorio**

Se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes. Es decir, cuando la revisión de la literatura reveló que tan sólo hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio, o bien, si deseamos indagar sobre temas y áreas desde nuevas perspectivas. Sirve para familiarizar a investigadores con fenómenos desconocidos, obtener información para realizar una investigación más completa, investigar nuevos problemas, identificar variables promisorias, etc (Sampieri, 2010, pág. 79)

### 13.4.2. Descriptiva

La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere.

“Los estudios descriptivos miden de forma independiente las variables y aun cuando no se formulen hipótesis, tales variables aparecen enunciadas en los objetivos de investigación.” (Arias, 2006 a, p.25).

Su propósito es describir propiedades, características o perfiles de personas, comunidades, procesos, objetos o fenómenos que se sometan a investigación. Científicamente, describir es recolectar datos, por tanto, en una investigación descriptiva se selecciona una serie de variables y se mide o recolecta datos sobre cada una de ellas, para así describir lo que se investiga (Danhke, 1989).

## 13.5. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

### 13.5.1. Métodos

El método es la vía o camino que se utiliza para llegar a un fin o para lograr un objetivo

#### a) Métodos empíricos

##### 1. La observación:

Es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos (Arias, 2012, pág. 69)

**Observación estructurada:** Es aquella que además de realizarse en correspondencia con unos objetivos, utiliza una guía diseñada previamente, en la que se especifican los elementos que serán observados. (Arias, 2012, pág. 71)

Para la presente investigación la observación fue con carácter científico, se observó con objetivo claro, definido y preciso, sabiendo que se desea observar y para qué se quiere hacerlo y una estructura definida. Se realizó mediante el instrumento como es la Guía de Observación, que permitió situarse de manera sistemática en aquello que realmente es objeto de estudio, también condujo la recolección y obtención de datos e información de los hechos o fenómenos, permitiendo recolectar los datos de forma sistemática y agruparlos según necesidades específicas, Tamayo (2004, p.172)

## **2. La Observación de Campo**

La observación de campo es el recurso principal de la observación descriptiva; se realiza en los lugares donde ocurren los hechos o fenómenos investigados. Para la presente investigación se aplicó en el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de aguas residuales en todas sus fases, a través del instrumento como el diario de campo, que es una especie de diario personal, donde además se incluyó: a) Descripciones del ambiente (iniciales y posteriores) que abarcan lugares, personas, relaciones y eventos. b) Mapas. c) Listado de objetos o artefactos recogidos en el contexto, así como fotografías y videos que fueron tomados (indicando fecha y hora, y por qué se recolectaron o grabaron). d) Aspectos del desarrollo de la investigación (cómo vamos hasta ahora, qué nos falta, qué debemos hacer, como lo establece (Sampieri, 2010, pág. 380)

## **3. La entrevista**

La entrevista, más que un simple interrogatorio, es una técnica basada en un diálogo o conversación “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida. (Arias, 2012, pág. 73)

Para la presente investigación se realizó entrevistas estructuradas o formal, con una guía prediseñada que contenía las preguntas que fueron formuladas al entrevistado durante el proceso de recolección de información, mediante el instrumento como es la Guía de entrevista, que contenía las preguntas prediseñadas, los entrevistados que fueron personal que está a cargo de la parte administrativa, de la Operación y Mantenimiento de la Planta de tratamiento, indicando que estas entrevistas fueron direccionadas como lo establece en el tipo

de muestreo por conveniencia de la investigación y las respuestas sirvieron para complementar los resultados obtenidos durante todo el proceso de investigación. (Arias, 2012, pág. 73)

## **b) Métodos Teóricos**

### **1. Método Bibliográfico**

Es la revisión bibliográfica de un tema para conocer el estado de la cuestión. La búsqueda, recopilación, organización, valoración, crítica e información bibliográfica sobre un tema específico tiene un valor, pues evita la dispersión de publicaciones o permite la visión panorámica de un problema. (Sampieri, 2000)

Este método forma parte de la investigación cuantitativa, ya que contribuye a la formulación del problema de investigación gracias a la elaboración de los aspectos teóricos e históricos. Así la exploración bibliográfica contribuye a la estructuración de las ideas originales del proyecto, contextualizándolo tanto en su perspectiva teórica, metodológica como histórica específica (Méndez Rodrigues, 2008, pág. 22)

En la presente investigación se utilizó para realizar el estado del arte o marco teórico, para la formulación del problema de investigación.

### **2. Método documental**

El análisis documental consiste en hacer uso de documentos que son base para el registro de las actividades ejecutadas y la actualización de cada proceso que se lleve a cabo en la Planta de Tratamiento Aguas Residuales. Se utilizarán dichos documentos para conocer detalles del proceso de tratamiento de agua, así como los resultados que arroja el mismo en cuanto a calidad del líquido y propiedades.

En la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Campanario se tiene información documentada de todos los trabajos, estudios, análisis de laboratorio, etc, realizados por la empresa, los mismos fueron consultados para conocer el proceso, resultados e información

que se tiene a lo largo de los últimos años, a partir de eso recopilar lo más importante para la investigación.

### **3. Método analítico y sintético**

“Estudia los hechos, partiendo de la descomposición del objeto de estudio en cada una de sus partes para estudiarlas en forma individual (análisis) y luego se integran esas partes para estudiarlas de manera holística e integral (síntesis)” (Bernal,2010)

### **Análisis del contenido**

Una técnica de investigación destinada a formular a partir de ciertos datos, inferencia reproducibles y validas que puedan aplicarse a su contexto ( Krippendorff., 1990, pág. 28)

### **4. Método deductivo e inductivo**

Este método de inferencia se basa en la lógica y estudia hechos particulares, aunque es deductivo en un sentido (parte de lo general a lo particular) e inductivo en sentido contrario (va de lo particular a lo general) (Bernal,2010).

Este método se utilizó a lo largo de este trabajo, analizando estudios internacionales, nacionales y locales con perspectivas generales, otros de carácter específicos, recopilando información, análisis de campo, analizando información, para posterior recopilar lo más relevante para esta investigación

## **13.6. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **13.6.1. Población**

La población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio (Arias, 2012, pág. 81).

Para el desarrollo de la presente investigación no se engloba en una población en específico tomando en cuenta que se estudia la Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario”, cabe mencionar que la población beneficiaria directamente con este estudio serán La Empresa ELAPAS Sucre, los vecinos de la Comunidad “El Campanario”, que aglutina a 82 familias, y la Comunidad “El Campanario Bajo” a 46 familias que son comunidades aledañas a la planta, también se beneficiara indirectamente la población de Sucre y de Yotala tomando en cuenta que estos dos municipios tienen problemas justamente por la contaminación de las aguas residuales generadas en la ciudad de Sucre.

### **13.6.2. Muestra**

La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible (Arias, 2012, pág. 83)

Es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse o delimitarse de antemano con precisión, éste deberá ser representativo de dicha población. El investigador pretende que los resultados encontrados en la muestra logren generalizarse o extrapolarse a la población (Sampieri, 2010, pág. 173)

La muestra para la presente investigación se determinó de acuerdo a la particularidad y al objeto de estudio, llegando a ser la Unidad de Análisis todo el **Tren de Tratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” del Municipio de Sucre.**

Es decir, el:

#### **1. Pretratamiento**

- a) Aliviadero de entrada a la planta
- b) Cámara de entrada
- c) Rejas de desbaste
- d) Medidor de caudales tipo Parshall

- e) Desarenadores de flujo horizontal, para operación en paralelo
- f) Cámara de desviación de caudales al tratamiento primario

## 2. Tratamiento Primario

- a) 6 tanques Imhoff de sedimentación primaria y digestión de lodos, primarios y secundarios
- b) Cámara de extracción de lodos
- c) Tanques de regulación y Cámara de derivación de caudales a los lechos percoladores

## 3. Tratamiento Secundario

- a) Lechos Percoladores (rellenados con material SESSIL)
- b) Cámara de derivación de caudales a las lagunas
- c) 2 lagunas de sedimentación secundaria
- d) Estaciones de Bombeo de Lodos y Drenaje.
- e) Lagunas de Maduración

### Conversión de lodos

- f) Áreas de conversión de lodos
- g) Cámara de bombeo del efluente proveniente del drenaje de las áreas de conversión.

### *Ilustración 1: Unidades de la Muestra*



**Fuente:** Elaboración Propia

- a) **Procedimiento de la muestra**

Consiste en las siguientes etapas. Primero se procedió a delimitar la población, posterior a identificar el marco muestral y por último se seleccionó la muestra

La delimitación de la población, para el presente caso es la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario”, tomando en cuenta que la investigación es direccionada intencional el marco muestral es la fase de Operación y Mantenimiento de la PTAR y por último la selección de la muestra es el Tren de Tratamiento de las Aguas Residuales en la Planta.

Tomando en cuenta la particularidad de la investigación que es direccionada para estudiar al tren de tratamiento de la planta, es en ese sentido que se considera todas las unidades del Pretratamiento, del tratamiento primario, del tratamiento secundario y el Área de conversión de los lodos, por esa razón no se puede cuantificar en números.

Cabe indicar que, durante la investigación en la etapa de recolección de información, como estudiante se trabajó en la Planta de tratamiento durante un mes, en ese periodo se realizaron entrevistas al personal que trabajan en la planta en sus diferentes fases, desde el personal que está a cargo de la administración hasta el personal que estaba a cargo de la Operación y Mantenimiento de la planta. Para realizar estas entrevistas se tenía una guía semiestructurada de la entrevista.

### **Criterios de Inclusión y Criterios de Exclusión**

Existen dos tipos básicos de muestreo: Probabilístico o Aleatorio y No Probabilístico, para el presente caso se seleccionó el tipo de muestreo No Probabilístico o dirigido. Que es la selección de los elementos no depende de la probabilidad, sino del criterio del investigador o de las características de la investigación

#### **Criterios de inclusión**

- Se tiene dominio técnico sobre la unidad muestral (criterios o juicios preestablecidos por el investigador)
- En base al objetivo de investigación
- Lugar accesible para realizar el estudio
- Estudio requerido por la sociedad
- Tema nuevo a estudiar

**Criterios de exclusión**

- ✓ La no disponibilidad de material bibliográfico
- ✓ Tiempo limitado de estudio
- ✓ Recursos económicos limitados para realizar la investigación

**CAPÍTULO I****MARCO TEORICO, CONCEPTUAL Y NORMATIVO****1.1. MARCO TEÓRICO**

De acuerdo al Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental por el método battelle-Columbus realizado el año 2018 en la Planta de tratamiento de Aguas Residuales "El Campanario". Nos indica que La PTAR realiza el trabajo de minimización de la contaminación de residuos líquidos provenientes del alcantarillado público de la Ciudad de Sucre el mismo no es eficiente, no realiza el tratado de las aguas negras, sustancias químicas peligrosas utilizadas en el proceso, cuando hay precipitación pluvial se va directamente al rio esto afecta al Municipio de Yotala y principalmente a la comunidad del campanario y bajo campanario, constituyéndose un peligro para la ecología del lugar y un potencial propiciador de enfermedades como la salmonella entre otras. También identificaron una serie de impactos ambientales que se generan por las actividades realizadas en la AOP, al caracterizar la variación de la calidad ambiental resultó negativa (-) y se observó que la generación de mal olor, especies y población, transmisión de enfermedades tiene un efecto (-) Moderado. En base al método de Battelle Columbus Modificado, eligieron los parámetros ambientales a evaluar mediante matrices de decisión, en el cual se obtuvo un porcentaje de afectación total de 52.82 % siendo clasificada la señal de alerta como una bandera mayor, lo cual significa que el funcionamiento de la AOP afecta al entorno ambiental y social; también se pudo observar que la categoría Ecología presentan el mayor porcentaje de afectación de 59.53%.

El acelerado crecimiento poblacional urbano genera mayor demanda de servicios básicos, lo que implica el requerimiento de mayor asignación e inversión de recursos en proyectos de agua y saneamiento a fin de elevar la cobertura del servicio y por lo tanto la generación de una mayor cantidad de aguas residuales. Por otro lado, la inadecuada gestión de las aguas residuales, constuye uno de los problemas ambientales de mayor preocupación en Bolivia, ya

que en muchos casos se realiza un deciente tratamiento de aguas residuales, lo cual deriva en vertidos de efluentes de las PTAR sin tratamiento o pobremente tratados que ocasionan la contaminación de ríos y otros cuerpos de agua, causando un impacto negativo en el medio ambiente y la salud pública Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico, (2018).

La Guía se constituye en un instrumento técnico que le permitirá a la AAPS, contar con herramientas de evaluación de las condiciones actuales de funcionamiento y operación de las PTAR, para emitir criterios técnicos pertinentes, en el marco de sus competencias. Esta guía también categoriza a las Plantas de Tratamiento en base al criterio de Población de Diseño de las plantas bajo el siguiente esquema categoría A, población de diseño mayor a 500.000 habitantes; categoría B, población de diseño entre 50.000 y 500.000 habitantes; categoría C, población de diseño entre 10.000 a 50.000 habitantes; y categoría D, población de diseño entre 2.000 a 10.000 habitantes Guía para la Aplicación de Herramientas e Instrumentos de Seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las PATR en Bolivia (2018)

Para las PTAR que pertenecen a la categoría A y B, debido al desarrollo económico de la región donde se presta el servicio, en muchos casos reciben descargas de origen industrial lo cual incrementa la carga contaminante. En tal caso se recomienda considerar el criterio de población equivalente, en lugar del criterio de población servida, Población Equivalente es el número de habitantes estimado que aportaría una cantidad determinada de un parámetro específico (generalmente DBO<sub>5</sub> o SST) o caudal; suele utilizarse con referencia a descargas industriales, se mide en unidades de habitante equivalente. Para ello, se debe considerar el valor de la Carga Per Cápita que corresponde a la carga orgánica contaminante en términos de DBO<sub>5</sub> generada por una persona promedio, para Bolivia se puede utilizar de manera referencial el valor de 54 (Kg.DBO)/(hab.día). Guía para la Aplicación de Herramientas e Instrumentos de Seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las PATR en Bolivia (2018).

Amurrio Villca, (2018), en su Tesis de maestría, titulada Análisis de la Distribución de Recursos para el Financiamiento de Proyectos de Agua y Saneamiento en Bolivia, una investigación descriptiva, cuantitativa nos dice, el Gobierno Nacional no cumplió las metas planificadas al 2015, en los planes sectoriales. También nos dice que hay un crecimiento

significativo en la inversión de los periodos 2015-2016, para agua y saneamiento, pero, sin embargo, si se ve este crecimiento, respecto al cumplimiento de las metas al 2015, las coberturas de agua y saneamiento no se alcanzaron, lo cual muestra que los esfuerzos de todos los niveles son poco efectivos. De acuerdo al PSD SB 2016 – 2020 y los Planes Maestros Metropolitanos, nos indica que cuentan con diagnósticos y líneas de acción definidos, pero no establecen los criterios técnicos de cómo lograr la concurrencia para la inversión en dichos programas y proyectos. De la misma manera identifica que los Gobiernos Subnacionales les dificultan destinar recursos para proyectos de agua y saneamiento”; por los problemas estructurales, como a). Los criterios distintos en la distribución de las transferencias fiscales, b). La desigualdad con la que se distribuyen los recursos fiscales, c). La poca capacidad de generar recursos propios y d). La alta dependencia de recursos de transferencia (del gobierno central a los Gobiernos Subnacionales).

Proyecto NODO de Saneamiento Sostenible Descentralizado en las “Experiencia en Plantas de Tratamientos Residuales Municipio Cliza, Cochabamba (2014)”, Nos indican que pensar en el modelo de gestión sostenible de una planta de tratamiento de aguas residuales para su posterior reutilización es mucho más que definir la tecnología de ingeniería a aplicarse, toda vez que implica consideraciones sociales, ambientales, legales-institucionales y financieras. En los aspectos sociales, nos dice que es vital que los proyectos prevean de los espacios necesarios, no solo de difusión e información sobre tecnologías, sino más que todo de concertación y toma de decisiones en temas como; el pago de tarifas (y/o necesidades de subsidios); los mecanismos de compensación por la cesión-expropiación de los terrenos para el emplazamiento de las PTARs; Los aportes comunales y municipales para la construcción de obras, etc. En los aspectos ambientales, es conveniente debatir el probable reuso de las aguas tratadas, así como la definición de los parámetros de calidad del efluente, en función del probable reuso. Finalmente, la definición de los aspectos financieros es otro aspecto clave para definir el modelo de sostenibilidad; se trata del establecimiento de las tarifas o subsidios (y en este último caso su presupuesto) requeridos para el correcto funcionamiento de los sistemas bajo determinado modelo de gestión.

Medina Hoyos , (2013) en su trabajo de monografía titulado “Tratamiento legal en Bolivia de las aguas y aguas residuales de uso doméstico e industriales y la problemática en el Departamento de Tarija”, nos dice que diferentes instrumentos jurídicos en Bolivia, regulan de

manera dispersa y, a través del tratamiento de otras temáticas como el Aire, Suelo, Fauna, Diversidad, Contaminación Hídrica, Agua Potable, Saneamiento Básico, Alcantarillado, Industrias, etc., situación que provoca falta de claridad y debilidad Institucional en la aplicación de la normativa vigente y la carencia de estrategias de concientización y prevención para enfrentar el grave problema ambiental que provocan las aguas residuales no tratadas en el departamento de Tarija.

De acuerdo a la Agenda Patriótica del Bicentenario 2025, el Agua entre los Trece Pilares, específicamente se tiene en el pilar número 2.- “Socialización y Universalización de los Servicios Básicos con Soberanía para Vivir Bien” que en la Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia se ha determinado que los servicios básicos constituyen derechos humanos. Asimismo, establece que es obligación del Estado Plurinacional de Bolivia, garantizar el pleno acceso del pueblo boliviano a estos servicios en condiciones equitativas, equilibrio y armonía con la Madre Tierra; una de las metas de la agenda patriótica relacionada al agua en el marco de la socialización y humanización de los servicios básicos es: “El 10% de las bolivianas y los bolivianos cuentan con servicios de agua potable y alcantarillado sanitario”: también se tiene al pilar 9. Soberanía Ambiental con Desarrollo Integral, respetando los derechos de la madre tierra, se establece como una de las metas respecto al Medio Ambiente para el 2025; “El Estado Plurinacional de Bolivia promueve y desarrolla acciones eficaces para que en Bolivia se respire aire puro, no existan ríos contaminados y basurales, y para que todas las ciudades desarrollen condiciones para el tratamiento de sus residuos líquidos y sólidos” y “ en Bolivia no sufrimos de escases del agua y tenemos capacidades para prevenir los riesgos que son causados por el cambio climático y los desastres naturales”.

De acuerdo a León Suematsu G, (1995), la Guías de Calidad de Efluentes para la Protección de la Salud, fija parámetros de Calidad para el Uso de Aguas Residuales, nos habla que el principal objetivo del tratamiento de aguas residuales es la eliminación de agentes patógenos para su aprovechamiento, las directrices sobre la calidad de las aguas residuales y las normas se expresan según el máximo número permisible de bacterias coliformes fecales, no todos los coliformes son exclusivamente de origen fecal y a menudo, la proporción de coliformes no fecales es muy elevada en los climas cálidos. Las normas o directrices sobre la calidad de las aguas residuales que se pretende emplear para riego de cultivos sin restricciones, incluso para cultivos de legumbres y verduras para ensaladas que se consumen

crudas, contienen reglas explícitas (i.e., indican el máximo número de coliformes) y requisitos mínimos de tratamiento (primario, secundario o terciario) según la clase de cultivo que se debe regar (si es para consumo o no). al formular las directrices el grupo científico expertos de la OMS tuvo en cuenta los estudios efectuados sobre el terreno y en el laboratorio, en aprovechamiento de Efluentes reconoció que las normas extremadamente estrictas fijadas en California no encontraban justificación en las pruebas epidemiológicas existentes y recomendó una directriz sobre la calidad microbiológica del agua empleada para riego posterior a ellos se realizaron varios estudios de diferentes instituciones y llegaron a la conclusión es permitido 1.000 coliformes fecales por cada 100 ml para riego sin restricciones de todos los cultivos.

El Grupo Científico también comparó sus normas anteriores para el riego con aguas residuales y sus directrices sobre el riego de verduras consumidas crudas (2,2-100 coliformes totales por 100 ml) con las directrices y normas vigentes sobre la calidad bacteriológica para determinar la calidad del agua de baño establecidas por el Programa de Vigilancia e Investigación de la Contaminación en el Mediterráneo, adscrito al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, conjuntamente con la OMS (1.000 coliformes fecales por 100 ml) y la Comunidad Económica Europea (menos de 10.000 coliformes totales por 100 ml y menos de 2,000 coliformes fecales por 100 ml). Por último, el Grupo concluyó que no es razonable ni lógico mantener las antiguas directrices sobre el riego con aguas residuales, semejantes a las establecidas para el agua potable si las autoridades sanitarias consideran aceptables las aguas naturales de los ríos empleadas para riego y las utilizadas para el baño, cuyas concentraciones de coliformes fecales sean de 1.000 por 100 ml o más.

Méndez Gómez , (2019), En su Trabajo de Grado, Plantea una Propuesta de Mejora de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Arbelaez a partir del Sistema de DEER ISLAND WASTEWATER TREATMENT PLANT, la autora realizo una investigación exploratoria en su mayor parte es cualitativa destinada a proporcionar información, llego a las siguientes conclusiones. La PTAR del Municipio de Arbeláez, genera problemas a los Arbelaeences, porque la misma, no responde a los índices de calidad produciendo en la descarga del agua residual, generando contaminación en el afluente de la Quebrada la Lejía. También nos dice que la PTAR no alcanza el 50% del tratamiento del agua residual, por lo que requiere implementar el tratamiento secundario para alcanzar un mayor índice en la mejora de

la calidad del agua; el tratamiento secundario, va a favorecer la oxidación biológica de las aguas residuales por medio de algas y bacterias, es en este proceso que se refuerza la limpieza del proceso primario aerobio y anaerobio. Respecto a la Operatividad y mantenimiento, para el medidor de flujo se requiere de la contratación de personal capacitado que controle la operación del medidor y realice mantenimiento preventivo, por lo menos cada catorce días para evitar posibles obstrucciones que puedan afectar los siguientes procesos, las trampas de grasas y al tanque de sedimentación los cuales requieren de un mantenimiento diario, con el fin de retirar las grasas y sólidos.

De acuerdo a la Guía Técnica para el Reuso de Aguas Residuales en la Agricultura en Bolivia aprobada mediante Resolución Ministerial (2018). La reutilización de agua tratada para riego es una práctica habitual en el país, se constituye en una estrategia para garantizar la producción agropecuaria, principalmente en zonas con déficit hídrico. Sin embargo, es necesario implementar medidas y buenas prácticas para disminuir el riesgo que representa el uso aguas residuales para riego.

El enfoque “Multibarreras”, detallado por las guías de la OMS (2006) establece que el reúso de las aguas residuales debe ser abordado desde distintos ángulos que se complementan, a fin de reducir los riesgos de salud pública, entre los que se pueden mencionar: el propio tratamiento de las aguas residuales domésticas la restricción de cultivos, el uso de técnicas de aplicación del riego que eviten la contaminación de productos, el manejo de los tiempos entre el último riego y la cosecha, la educación en salud para el fomento y adopción de prácticas de higiene, de aceptación y participación en las campañas para la aplicación de vacunas y desparasitación para la población expuesta.

Actualmente, a nivel mundial, se estima que existen alrededor de 20 millones de hectáreas regadas con aguas residuales tratadas, crudas o mezcladas Hamilton, et al, (2006). El sector agrícola actualmente es responsable del 70% del uso del agua del mundo, la creciente demanda de agua generara que el agua residual también aumente, así como su nivel de contaminación, el mayor receptor final de estas aguas sin previo tratamiento es el medio ambiente, mares, ríos, lagos, suelo o subsuelo WWAP (2027)

En Bolivia se tiene una superficie aproximada de 7.012 hectáreas regadas con aguas residuales. Donde se siembran cultivos forrajeros, frutales y hortalizas (como lechuga, zanahoria y cebolla entre otras). La mayor preocupación inherente a este riego obedece al riesgo de salud pública que representa el consumo de hortalizas producidas con estas aguas, ya que, en la mayoría de los casos, el agua residual aprovechada en el riego, no recibe ningún tratamiento, y en una menor proporción el agua proviene de una planta de tratamiento que no funciona adecuadamente MMAyA, (2012).

Manga et al. (2001), las aguas residuales alteran la salinidad en el agua, suelo y en las plantas, que pueden dar como resultado la pérdida del rendimiento y en la calidad del fruto, por tanto, será necesario determinar la tolerancia de los cultivos de la región a la salinidad, micronutrientes (sodio y cloro), el elemento traza (boro, cobre, hierro, y zinc).

Las principales ventajas al usar agua residual en la agricultura, es que contienen diversos tipos de nutrientes que pueden ser utilizados como fertilizantes, capaces de promover el crecimiento de las plantas y cultivos, su reuso permite tener otros beneficios mayor oportunidad de trabajo en las zonas rurales, menos uso de fertilizantes químicos. Sin embargo, la irrigación de cultivos sin haber recibido un tratamiento adecuado, puede generar problemas de salud pública, debido a las altas concentraciones de bacterias, virus y paracitos causantes de enfermedades que estas aguas aportan Arnedo, Bracho, Botero, (2008)

Arocutipá Lorenzo, (2013), en su Trabajo de Grado Titulado Evaluación y Propuesta Técnica de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Massiapo del Distrito de Alto Inambari – Sandía. Perú, llega a los siguientes resultados. Los parámetros que se han evaluado son: T(C°), pH(und), CE (us/cm), DBO<sub>5</sub> (mg/l), DQO mg/l, ST (mg/l), SST (mg/l), NT (mg/l), NO (mg/l), NA (mg/l), FT (mg/l), DT (mg/l), Cloruros (mg/l), y Aceites y Grasas (mg/l), estos parámetros según los diagramas existen mucha variabilidad, que no existen tendencias homogéneas, esto debido probablemente a la variación climática y a diversos factores que se presenta en la zona de estudio. Al comparar los valores determinados en el afluente con los LMP (límites máximos permisibles) establecidos en el D.S.003-2010-MINAM del Perú, se incluye que el nivel de contaminación es alto ya que los contaminantes potenciales (DBO<sub>5</sub>, DQO). superan los LMP en más del doble, contaminando y afectando de este modo a la vida acuática existente en el río Inambari.

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, mas del 20% de las enfermedades que afectan a la humanidad, especialmente a los niños, están directa o indirectamente relacionadas con la contaminación del agua Bruschi, Chartuni, Mota y Alaves (2020).

En el año 2002, la OMS reportó que las enfermedades diarreicas constituían la segunda causa de enfermedad en Bolivia, registrándose además 4.167 defunciones por esta causa. Según datos del Sistema Nacional de Información en Salud (SNIS) de Bolivia, en el año 2008, las enfermedades diarreicas agudas representaron la segunda causa de enfermedad en menores de 5 años. Mientras que, en niños de 5 a 9 años, las parasitosis por Ascariasis fueron la principal causa de enfermedad, estos grupos representan el 13 y 12.8 % de la población respectivamente, que en conjunto suman el 25.8%, es decir, un cuarto de la población boliviana (PSD 2010-2020).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), desde finales de los 80's, se pronunció estableciendo las directrices para regular el reúso de las aguas residuales, a través de límites máximos de contaminantes patógenos presentes en estas aguas (bacterias, virus, protozoos y helmintos), a fin de preservar la salud, tanto de trabajadores agrícolas como de los consumidores. Sin embargo, los límites establecidos resultaron muy estrictos para la mayoría de los países en vías de desarrollo, y en 2006 esta misma organización publicó las guías de uso de aguas residuales, excretas y aguas grises (OMS, 2006), que actualmente son el referente internacional para el reúso en agricultura. En dichas guías se establece que ya que los Huevos de Helmintos (H.H) son la principal causa de enfermedades parasitarias en humanos, éstos serían considerados como un indicador clave para el reúso, estableciendo como límite  $\leq 1$  H.H/L en agua residual utilizada para irrigar campos agrícolas (Ministerio de Medio Ambiente y Agua ,( 2018)

De acuerdo al Ministerio de Medio Ambiente (2018). Algunos parámetros agronómicos importantes a considerar en la calidad del agua de riego son: Conductividad Eléctrica (CE), cationes: Sodio (Na), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K); aniones: Carbonato ( $\text{CO}_3^{-2}$ ), Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^{-2}$ ), Cloruro (Cl-), Sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) y Nitrato ( $\text{NO}_3^{-}$ ), entre otros. Solamente cuando se sospeche que la calidad del agua tiene algún problema relacionado con la presencia de metales pesados, se deberá solicitar la determinación de alguno(s) en

específico, con base en el listado de la normatividad vigente o tomando como referencia los más importantes por sus efectos sobre la salud humana, tales como: Arsénico, Cadmio, Cianuros, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc. Para el análisis, deberán considerarse los límites establecidos dentro de la misma normatividad o las referencias internacionales. Los parámetros bacteriológicos importantes a considerar en la calidad del agua de riego para cultivos agrícolas son: Coliformes Fecales C.F. (media geométrica/100 ml) y Huevos de Helmintos H.H./L, que son indicadores internacionales utilizados para establecer la contaminación del agua por bacterias y parásitos causantes de enfermedades de tipo gastrointestinal en humanos. La determinación de su presencia o ausencia en el agua de riego es importante, porque éstos afectarán la calidad sanitaria de los productos regados e incrementarán el riesgo de contraer enfermedades en los consumidores de estos productos

Cuando se habla de reúso del agua residual, lo mejor es complementar con un proceso de desinfección previo al reúso en la parcela, buscando preferentemente que éste sea seguro, eficaz y que no produzca residuos. Las características que ubican a los Rayos Ultravioleta (UV) como el método de desinfección ideal es gracias a que su longitud de onda permite eliminar de manera eficaz a los microorganismos y agentes patógenos causantes de enfermedades de tipo gastrointestinal. Los Rayos UV actúan sobre el ADN de las bacterias, destruyendo su información genética e impidiendo de esta manera que éstas se reproduzcan, Guía de Reuso de Aguas Residuales para la agricultura (2018).

Los Costos de Operación de la Planta depende de varios factores, como, por ejemplo: el número definitivo de Personal que será empleado por ELAPAS para la Operación y Mantenimiento de las tarifas internas de la Empresa, los costos variables para el consumo de energía eléctrica entre CESSA y ELAPAS, la definición empresarial sobre la utilización de insumos y/o reactivos para el laboratorio, aplicación apropiada para la operación de conversión de lodos, et. Empresa Local de Agua Potable y Alcantarillado Sucre, Febrero (2003).

## **1.2. MARCO CONCEPTUAL**

### **1.2.1. Agua Potable**

Es aquella que, por sus características organolépticas, físico-químicas, microbiológicas y radiactivas, se considera apta para el consumo humano (usos domésticos, para beber, cocinar y para higiene personal) y que cumple con lo establecido en las Norma Básicas de Bolivia N° 512. Guías para la Calidad del Agua de Consumo Humano, (2011).

### **1.2.2. Agua Residuales**

La organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) define las aguas residuales como aquellas que “no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella. No obstante, las aguas residuales de un usuario pueden servir de suministro para otro usuario en otro lugar, Organización Mundial de la Salud , (2011).

Ley de Prestación y Utilización de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, (2000). Son desecho líquido proveniente de las descargas del uso del agua en actividades domésticas o de otra índole.

Para EcuRed, (2018), Las aguas residuales son residuos líquidos provenientes de tocadores, baños, regaderas o duchas, cocinas, etc; que son desechados a las alcantarillas o cloacas. En muchas áreas, las aguas residuales también incluyen algunas aguas sucias provenientes de industrias y comercios. La división del agua casera drenada en aguas grises y aguas negras es más común en el mundo desarrollado, el agua negra es la que procede de inodoros y orinales y el agua gris, procedente de piletas y bañeras, puede ser usada en riego de plantas y reciclada en el uso de inodoros, donde se transforma en agua negra.

### **1.2.3. Aguas Residuales Crudas**

Se entiende como las Aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso.

### **1.2.4. Las Aguas Residuales Tratadas**

Son todas aquellas aguas procesadas en plantas de tratamiento para satisfacer los requisitos de calidad en relación a la clase de cuerpo receptos a que serán descargadas.

### **1.2.5. Las aguas residuales urbanas**

No alcanzan, el nivel que deberían tener para compensar la diferencia que existe con la capacidad depuradora de los ríos. Las aguas residuales de las urbes, sin residuos industriales, provocan una perturbación que se manifiesta principalmente por la disminución del oxígeno disuelto debido a la materia orgánica que agregan. Estas se originan mediante el aporte de desechos humanos y animales, residuos domésticos, de restos vegetales, de aguas de lluvia, aguas de lavado y otros. Seoáñez Calvo, (1995)

### **1.2.6. Aguas residuales domésticas.**

Volumen total de aguas provenientes de la evacuación de efluentes de viviendas, edificios públicos o inmuebles de carácter social, se conocen también como aguas servidas domésticas Amurrio Villca, (2018).

### **1.2.7. Monitoreo**

Evaluación sistemática cualitativa y cuantitativa de la calidad del agua

### **1.2.8. DBO5**

Demanda Bioquímica de Oxígeno (en mg/l). Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer biológicamente la materia orgánica carbonácea. Se determina en laboratorio a una temperatura de 20° C y en 5 días

La DQO también se emplea para la medición de la materia orgánica presente en aguas residuales industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. En muchos tipos de aguas residuales es posible establecer una relación entre DBO y DQO. Ello puede ser de gran utilidad puesto que la primera necesita 5 días para ser determinado frente a las tres horas que necesita la DQO para ser determinada. Una vez establecida la correlación entre ambos parámetros, pueden emplearse las medidas de la DQO para el funcionamiento y control de las plantas de tratamiento. (Thomas, H. A., 1950)

### **1.2.9. DQO**

Demanda Química de Oxígeno (en mg/l). Cantidad de oxígeno necesario para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica. Se determina en laboratorio por un proceso de digestión en un lapso de 3 horas.

También es el método usado con mayor frecuencia en el campo de tratamiento de las aguas residuales. Si existe suficiente oxígeno disponible, la descomposición biológica aerobia de un desecho orgánico continuará hasta que el desecho se haya consumido. El período de incubación estándar es de 5 días a 20° C, pero se pueden usar tiempos mayores y otras temperaturas, la oxidación bioquímica es un proceso lento, cuya duración es, en teoría, infinita. En un período de 20 días se completa la oxidación del 95 a 99% de la materia carbonosa, y en los 5 días que dura el ensayo de la DBO se llega a oxidar entre el 60 y 70%. Se asume la temperatura de 20° C como un valor medio representativo de temperatura que se da en los cursos de agua que circulan a baja velocidad en climas suaves, y es fácilmente duplicada en un incubador. (Thomas, H. A., 1950).

### **1.2.10. Sólidos Totales**

En Suspensión (STS) o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105 °C hasta peso constante (APHA, AWWA, 2012). Son visibles a simple vista o a través de un microscopio ordinario y algunas veces son lo suficientemente grandes para ser eliminados fácilmente por sedimentación y filtración. Tales partículas aportan turbidez al agua, siendo en su mayoría de naturaleza orgánica, y por ello ejercen demanda de oxígeno.

### **1.2.11. Límite Permisible**

Concentración máxima o mínima permitida, según corresponda, de un elemento, compuesto o microorganismo en el agua, para preservar la salud y el bienestar humanos y el equilibrio ecológico, en concordancia con las clases establecidas.

### **1.2.12. Contaminación de Aguas**

A la alteración de las propiedades físico-químicas y/o biológicas del agua por sustancias ajenas, por encima o debajo de los límites máximos o mínimos permisibles, según

corresponda, de modo que produzcan daños a la salud del hombre deteriorando su bienestar o su medio ambiente. Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, (1995)

#### **1.2.13. Tratamiento de aguas residuales**

Tratamiento como el proceso físico químico y/o biológico que modifica alguna propiedad física, química y /biológica del agua residual cruda. Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, (1995)

#### **1.2.14. Área de descarga**

Área de influencia directa de la descarga de aguas residuales crudas o tratadas a un cuerpo receptor que incluye a los puntos de descarga y de dilución o al sistema de drenaje o alcantarillado. Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, (1995)

#### **1.2.15. Monitoreo Operacional**

El monitoreo operacional consiste en la realización de observaciones o mediciones planificadas para evaluar si las medidas de control en un sistema de agua de consumo humano están funcionando correctamente. Es posible establecer límites para las medidas de control, monitorearlos y tomar acciones correctivas en respuesta a una desviación detectada para evitar que el agua se vuelva insegura. (Organización Mundial de la Salud, 2018)

#### **1.2.16. Calidad Microbiológica del Agua**

La verificación de la calidad microbiológica del agua por lo general se basa en el análisis de microorganismos indicadores de contaminación fecal y usualmente se elige *Escherichia coli* o, alternativamente, coliformes termo tolerantes

#### **1.2.17. Coagulación, Precipitación o Sedimentación**

En la coagulación o precipitación se usa un dispositivo o método que emplea un coagulante o precipitante natural o químico para coagular o precipitar partículas en suspensión, incluidos los microbios, para mejorar su sedimentación. La sedimentación es un método de tratamiento del agua que utiliza la sedimentación de partículas en suspensión, incluidos los microbios, para eliminarlos del agua. Estos métodos se pueden usar con una tela o fibra como etapa de

filtración para eliminar el floculo (grandes partículas coaguladas o precipitadas que se forman en el agua). Esta categoría incluye la sedimentación simple (es decir, la que se logra sin un coagulante químico). Este método a menudo emplea una serie de tres vasijas u otros recipientes de almacenamiento de agua en serie, en los que el agua sedimentada (decantada) se transfiere cuidadosamente por decantación cada día; el tercer recipiente contiene agua que ha sido decantada de forma secuencial y almacenada al menos durante 2 días para reducir los microbios. (Organización Mundial de la Salud, 2018).

#### **1.2.18. Plan de Mantenimiento**

El programa de mantenimiento es un plan en el cual se encuentra conjunto de tareas preventivas o correctivas con el fin de cumplir objetivos de disponibilidad, fiabilidad y coste y lograr aumentar al máximo la vida útil de la instalación. Un plan de mantenimiento desarrolla tres tipos de actividades las cuales son actividades rutinarias, actividades programadas que se deben realizar a lo largo del año y actividades que se realizan en las paradas programadas. Cuando se realiza un plan de mantenimiento asegura la continuidad del proceso productivo para alcanzar las políticas de una organización INGENIERIA DE MANTENIMIENTO, (2019).

### **1.3. MARCO NORMATIVO**

#### **1.3.1. La Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia**

La Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, presenta un catálogo de derechos humanos fundamentales y primordiales considerando el derecho a los servicios básicos como un derecho humano fundamental y, la obligación del Estado de respetar este derecho, así en su art, 16. I. establece: “ Toda persona tiene derecho al agua y a la alimentación”, Art. 20 numeral I, indica: “Toda persona tiene derecho al acceso universal y equitativo a los servicios básicos de agua potable, alcantarillado, electricidad, gas domiciliario, postal y telecomunicaciones”, en el numeral II, establece : “Es responsabilidad del Estado, en todos sus niveles de gobierno, la provisión de los servicios básicos a través de entidades públicas, mixtas, cooperativas o comunitarias...La provisión de servicios debe responder a criterios de universalidad, responsabilidad, accesibilidad, continuidad, calidad, eficiencia, eficacia, tarifas equitativas y cobertura necesaria con participación y control social” y, en el

numeral III, dispone: “El acceso al agua y alcantarillado constituyen derechos humanos, no son objeto de concesión ni privatización y están sujetos a régimen de licencias y registros, conforme a ley”. Medina Hoyos , (2013).

Que la Constitución Política del Estados en su artículo 83. (Agua Potable y Alcantarillado).

I. De acuerdo a la competencia exclusiva del Numeral 30 del Parágrafo II del Artículo 298 de la Constitución Política del Estado, el nivel central del Estado tiene las siguientes

### **1.3.2. Competencias Exclusivas:**

1. Nivel central del Estado:

.b) Elaborar, financiar y ejecutar subsidiariamente proyectos de alcantarillado sanitario con la participación de los otros niveles autonómicos, en el marco de las políticas de servicios básicos.

II. De acuerdo a la **competencia concurrente** del Numeral 9 del Parágrafo II del Artículo 299 de la Constitución Política del Estado y en el marco de la delegación de la facultad reglamentaria y/o ejecutiva de la competencia exclusiva del Numeral 30 del Parágrafo II del Artículo 298 de la Constitución Política del Estado, se desarrollan las competencias de la siguiente manera:

#### **I. Nivel central del Estado:**

a) Elaborar, financiar y ejecutar subsidiariamente proyectos de agua potable y alcantarillado de manera concurrente con los otros niveles autonómicos, en el marco de las políticas de servicios básicos.

#### **II. Gobiernos Departamentales Autónomos**

a) Elaborar, financiar y ejecutar subsidiariamente planes y proyectos de agua potable y alcantarillado de manera concurrente y coordinada con el nivel central del Estado, los gobiernos municipales e indígena originario campesinos que correspondan, pudiendo delegar su operación y mantenimiento a los operadores correspondientes, una vez concluidas las

obras. Toda intervención del gobierno departamental debe coordinarse con el municipio o autonomía indígena originaria campesina beneficiaria.

b) Coadyuvar con el nivel central del Estado en la asistencia técnica y planificación sobre los servicios básicos de agua potable y alcantarillado.

### **III. Gobiernos Municipales Autónomos**

a) Ejecutar programas y proyectos de los servicios de agua potable y alcantarillado, conforme a la Constitución Política del Estado, en el marco del régimen hídrico y de sus servicios, y las políticas establecidas por el nivel central del Estado.

c) Proveer los servicios de agua potable y alcantarillado a través de entidades públicas, cooperativas, comunitarias o mixtas sin fines de lucro conforme a la Constitución Política del Estado y en el marco de las políticas establecidas en el nivel central del Estado.

### **IV. Gobiernos Indígena Originarios Campesinos Autónomos**

a) Los gobiernos indígenas originario campesinos, en el ámbito de su jurisdicción, podrán ejecutar las competencias municipales.

b) De acuerdo al Artículo 20 de la Constitución Política del Estado y la competencia del Numeral 40 del Parágrafo I del Artículo 302 de la Constitución Política del Estado, los gobiernos municipales tienen la competencia exclusiva del alcantarillado y establecimiento de las tasas sobre la misma.

### ***Ley de Aguas del 28 de noviembre de 1906***

Esta ley contempla todos los aspectos relacionados con el dominio y aprovechamiento de las aguas, servidumbres y competencias jurisdiccionales en materia de aguas, comunidades de regantes y sindicatos, policía de aguas, jurados de aguas, aprovechamiento de las aguas en sus distintos aspectos, como canales de navegación, pesca, industria, riego, abastecimiento de las poblaciones, sobre concesión de aprovechamientos, aprovechamiento para el servicio doméstico, fabril y agrícola, arrastre y sedimentos de las aguas, orillas de los lagos, lagunas y charcas, de los arroyos y ríos y sus riberas, dominio de las aguas

subterráneas, dominio de las aguas vivas, manantiales y corrientes, del dominio de las aguas pluviales, empero no contempla disposición alguna sobre las aguas residuales de uso doméstico e industrial, por su naturaleza general y porque en la época de su promulgación, las aguas residuales no representaban un problema de salud pública. Medina Hoyos , (2013)

***Ley 2066 “Ley de prestación y utilización de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario” del 11 de abril del 2000.***

Se presenta esta ley como un avance acorde a las nuevas políticas internacionales respecto al medio ambiente y su necesidad de protegerlo, preservarlo y controlar el uso racional de los recursos como el agua, el aire, la atmosfera, etc. En el artículo 1ro, implanta como su objeto el establecer las normas que regulan la prestación y utilización de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario y, el marco institucional que los rige, el procedimiento para otorgar Concesiones y Licencias para la prestación de los servicios, los derechos y obligaciones de los prestadores y usuarios, el establecimiento de los principios para fijar los Precios, Tarifas, Tasas y Cuotas, así como la determinación de infracciones más las sanciones, definiendo que el Saneamiento Básico comprende a los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario, disposición sanitaria de excretas, residuos sólidos y drenaje pluvial. En el Art. 5. de los principios, además de instituir la prevalencia de los principios de universalidad de acceso a los servicios, toma en cuenta el principio de calidad y continuidad en los servicios, congruentes con políticas de desarrollo humano, eficiencia en el uso y en la asignación de recursos para la prestación y utilización de los servicios y, en el último inciso establece el principio de “protección del medio ambiente”. Medina Hoyos, (2013).

**El Agua entre los Trece Pilares de la -Agenda Patriótica del Bicentenario 2025**

Establece en la Agenda 2010-2025, en el pilar número 2.- “Socialización y Universalización de los Servicios Básicos con Soberanía para Vivir Bien” que en la Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia se ha determinado que los servicios básicos constituyen derechos humanos; Para garantizar el acceso a estos servicios se precisa no solamente inversión pública sino también una regulación y fiscalización estricta desde el Estado.

En el pilar 9.- Soberanía Ambiental con Desarrollo Integral, respetando los derechos de la madre tierra- se establece como una de las metas respecto al Medio Ambiente para el 2025; “El Estado Plurinacional de Bolivia promueve y desarrolla acciones eficaces para que en Bolivia se respire aire puro, no existan ríos contaminados y basurales, y para que todas las ciudades desarrollen condiciones para el tratamiento de sus residuos líquidos y sólidos”

**Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias, Domiciliarias, resolución Secretarial No 390 del 20 de septiembre de 1994.**

El objeto del Reglamento se encuentra bien definido en el punto 1 “Objeto” determinando: “El presente Reglamento, tiene por objeto fijar las exigencias técnicas mínimas en cuanto a seguridad economía y confort que deben observar las instalaciones sanitarias domiciliarias en interiores en lo referente a agua fría, agua caliente, desagüe y ventilación de aguas residuales, drenaje de aguas de lluvia y alcantarillado pluvial y sanitario”. Medina Hoyos, (2013)

***Reglamento Nacional de Prestación de Servicios de agua potable y alcantarillado para centros urbanos, Resolución Ministerial No. 510 del 29 de octubre de 1992.***

Este Reglamento se encuentra vigencia dentro del Programa “Agua para todos” en el marco del Plan Nacional de Agua Potable y Saneamiento Básico 1991-2000 y regula las solicitudes de servicios, conexiones domiciliarias de Agua Potable y alcantarillado, urbanizaciones, prohibiciones, derechos y obligaciones de los usuarios, grifos públicos contra incendios y fuentes ornamentales, reclamos, sanciones, tarifas, suministros de agua potable y suspensiones y, en capítulo V regula el Lanzamiento de agua de Desechos Industriales en Fuentes, cursos de Agua Potable y/o Alcantarillado Sanitario, estableciendo las prohibiciones respecto a las aguas de desechos industriales contaminantes y perjudiciales. Medina Hoyos , (2013)

**Reglamento sobre Lanzamiento de Desechos Industriales en cuerpos de agua, Resolución Ministerial 010/85 del 24 de enero de 1985**

El Reglamento tiene por objeto la protección de los recursos hídricos en relación a sus usos preponderantes, así como el control de la calidad de los efluentes industriales urbano y rural, de modo que constituya un instrumento legal de protección de las aguas de uso público, doméstico, agropecuario, industrial comercial y recreativo, ya sea superficiales o subterráneas. Considera el reglamento que el Saneamiento constituye una obligación del Estado de las entidades particulares y públicas, prohibiendo a los establecimientos comerciales o industriales, públicos o privados o a toda entidad pública o particular de cualquier naturaleza, la descarga de residuos industriales, que ocasione la degradación de las aguas, a canalizaciones cerradas, abiertas, arroyos, riachuelos o cualquier cuerpo receptos de agua superficial o subterránea sin previo tratamiento que les convierta en inocuos e inofensivos al ambiente, prevé los daños y alteraciones o modificaciones que la industria efectuara en la Planta de Tratamiento Industrial, serán pasibles a multas. Medina Hoyos, (2013)

**D.S. 28818 del 2 de agosto del 2006, Reglamento a la Ley 2878, " Reconocimiento y otorgación de derechos de uso y aprovechamiento de Recursos Hídricos para el Riego"**

Este Decreto reglamenta la Ley 2878 del 8 de octubre de 2004; Ley de Promoción y Apoyo al Sector Riego para la Producción Agropecuaria y Forestal, en lo relativo a los derechos de uso y aprovechamiento de recursos hídricos para riego, las infraestructuras e inversiones relacionadas con esta actividad, así como el rol y funciones de instituciones públicas y privadas del sector riego y, en su disposición final primera establece: "En casos de contaminación de aguas que afectaren a titulares de registro o autorización, el SEDERI o el SENARI según corresponda, se constituirán en parte demandante, realizando las gestiones que correspondan ante las autoridades estatales competentes, dentro de la Ley de Medio Ambiente, sus reglamentos y el Código Penal. Medina Hoyos, (2013)

***Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias***

Puesto en vigencia mediante Resolución Ministerial 230 del 13 de septiembre del 2010 por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Vice ministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico.

El Reglamento se constituye en uno de los instrumentos normativos técnicos más importantes del sector y, establece el diseño y la construcción de los sistemas sanitarios domiciliarios a seguir por las EPSAS bajo el paraguas de los principios de Acceso universal al agua y saneamiento como un derecho humano, Agua como recurso escaso y vulnerable, esencial para la vida humana y conservación del agua y protección del medio ambiente, cuyo artículo 1.- Objeto establece: “ El Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias (RENISDA) Tiene por objeto establecer los requisitos técnicos mínimos para la planificación, el diseño, la construcción y puesta en servicio de las instalaciones domiciliarias de agua potable, evacuación de aguas residuales y el drenaje de las aguas pluviales.” Inc. 3) “Proteger la seguridad y salud pública, garantizando la calidad de las instalaciones domiciliarias de agua potable y el drenaje de aguas residuales pluviales.

#### **1.4. MARCO CONTEXTUAL**

El Municipio de Sucre, ubicado en la Provincia Oropeza del Departamento de Chuquisaca, cuenta con una superficie de 1.719,49 kilómetros cuadrados, equivalente a 171.931,49 hectáreas, distribuidas en ocho distritos municipales de los cuales, cinco corresponden a la ciudad de Sucre y conforman la “mancha urbana” y los tres restantes al área rural del Municipio.

Según los resultados del Censo Nacional de Población y Vivienda de 2012 el municipio de Sucre contaba con una población empadronada 261.201 habitantes y presentaba una tasa de crecimiento anual intercensal de 1.74. El 44,94% de la población del Departamento de Chuquisaca se encuentra concentrada en el Municipio de Sucre, según proyecciones del INE el municipio de Sucre contara con 295.476 habitantes para el 2020.

El Río Quirpinchaca, afluente de la subcuenca Cachimayo, constituye el principal colector de la red de alcantarillado de la ciudad en este río, en el que afluyen las aguas residuales aportadas por las quebradas de Valle Hermoso, Kantuna, La Aguada, Fe y Alegría, 6 de agosto, Aranjuez (Inisterio, 88 Ha; Santa Teresa, 130 Ha; Asnahuaico, 55 Ha), Phiscojaitana (695 Ha), Planta Diesel y Prosperina por un lado, y Tucsupaya y Yuraj Yuraj por el otro. Otras quebradas desaguan en este río, como Santa Catalina y Toro Cancha.

La Ciudad de Sucre cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), provenientes de aguas domésticas, industriales y de escorrentía pluvial, está ubicada en la zona denominada “El Campanario”, a una distancia de 7 km de la ciudad de Sucre sobre la carretera Sucre - Potosí está determinada por las coordenadas 19° 05' 57" de latitud Sud y 65° 15' 57" de longitud Oeste; a una altitud promedio de 2636 msnm, la planta cuenta con una extensión de 11,91 hectáreas fue construida con el Proyecto Sucre II, entró en funcionamiento el año 2003 y tiene una vida útil de 30 años, su funcionamiento está cargo de ELAPAS (Empresa Local de Alcantarillado y Agua Potable Sucre), Está diseñada para una capacidad Máxima de Tratamiento de 1.458 m<sup>3</sup>/hora, y materia orgánica Máxima de a partir de 600 ppm

Las aguas servidas de los usuarios conectados a la red de alcantarillado sanitario en aproximadamente un 80% y son tratadas en la Planta de Tratamiento y el resto son evacuadas a las quebradas, lo cual genera contaminación ambiental. Por los resultados porcentuales que se muestran, primero está el Distrito 2, segundo el Distrito 3, tercero el Distrito 1 con leve diferencia al Distrito 5 y así sucesivamente. Por lo tanto, las zonas de mayor expansión son los distritos 2 y 3 similar al agua potable. Las aguas servidas de algunos barrios de los distritos 3 y 5 evacuan a la quebrada del río Chico sin ningún tipo de tratamiento

La información para este trabajo fue generada en la gestión 2021 y parte del 2022 en un contexto social, donde existen varios conflictos sociales, malestares por las comunidades y municipio vecino por la contaminación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y al mismo tiempo como el Estado quiere buscar cambios estructurales en el sector, consisten en la pretensión de lograr un incremento sustancial del acceso a los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y saneamiento básico en general, garantizando la sostenibilidad y el carácter no lucrativo de los mismos. El derecho al acceso de los servicios de agua potable y saneamiento (Art. 16 y 20 de la CPE) representa una situación fundamental para todo usuario de los servicios, ya que la misma se debe otorgar sin ningún tipo de restricción y en las mismas condiciones para quien lo solicite y es una obligación de las entidades que prestan el servicio, (Art. 20 de la CPE) de brindar el mismo con responsabilidad, continuidad, cantidad, calidad así como buscar la mayor cobertura posible y que el usuario retribuya este servicio mediante tarifas equitativas.

La Sostenibilidad de los Servicios de Agua y Saneamiento solo es posible cuando se interrelacionan los ámbitos institucionales, técnicos, económicos, factores sociales y

ambientales. En la PTAR y en el Municipio de Sucre se presentan conflictos sociales, económicos y ambientales, muchos de estos promovidos por autoridades del Municipio de Yotala, representantes orgánicos y comunarios colindantes a la Planta.

#### **a) Población de la Comunidad del Campanario**

La comunidad, se ha manifestado en varias oportunidades por los malos olores que genera la planta de tratamiento y esto los genera, dolores de cabeza, diferentes enfermedades en sus hijos, pérdidas de valor económico de sus terrenos entre otros problemas. En muchas oportunidades bloquearon la carretera que comunica Sucre – Potosí, en otras ocasiones en las calles de la ciudad de Sucre, para poder solucionar estos problemas en muchas oportunidades los comunarios solicitaron la intervención del defensor del pueblo y otras instituciones.

#### **b) La Población rural aguas abajo (Yotala).**

Estos muestran su preocupación en cuanto a los efluentes de la planta de tratamiento, que contaminan las áreas de cultivo colindantes y a las poblaciones cercanas al cuerpo receptor aguas abajo, acompañado de sus autoridades del Municipio de Yotala realizaron varias movilizaciones haciendo conocer, que la planta no realiza el tratamiento completo de las aguas residuales generadas en Sucre, según los comunarios colindantes y transeuntes, en la PTAR no se realiza la operación y mantenimiento adecuado.

Aspectos Políticos a partir del año 2006, se propone un nuevo modelo económico, donde el Estado es el principal promotor de desarrollo, basado en el paradigma del Vivir Bien. En este contexto el 25 de enero de 2009, se aprueba la Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia (CPE), que en su artículo 373 consagra el agua como un “derecho para la vida”. En fecha 19 de enero de 2015, mediante Ley N° 650 se promulga la Agenda Patriótica del Bicentenario 2025, definiendo, con base en 13 pilares, los lineamientos y metas a alcanzar al año 2025. En este sentido, el Pilar 2: “Socialización y universalización de los servicios básicos con Soberanía para Vivir Bien”, establece como meta que el 100% de los bolivianos cuenten con servicios de agua y saneamiento. En fecha 21 de enero de 2016 se aprobó la Ley N° 777 del Sistema de Planificación Integral del Estado (SPIE) y en fecha 9 de marzo la Ley N° 786 del Plan de Desarrollo Económico y Social (PDES2) 2016 - 2020, el cual en materia de saneamiento básico establece al 2020, las siguientes metas:

- 95% de la población urbana cuenta con servicios de agua potable.
- 70% de la población urbana cuenta con servicios de alcantarillado y saneamiento.
- 60% de la población rural cuenta con servicios de alcantarillado y saneamiento.

Pero a la fecha las metas planificadas en el PDES2 para el 2020 no se cumplieron y las metas para el año 2025 esta por verse.

Lo cierto en la actualidad el problema ambiental que genera la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se lo maneja políticamente las autoridades y comunarios del Municipio de Yotala se movilizan exigiendo soluciones al problema cuando el Alcalde del Municipio de Sucre es de otra línea Política, y cuando son del mismo partido lo solucionan internamente, por esta razón no se busca una solución verdadera al problema ambiental generado por la PTAR El Campanario.

En el contexto económico, se tiene serios problemas, al ser un área muy cercana a la ciudad de Sucre, por el crecimiento poblacional hay una gran demanda de lotes para construir viviendas, pero los comunarios no pueden vender porque la Planta genera malos olores y no se puede habitar cómodamente, no solo que no pueden vender sus lotes sino que bajaron sus precios comerciales. Esto tiene una gran repercusión económica en los comunarios del lugar.

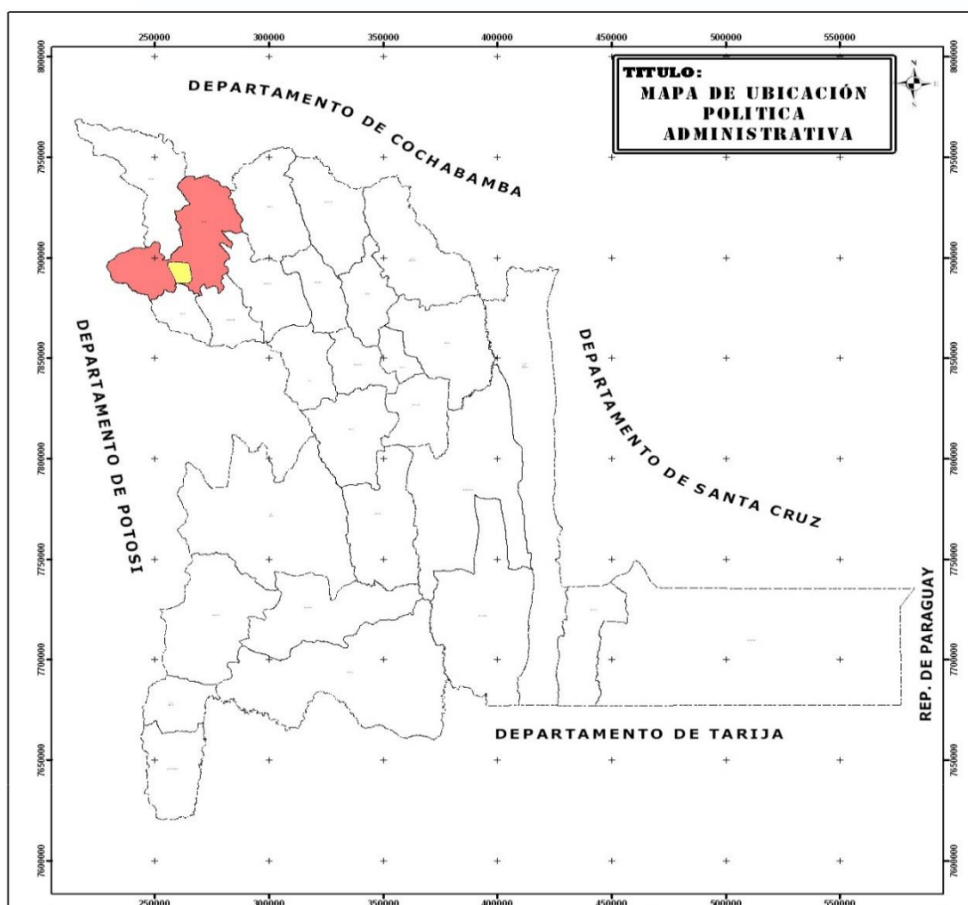
## **CAPITULO II**

### **DIAGNÓSTICO**

#### **Características generales**

El Municipio de Sucre, ubicado en la Provincia Oropeza del Departamento de Chuquisaca, cuenta con una superficie de 1.719,49 kilómetros cuadrados, equivalente a 171.931,49 hectáreas, distribuidas en ocho distritos municipales de los cuales, cinco corresponden a la ciudad de Sucre y conforman la “mancha urbana” y los tres restantes al área rural del Municipio.

#### ***Ilustración 2: Ubicación Geográfica***



Fuente: PTDI – 2016-2020

## Suelos

En general los suelos del área rural del municipio de Sucre presentan paisajes de serranía y de valles. Las serranías son de origen sedimentario y la litología. Los suelos predominantes son muy poco a moderadamente profundos, con poco desarrollo pedogenético por las pendientes escarpadas a muy escarpadas susceptibles a la erosión hídrica. Son suelos bien a excesivamente drenados con textura franco arenosas a franco arcillosas. Los valles comprenden terrazas aluviales, llanuras de piedemonte y lechos de río. Particularmente en la zona de estudio son suelos profundos, aptos para la agricultura.

**Cuadro 1:** Principales Cultivos Hortícolas en el Distritos 6, 7 y 8.

1	Acelga	8	Betarraga	15	Haba verde	22	Pimiento morrón
2	Achojcha	9	Brócoli	16	Lechuga	23	Rábano
3	Ají verde	10	Calabaza	17	Locoto	24	Sandía
4	Ajo	11	Cebolla	18	Melón	25	Tomate
5	Apio	12	Coles	19	Nabo	26	Vainita
6	Arveja verde	13	Coliflor	20	Pepino	27	Zanahoria
7	Berenjena	14	Espinaca	21	Perejil	28	Zapallo

**Fuente:** Sistematización de Información Distrital (2013).

Como se observa en el cuadro anterior la población de ríos debajo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, se dedican a producción de hortalizas y las cuales son regadas con las aguas residuales avacuadas de la planta, y estas hortalizas son comercializadas en los mercados de la ciudad de Sucre

### **Clima**

El Municipio de Sucre posee un clima templado y presenta tres tipos de climas según el método Thornthwaite y en función al índice de aridez, el tipo de clima que predomina en el municipio es el clima subhúmedo – seco, clima sin húmedo – húmedo y el clima semiárido. Los datos proporcionados por el servicio meteorología de Sucre, referidas a las temperaturas del municipio de Sucre según evolución de temperaturas presentan temperatura máxima media de 22°C, las temperaturas mínimas medias de 8,4 °

### **Vegetación**

El municipio de Sucre se distribuye en tres principales ecorregiones dentro de la Cordillera Oriental, presenta tres tipos de formación vegetal que son el bosque ralo, matorral y herbácea caracterizada por una vegetación semidecidual, pero en la parte occidental predomina el matorral deciduo, asociado con gramíneas y relictos de pequeños bosques. La vegetación protectora del suelo en los últimos años se ha tornado cada vez más escasa por el excesivo

pastoreo, extracción de leña y procesos de urbanización, que a su vez facilita el rápido escurrimiento superficial del agua y la formación de diversos procesos de erosión

### ***Principales actividades económicas***

En el sector de estudio la población se dedica a la horticultura, avicultura y ganadería por las características geográficas, climáticas e hídricas que poseen del lugar. Las hortalizas son regadas con las aguas residuales del Campanario otra parte de la población se dedica a la actividad avícola con granjas de pollos, así también otros comunarios a la ganadería para sacar leche, todos estos productos y derivados se comercializan en la ciudad de Sucre.

### ***Ilustración 3: Centros Poblados y Áreas de Producción***

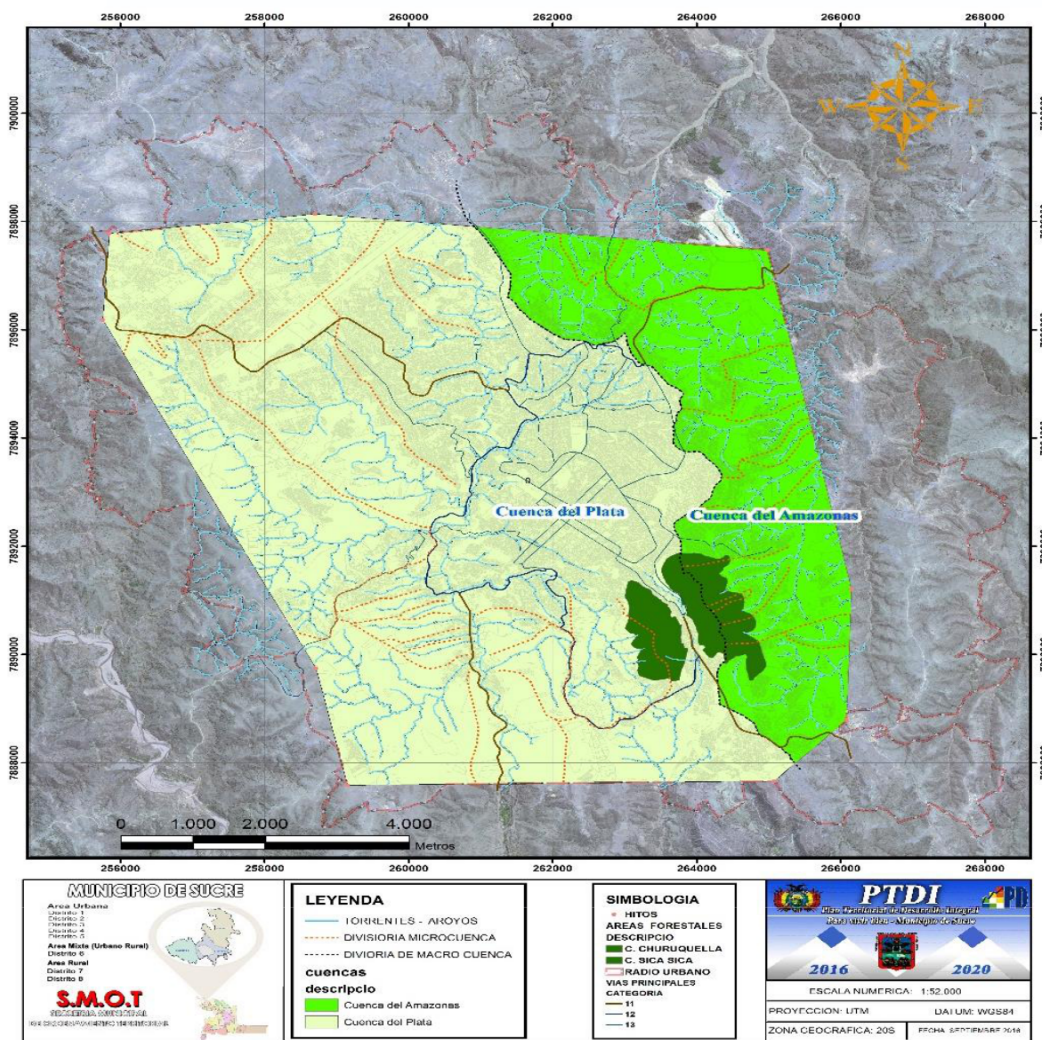


**Fuente:** Elaboración propia

### ***Recursos Hídricos***

La Ciudad de Sucre y su área de influencia están muy próximas (alrededor de 5 Km.) de la divisoria de aguas entre las dos Macrocuenca Sudamericanas, la del Río Amazonas cuya cuenca es el río Grande, las subcuencas son Río Chico y Presto y a estas además desembocan pequeñas micro cuencas de ríos y quebradas y la del Río de la Plata, cuya cuenca es el río Pilcomayo, la subcuenca es Cachimayu y a esta desemboca el río Quipinchaca y a este río son evacuadas las aguas residuales de la Planta de Tratamiento El Campanario

#### Ilustración 4: Cuencas y Cursos de Agua



**Fuente** INFO SPIE – secretaria de Ordenamiento Territorial

#### Agua

Según datos de Instituto Nacional de Estadísticas la cobertura de agua en el Municipio de Sucre ascendió a 91,4% de la población.

#### Cuadro 2: Usuarios de Agua Potable y Alcantarillado

DISTRITO	AGUA POTABLE		ALCANTARILLADO	
	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%
Distrito 1	4,387	13.8	3,904	13.8%
Distrito 2	14,339	45.2	12,762	45.2%
Distrito 3	6,193	19.5	5,512	19.5%
Distrito 4	2,666	8.4	2,373	8.4%

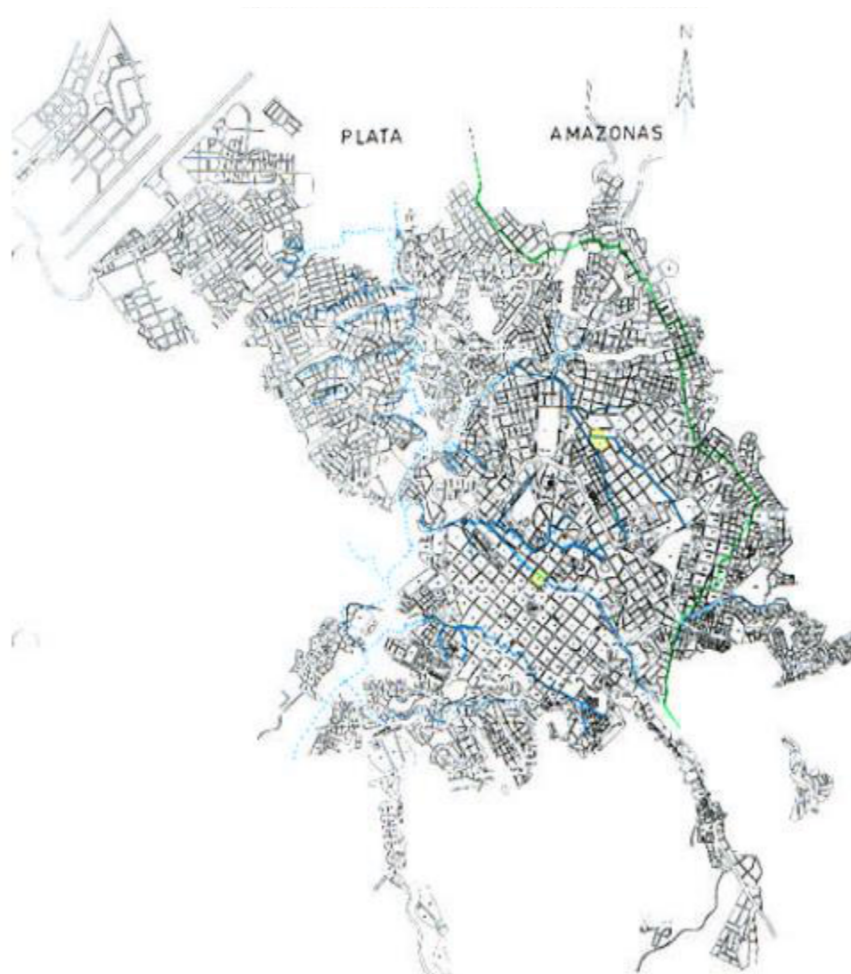
**Fuente:** PTEDI Sucre-2020

### ***Sistema de alcantarillado y sanamiento básico***

En relación a la cobertura del servicio de saneamiento básico el 70,2 % de las viviendas particulares del municipio durante la gestión 2001, el área urbana tenía una cobertura de 76,3% y la cobertura de saneamiento básico en viviendas particulares del área rural ascendían solo al 16,2%, sin embargo estos indicadores mejoraron para el 2012 donde la cobertura llego a un 78,9%, y mucho mas para la gestion 2020.

El sistema de alcantarillado sanitario comprende las etapas de recolección, conducción, tratamiento y evacuación. Como aspecto importante es preciso indicar que el alcantarillado de la ciudad de Sucre es mixto unitario, porque recolecta y conduce aguas servidas y pluviales; por otro lado por las características topográficas, el alcantarillado sanitario está dividido en las cuencas del Plata y Amazonas que desembocan en las quebradas del río Quirpinchaca y Amazonas respectivamente. Las que desembocan en el Quirpinchaca son en aproximadamente 80% y éstas son tratadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas del Campanario

***Ilustración 5:*** Ubicación de Colectores que Atraviesan la Ciudad de Sucre



**Fuente:** PDM 2010-2015

## 2.1. LOCALIZACION DE LA INVESTIGACION

La presente investigación se encuentra en el Departamento de Chuquisaca, Municipio de Sucre, sector el Campanario, donde se encuentra la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), a una distancia de 7 km de la ciudad de Sucre sobre la carretera Sucre - Potosí está determinada por las coordenadas  $19^{\circ} 05' 57''$  de latitud Sur y  $65^{\circ} 15' 57''$  de longitud Oeste; a una altitud promedio de 2636 msnm.

**Ilustración 6:** Localización

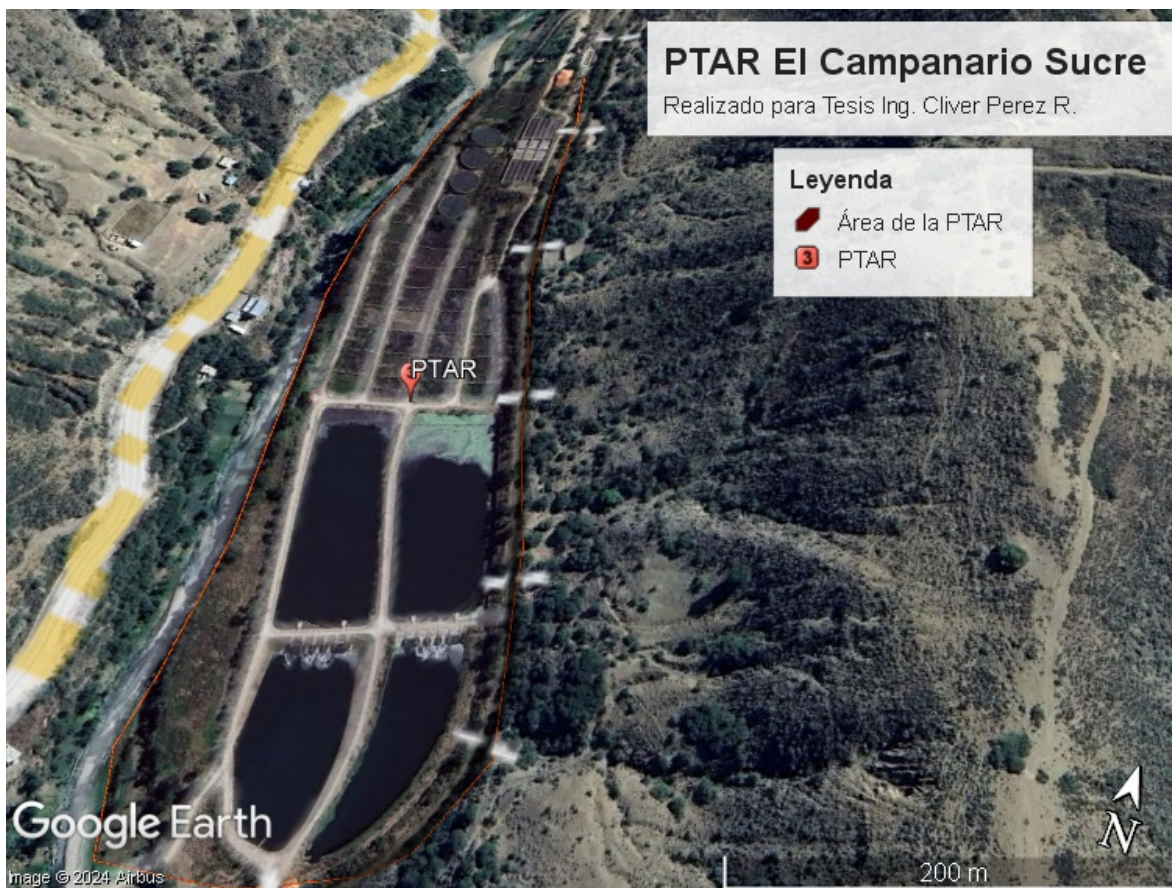


**Fuente:** Elaboración Propia

La recolección del agua cuenta con un sistema unitario, en el cual se recoge tanto aguas residuales, negras, domesticas como aguas pluviales de la ciudad.

- Recolección de aguas servidas a través de Colectores clasificados por emisarios
- Existe recolección de aguas pluviales, en las calles, esta diferenciado, hasta llegar a los embovedados en el cual se mezclan con aguas servidas.
- Estas redes conducen hasta el emisario principal ubicado en zona del Tejar para conducir hasta el Campanario.

**Ilustración 7:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Campanario



**Fuente:** Elaboración Propia

A continuación, se describe todo el proceso de tratamiento de las aguas residuales

## **2.2. LA PLANTA TIENE UN TRATAMIENTO CON UN SISTEMA COMBINADO**

La Planta de Tratamiento tiene un sistema de tratamiento convencional (Tanques Imhoff, Lechos Percoladores) y tratamiento con Lagunas de Maduración, de Sedimentación y secado de lodos, que está basado en el tren de tratamiento en Pre-Tratamiento, Tratamiento Primario, Tratamiento Secundario

### **2.2.1. PRE TRATAMIENTO**

Cuenta con Bypass, rejas de desbaste, medidor de caudales tipo Parshall, dos desarenadores de flujo horizontal y cámara de derivación de caudales al tratamiento primario

### **a) *Bypass principal***

Los elementos de entrada y Bypass Principal son de alta importancia para la planta de tratamiento que requieren vigilancia permanente, es decir día y noche, especialmente durante la época de lluvia. En casos de emergencia se puede derivar las aguas residuales que ingresan a la Planta de Tratamiento directamente al Río Quirpinchaca.

### **b) *Rejas de desbaste***

Las rejas de desbaste tienen la finalidad de retener el material de gran tamaño en suspensión como por ejemplo bolsas, botellas de plástico o madera. Las rejas son importantes para la protección de los dispositivos de transporte de aguas residuales, principalmente bombas, válvulas, tuberías, etc. Además, impiden la entrada de material en el proceso de tratamiento de lodos.

En la PTAR de Sucre se tiene 2 rejas mecánicas y una manual, también la reja cuenta con cernidores y para su limpieza de los mismos se posee rastrillos cuyos dientes al hacer el barrido se introducen entre las rejillas, posterior a ellos empujan los residuos a la cinta transportadora la que conduce los residuos a un contenedor.

### **c) *Aforador de caudales tipo Parshall***

Con el aforador Parshall son medidos los caudales de aguas servidas ingresando a la Planta de tratamiento. Su operación está conectada estrechamente con la operación manual del Bypass principal con lo que se regulan los caudales del ingreso, con la operación automática del regulador de caudal ALPHAEUS para la distribución del agua hacia los lechos percoladores, así como con la operación automática de las bombas de recirculación

### **d) *Desarenadores de flujo horizontal en paralelo de funcionamiento alternativo***

En la planta se tiene 2 desarenadores su función es de prevenir el ingreso de arena que puede causar daños a varias instalaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, por ejemplo:

- ❖ Corrosión de tuberías y de válvulas

- ❖ En los Tanques Imhoff puede formar un lodo muy duro que ya no puede ser extraído
- ❖ El desgaste de las bombas se aumenta dramáticamente

La velocidad de flujo disminuye en los desarenadores por la geometría de canal que forma del desarenador. La arena sedimenta y se acumula en el fondo del desarenador.

#### **e) Cámara de derivación de caudales al tratamiento primario**

En la cámara de derivación al tratamiento primario se derivan las aguas hacia los Tanques Imhoff. Para su operación existen dos válvulas, una para el lado norte y una para el lado sur de los tanques. En el estado normal las dos válvulas están abiertas para distribuir el agua a ambos lados.

### **2.2.2. TRATAMIENTO PRIMARIO**

Posterior al pretratamiento las aguas residuales ingresan a los Tanques Imhoff de sedimentación primaria y digestión de lodos primarios y secundarios; Tanques de regulación de caudales de aguas servidas; Sistema de extracción de lodos digeridos, acompañado de cámaras de derivación de caudales ALPHAEUS al tratamiento secundario.

#### **a) 6 tanques Imhoff de sedimentación primaria y digestión de lodos, primarios y secundarios.**

Los Tanques Imhoff sirven para la sedimentación de los lodos primarios igual como para los lodos en exceso provenientes del tratamiento biológico respectivamente de las lagunas de sedimentación. La segunda función del Tanque Imhoff es la digestión de los lodos sedimentados en un periodo dependiendo de la temperatura.

El Tanque Imhoff se divide en una zona de sedimentación, una zona para lodos flotantes y una zona de digestión. La zona de sedimentación está formada por pantallas que forman canales triangulares dentro de la zona. Las pantallas instaladas con inclinaciones de 1.1 a 1:1,5 efectúan la remoción de materiales sedimentables que resbalan por las aperturas entre

las pantallas e ingresan a los buzones de digestión. La zona de lodos flotantes se encuentra entre las dos zonas.

Los 6 Tanques Imhoff (cada uno divididos en 3 compartimentos de sedimentación y digestión) están dimensionados para el almacenamiento y la digestión de lodos durante de un periodo promedio de 40 días y un tiempo de estancia de una hora para el caudal de la hora pico (adicionalmente al caudal de recirculación). Cada uno de los tanques tiene una longitud de 29,35 m con un ancho de 10 m. La profundidad total es 9 m (5 m para los conos de digestión). El volumen total de los buzones de digestión es 4245 m<sup>3</sup> correspondiendo con el volumen de lodos acumulados en 40 días considerando las pérdidas de sólidos por la producción de metano.

#### ***b) Cámara de extracción de lodos***

La cámara de extracción de lodos trabaja bajo presión (según el nivel de agua en los Tanques Imhoff) la tapa es reforzada y sellado con una goma.

La cámara de extracción de lodos tiene solo las válvulas como elemento de operación. Si se requiere extraer lodos de alguno de los tanques Imhoff, o transportar lodos hacia las áreas de conversión, abrir. o cerrar las respectivas válvulas.

Mantenimiento revisión constante de los cuerpos de las válvulas en atención a la corrosión. En caso de corrosiones deben limpiar y pintar instantáneamente. Movimiento de las válvulas por lo menos cada mes, para impedir que se inmovilicen.

#### ***c) Tanques de regulación y Cámara de derivación de caudales a los lechos percoladores***

Durante las 24 horas del día el caudal de agua ingresa a la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas varía mucho, mientras que los Lechos Percoladores no toleran variaciones amplias. Por eso se instala un sistema de retención y regulación, consistiendo de un tanque de regulación (en total 6) detrás de cada Tanque Imhoff, así como 4 reguladores de caudal, instalados delante de cada lecho percolador

Los tanques de regulación tienen un Volumen de 3.360 m<sup>3</sup> y una profundidad de 3,75 m. cada uno. Los tres tanques en la dirección oeste - este está conectados por, compuertas de acero inoxidable. En la dirección sur -norte no hay conexión.

### **2.2.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO**

Están los Lechos Percoladores con la materia SESSIL; Estructuras de derivación de caudales a las lagunas; Lagunas de Sedimentación Secundaria y Lagunas de Maduración para el tratamiento biológico y remoción de compuestos biodegradables, obras de salida del Efluente.

#### ***a) Lechos Percoladores (rellenados con material SESSIL)***

El afluente de los tanques de regulación es transportado por gravedad a los rociadores, los que distribuyen las aguas residuales uniformemente de los lechos percoladores sin ningún soporte electromecánico. Para girar los rociadores necesitan un caudal mínimo de 62.5 l/s, el caudal máximo es 120 l/s. La presión mínima es 0.069 bar y la presión máxima 0.078 bar.

Los 4 lechos percoladores de la Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Sucre tienen un diámetro de 25 m y una altura total de 5 m (0.5 m debajo del material SESSIL y 0.5 m encima del material SESSIL). Restando el volumen del cilindro en el centro de cada lecho tiene un volumen llenado con material Sessil de 1.950 m<sup>3</sup>. La superficie específica del material SESSIL es 130 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

El tratamiento biológico consiste en la aplicación de un proceso natural controlado, en el cual los micro organismos descomponen material orgánico o material inorgánico. Los sistemas de tratamiento biológicos son diseñados para mantener una gran masa activa de bacterias dentro de los confines del sistema. Las técnicas utilizadas en su aplicación podrían variar ampliamente.

#### ***b) Cámara de derivación de caudales a las lagunas***

La cámara de derivación de caudales a las lagunas de sedimentación comprende dos válvulas para distribuir las aguas a las dos lagunas. En la operación normal las dos válvulas están abiertas, solamente para la limpieza de las lagunas hay que cerrar una de las válvulas.

### **c) 2 lagunas de sedimentación secundaria**

En la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Sucre se encuentran dos lagunas de sedimentación secundarias en operación paralela. Tienen la finalidad de retener sólidos sedimentables que salen de los lechos percoladores, que son parte de la biopelícula que se desprende del material SESSIL.

En el ingreso a las lagunas las aguas, pasan a lo largo de las pantallas deflectoras para dirigir el flujo. Entre el ingreso y la pantalla de geotextil, que fue instalada para retener flotantes, se ubican buzones de sedimentación en los cuales la mayoría de los lodos sedimentan para luego ser bombeados a los Tanques Imhoff donde son digeridos con el lodo primario.

### **d) Estaciones de Bombeo de Lodos y Drenaje.**

El Sistema de Bombeo de Recirculación, está previsto, para Bombear lodos secundarios de las lagunas de sedimentación. Por medio de conos de sedimentación y tubería de fierro fundido las lagunas están comunicadas, con las cámaras de las Bombas de Lodos. Estas tuberías van provistas de válvulas de cierre que permiten el cierre o el paso de los lodos secundarios.

Las bombas son controladas por un control de tiempo o el nivel de agua en las cámaras de derivación de caudales a los lechos percoladores. El control por nivel esta realizado por la instalación de sondas de nivel de agua en ambas cámaras de derivación de caudales a los lechos percoladores. Cuando el nivel del agua baja al nivel mínimo, que está ubicado 1.6 m encima del piso de los tanques de regulación, las bombas arrancan hasta que el nivel de agua llegue al nivel máximo (2.5 m encima del piso de los tanques de regulación) y las bombas se apagan automáticamente.

### **e) Lagunas de Maduración**

Las lagunas de maduración tienen la misión fundamental de eliminar restos de compuestos del tratamiento biológico y destruir los microorganismos patógenos por medio de la eliminación en un ambiente seminatural

Por la disponibilidad limitada del terreno, las lagunas de sedimentación están constituidas para un tiempo de retención de 1,0 días. Las lagunas ocupan un terreno disponible de 7665 (oeste) y 7524 (este) con volumen total de aprox. 21.750 m<sup>3</sup> y una profundidad de 1,75 m.

Las dos cámaras de salida en cada una de las lagunas están protegidas con pantallas de geotextil para evitar el ingreso de materiales flotantes al río. Para vaciar las lagunas completamente están integradas tuberías de desagüe en el fondo de cada cámara, cerradas con una compuerta

#### **2.2.4. TRATAMIENTO DE LODOS**

##### ***a) Áreas de conversión de lodos***

Los lodos residuales provenientes de los tanques Imhoff tienen un porcentaje alto de nutrimentos esenciales para el cultivo de plantas en agricultura igual como para proyectos de reforestación

Por razones higiénicas no es permitido utilizar lodos "frescos" así como lodo "estabilizados" para abonar campos de agricultura. Además, los lodos provenientes de los Tanques Imhoff tienen un porcentaje alto de agua así no será económico transportar y usar este substrato sin un tratamiento que incluye la deshidratación de los lodos.

Se eligió el proceso de "Conversión de lodos residuales en un producto tipo compost" para el tratamiento de los lodos producidos por el proceso de tratamiento de aguas servidas de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Sucre. Aparte de la deshidratación de los lodos este proceso tiene la ventaja de convertir los lodos en un producto parecido a compost o suelo natural. Además, el proceso dispone de una efectividad alta de destruir patógenos como Enterobacter, Streptococae, Salmonellae y huevos de Helminthes. También los nutrientes serán convertidos a un estado mineralizado que permite el uso seguro del producto para la cultivación en agricultura.

#### **2.3. RESULTADOS**

En La recolección de información para la presente investigación, fue realizada durante las gestiones 2021 y parte de la gestión 2022, información proporcionada por los técnicos de la empresa que trabajan en la planta de tratamiento, también como maestrante fui a trabajar

durante un mes todos los días a recabar información, observar todos los procesos que se realiza en la fase de Operación y Mantenimiento en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Campanario.

Este trabajo tiene como base en cuatro documentos importantes:

- 1) La Guía para Aplicación de Herramientas e Instrumentos de Seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las PTAR en Bolivia
- 2) El manual de Operación y Mantenimiento, Descripción de Obas de la Planta de tratamiento de aguas residuales El Campanario
- 3) La Guía Técnica para el Reúso de Aguas Residuales en Bolivia, aprobada mediante la Resolución Ministerial N° 583
- 4) Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica proveniente de la Ley 1333 de Medio Ambiente

La Guía para Aplicación de Herramientas e Instrumentos de Seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las PTAR en Bolivia, la misma que fue aprobada mediante la Resolución Administrativa Regulatoria AAPS N°300/2018, que esta guía tiene como fin el uso de cinco (5) indicadores de desempeño, los cuales fueron diseñados para conocer la situación actual y el desempeño de las plantas. Estos indicadores serán calculados en base a información que deberá ser generada por las EPSA y tienen que reportar a la AAPS de manera semestral, a fin de realizar su evaluación y respectivo seguimiento.

Las herramientas de seguimiento y evaluación, son un conjunto de variables, índices e indicadores, que permitirán conocer y evaluar las condiciones técnicas particulares de la operación y mantenimiento de las PTAR.

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.

Bajo estas consideraciones se plantea el uso de los siguientes indicadores:

**Tabla 1:** *Indicadores y Variables para la Guía de PTAR*

No	INDICADOR		ÍNDICE		VARIABLES (DATOS A REPORTAR POR LAS EPSA)	UNIDAD
	DESCRIPCIÓN	SIGLA	DESCRIPCIÓN	SIGLA		
-	-	-	Capacidad de Tratamiento actual respecto al Caudal del afluente	CPTAR	Caudal medio actual del afluente <sup>10</sup>	m <sup>3</sup> /h
					Caudal de diseño o de la última ampliación <sup>11</sup>	m <sup>3</sup> /h
A	CAPACIDAD DE TRATAMIENTO UTILIZADA EN LA PTAR	CTUP	Capacidad de Tratamiento Actual respecto a la Población Servida	CTP	Población actual servida	hab.
					Población de diseño o de la última ampliación	hab.
			Capacidad de Tratamiento Actual respecto a la Carga Orgánica	CCO	Caudal de diseño o de la última ampliación	m <sup>3</sup> /h
					Concentración DBO <sub>5</sub> de diseño	mg/l
					Caudal medio actual del afluente	m <sup>3</sup> /h
					Concentración media de DBO <sub>5</sub> en afluente	mg/l
					Volumen medio de lodos de ETRL	m <sup>3</sup> /día
					Concentración media de DBO <sub>5</sub> de ETRL	mg/l
B	CONDICIONES BÁSICAS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PTAR	CBO	Infraestructura Adicional y Servicios	IYS	Datos cualitativos respecto a infraestructura adicional y servicios	Adimensional
			Gestión de Personal Operativo	GPO	Datos cualitativos respecto a personal operativo	Adimensional
			Documentación Técnica Específica	DTE	Datos cualitativos respecto a documentación técnica específica	Adimensional
C	GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LA PTAR	GEM	Eficacia del Mantenimiento Preventivo	EMP	Número de actividades ejecutadas	Adimensional
					Número de actividades programadas	Adimensional
			Eficacia del Mantenimiento Correctivo	EMC	Número de situaciones imprevistas atendidas o solucionadas	Adimensional
					Número de situaciones imprevistas presentadas	Adimensional
D	EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DE LA PTAR	EfPTAR	Eficiencia de tratamiento respecto a la DBO <sub>5</sub>	EfDBO <sub>5</sub>	Concentración media de DBO <sub>5</sub> en afluente	mg/l
					Concentración media de DBO <sub>5</sub> en efluente	mg/l

					Eficiencia de diseño para remoción de DBO <sub>5</sub>	%	
			Eficiencia de tratamiento respecto a la DQO	EfDQO	Concentración media de DQO en afluente	mg/l	
						Concentración media de DQO en efluente	mg/l
						Eficiencia de diseño para remoción de DQO	%
			Eficiencia de tratamiento respecto a los SST	EfSST	Concentración media de SST en afluente	mg/l	
						Concentración media de SST en efluente	mg/l
						Eficiencia de diseño para remoción de SST	%
E	TRATAMIENTO DE LODOS GENERADOS EN LA PTAR	TLG	Tratamiento de Lodos generados en la PTAR	TLG	Volumen de lodos generados	m <sup>3</sup>	
					Volumen de lodos Tratados	m <sup>3</sup>	

**Fuente:** Guía N° 300 de Herramientas de Seguimiento, Monitoreo y Control de las PTAR.

En relación a los objetivos específicos 1 y 2, que son de “Formular un diagnóstico actual y analizar los resultados del mismo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” del Municipio de Sucre, en base a la Guía para la Aplicación de Herramientas e Instrumentos de Seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las PTAR en Bolivia. Se realizó el trabajo bajo las siguientes variables

### 2.3.1. INDICADOR “A”: CAPACIDAD DE TRATAMIENTO UTILIZADA EN LA PTAR (CTUP)

El indicador refleja en porcentaje, cuanto de la capacidad de tratamiento de diseño de la PTAR se utilizó al momento del cálculo del indicador, considerando condiciones y parámetros de diseño de la planta. Toma en cuenta la Capacidad de Tratamiento actual respecto al Caudal

del afluente (CPTAR) de la PTAR, la Capacidad de Tratamiento Actual respecto a la Población Servida (CTP) y la Capacidad de Tratamiento Actual respecto a la Carga Orgánica (CCO).

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

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

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.

**Cuadro 3.** Capacidad de Tratamiento actual respecto al Caudal del afluente

INDICE	CATEGORIA EPSA
	B
Capacidad de Tratamiento actual respecto al Caudal del afluente ( <b>CPTAR</b> )	43%
Capacidad de Tratamiento actual respecto a la Población Servida ( <b>CTP</b> )	33%
Índice de Capacidad de Tratamiento Actual Respecto a la Carga Orgánica ( <b>CCO</b> )	No se calculó por falta de análisis de los lodos por parte de ELAPAS

**Fuente:** Elaboración Propia

**Interpretación:** No sé a podido completar el cálculo del Indicador N°1 Capacidad de Tratamiento Utilizada en la PTAR (CTUP), porque la concentración de DBO<sub>5</sub> y el volumen de los lodos descargados en la PTAR, serán determinados a partir del monitoreo que realiza la EPSA a la Empresa Transportadora y Recolectora de Lodos (ETRL). Para el presente caso la Planta de Tratamiento El Campanario no entrega a ninguna empresa recolectora de lodos, al

contrario, ellos venden a personas particulares después del secado en las áreas de conversión de lodos y no realizan el análisis de DBO<sub>5</sub> para las ETRL.

### **2.3.1.1. CAPACIDAD DE TRATAMIENTO ACTUAL RESPECTO AL CAUDAL DEL AFLUENTE (CPTAR)**

La Capacidad de Tratamiento actual respecto al Caudal del afluente (CPTAR) muestra la relación porcentual entre el caudal medio actual del afluente y el caudal de diseño o de la última ampliación de la planta y representa la capacidad hidráulica actual de la PTAR.

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.

La expresión empleada para su cálculo es la siguiente:

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

$$PTAR = \frac{622.29 \frac{m^3}{h}}{1458 \frac{m^3}{h}} \times 100$$

$$CPTAR = 43\%$$

**Interpretación:** El valor obtenido para **CPTAR es de 43%**, es menor a 70% según los rangos establecidos para este indicador indica que la PTAR está dentro del calificativo ACEPTABLE, la capacidad hidráulica actual de la PTAR, es suficiente para atender la demanda existente sin comprometer aun su capacidad de diseño, esto permite realizar un tratamiento de las aguas residuales de manera adecuada. Sin embargo, se debe recalcar que si se captarían todas las aguas residuales generadas en la ciudad de Sucre la planta estaría fuera de los límites de la capacidad hidráulica, por lo que la empresa deberá de manera inmediata realizar gestiones para realizar ampliaciones y/o descentralizaciones de la PTAR El Campanario de acuerdo la topografía de la ciudad de Sucre.

### **2.3.1.2. ÍNDICE DE CAPACIDAD DE TRATAMIENTO ACTUAL RESPECTO A LA POBLACIÓN SERVIDA (CTP)**

La capacidad de tratamiento actual respecto a la población servida, se expresa en porcentaje y se calculó a partir de la relación entre la población servida actual de la PTAR y la población de diseño o de la última ampliación de la planta.

Por tanto, para el cálculo de este índice se utiliza la siguiente expresión:

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

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 período de diseño el cual se establece con base en la población inicial del proyecto.

Considerando que para las PTAR de categoría A y B, se recomienda considerar el criterio de *población equivalente* en lugar del criterio de población servida, debido a que las PTAR pueden recibir descargas de origen industrial lo cual incrementa la carga, la Plata El

Campanario al ser considerada como categoría B, para este indicador se trabajó con población equivalente.

$$Población\ Equivalente = \frac{24 * caudal\ medio\ actual\ del\ afluente * Concentración\ media\ de\ DBO5\ en\ afluente}{Carga\ Per\ cápita\ para\ Bolivia}$$

$$Población\ Equivalente = \frac{24 \times 622,29 \frac{m^3}{h} \times 353,85 \frac{mg}{L}}{54 \left( \frac{Kg.DBO}{hab.dia} \right)}$$

$$Población\ Eq = \frac{5284735,596}{54} = 97.865,474\ Hab_{Equi}$$

$$Población\ Eq = 97.865,474\ Hab_{Equi}$$

**Cuadro 4:** Capacidad de Tratamiento actual respecto a la Población Servida.

DATOS	VALOR	UNIDAD
Caudal medio actual del afluente	622,29	$\frac{m^3}{h}$
Concentración media DBO5 en afluente	353,85	$\frac{mg}{L}$
Población de diseño o última ampliación	300.066	[hab]
Población equivalente	97.865	[hab]

**Fuente:** Elaboración Propia

$$CTP = \frac{97.865}{300.066} \times 100 \quad CTP = 0.33 \times 100 = \mathbf{33\%}$$

**Interpretación:** De acuerdo al cálculo se tiene un valor de 33%, por debajo al 70% el cual se encuentra dentro de los rangos establecidos para este indicador, la capacidad de tratamiento

actual de la planta es suficiente para atender la demanda actual de la población equivalente, sin comprometer el funcionamiento de la planta no obstante las actividades de control, operación y mantenimiento no deben ser descuidadas. La PTAR su diseño es para 30 años de vida útil, de acuerdo a los resultados obtenidos y haciendo los cálculos correspondientes han transcurrido 10 años de operación de la planta, pero en la realidad la PTAR “El Campanario” entro en funcionamiento el año 2003 a la fecha han transcurrido 20 años de funcionamiento, por la no conducción de todas las aguas servidas de la ciudad, los resultados una vez más son menores a la realidad.

### 2.3.1.3. ÍNDICE DE CAPACIDAD DE TRATAMIENTO ACTUAL RESPECTO A LA CARGA ORGÁNICA (CCO)

Se calculó sumando la carga orgánica media actual del afluente y la carga orgánica de los lodos descargados por las Empresa Transportadora y Recolectora de Lodos (ETRL) en la PTAR, con relación a la carga orgánica de diseño. Las descargas de las ETRL solo se consideran si estas se presentan.

La Capacidad de Tratamiento Actual respecto a la Carga Orgánica (CCO) se expresa en porcentaje y se calcula a través de la siguiente expresión:

$$CCO = \left( \frac{CO_{Afluente} + CO_{Lodos ETRL}}{CO_{Diseño}} \right) * 100$$

Donde:

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

$CO_{Afluente} \left[ \frac{kg \cdot DBO_5}{día} \right]$  (**Carga Orgánica media actual en Afluente**) Es la carga contaminante en términos de  $DBO_5$ , el cual se obtiene a partir de las cargas diarias evaluadas durante el proceso de control de afluentes de la PTAR. Se calcula multiplicando el valor medio de la concentración de  $DBO_5 \left[ \frac{mg}{L} \right]$  y el caudal medio del afluente  $\left[ \frac{m^3}{h} \right]$ :

$CO_{\text{Lodos ETRL}} \left[ \frac{kg \cdot DBO_5}{día} \right]$ : Es la carga contaminante en términos de  $DBO_5$ , se calcula a partir de los valores de carga orgánica proveniente de los lodos recolectados por las ETRL. La carga orgánica puede ser obtenida, multiplicando el valor medio de concentración de  $DBO_5 \left[ \frac{mg}{L} \right]$  por el volumen medio de lodos  $\left[ \frac{m^3}{día} \right]$ : de las ETRL que se descargan en la PTAR durante un semestre.

$CO_{\text{Diseño}} \left[ \frac{kg \cdot DBO_5}{día} \right]$ : La carga orgánica de diseño puede ser obtenida, multiplicando el valor de concentración de  $DBO_5$  de diseño  $\left[ \frac{mg}{L} \right]$  por el caudal de diseño o de la última ampliación  $\left[ \frac{m^3}{h} \right]$

### Carga Orgánica afluente.

La expresión para su cálculo, es la siguiente:

$$CO_{\text{Afluente}} = \text{Caudal medio del afluente} * \text{Concentración media de } DBO_5 \text{ en afluente} * \frac{24}{1000}$$

**24 y 1000**: Son factores de conversión de unidades para que  $CO_{\text{Afluente}}$  esté expresado

en  $\left[ \frac{kg \cdot DBO_5}{día} \right]$

$$CO_{\text{Aflu}} = 622,29 \frac{m^3}{h} \times 353,85 \frac{mg}{L} \times \frac{24}{1000} = 220197,32 \times \frac{24}{1000}$$

$$CO_{\text{Aflu}} = 5284,74 \left[ \frac{kg \cdot DBO_5}{día} \right]:$$

### Carga Orgánica Lodos

La expresión para su cálculo, es la siguiente:

$$CO_{\text{Lodos}} = \frac{\text{Volumen medio de losdos de ETRL} * \text{Concentración media de } DBO_5 \text{ de ETRL}}{1000}$$

La concentración de DBO<sub>5</sub> y el volumen de los lodos descargados en la PTAR, son determinados a partir del monitoreo que realiza la EPSA a las ETRL. Para el presente caso NO SE CALCULÓ debido a que en la Planta de Tratamiento El Campanario no entrega a ninguna empresa recolectora de lodos, al contrario, ellos venden personas particulares después del secado en las áreas de conversión de lodos y no realizan el análisis de DBO<sub>5</sub> para las ETRL.

**Carga Orgánica de diseño:** La expresión para su cálculo, es la siguiente:

$$CO_{\text{Diseño}} = \text{Caudal de diseño o de la última ampliación} \cdot \text{concentración DBO}_5 \text{ de diseño} \cdot \frac{24}{1000}$$

$$CO_{\text{Diseño}} = 1458 \frac{m^3}{h} \times 345 \frac{mg}{L} \times \frac{24}{1000}$$

$$CO_{\text{Diseño}} = 12.072,74 \frac{kg \cdot DBO_5}{día}$$

**Caudal de diseño o de la última ampliación**  $\left[\frac{m^3}{h}\right]$ : Caudal medio de aguas residuales que pueden ser tratadas de manera eficiente durante el tiempo de vida útil de la PTAR, se proyecta durante la fase de diseño, ampliación o mejoramiento de la misma.

**Concentración DBO<sub>5</sub> de diseño**  $\left[\frac{mg}{L}\right]$ : Es la concentración de DBO<sub>5</sub> que puede ser descargada a la PTAR, la cual se establece para evitar daño inmediato o progresivo en las eficiencias de funcionamiento de los sistemas de tratamiento del agua residual.

Podrá asumirse el valor de diseño de la PTAR, o en su defecto utilizar el valor de 400  $\left[\frac{mg}{L}\right]$

**Cuadro 5:** Resumen de Capacidad de Tratamiento Actual Respecto a la Carga Orgánica

DATOS	VALOR	UNIDAD
Caudal de diseño o de la última ampliación	1458	$\frac{m^3}{h}$
Caudal medio actual del afluente	622,29	$\frac{m^3}{h}$
Concentración media DBO <sub>5</sub> en afluente	353,85	$\frac{mg}{L}$
Concentración DBO <sub>5</sub> de diseño	345	$\frac{mg}{L}$

Volumen medio de lodos de ETRL	159,53		$\frac{m^3}{día}$
Concentración media de DBO <sub>5</sub> de ETRL	-----		$\frac{mg}{L}$

**Fuente:** *Elaboración Propia*

**Interpretación:** El Índice de Capacidad de Tratamiento Actual Respecto a la Carga Orgánica (CCO), NO SE PUEDE CALCULAR, el personal de la PTAR no analiza el análisis de la concentración media de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO<sub>5</sub> de ETRL porque el lodo tratado en la planta no vende a ninguna empresa transportadora y recolectora de lodos, todos los lodos generados ellos venden a personas particulares

### 2.3.2. INDICADOR “B”: CONDICIONES BÁSICAS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PTAR (CBO)

Este indicador evaluó la infraestructura adicional y servicios; la gestión del personal operativo y la documentación técnica que posee la PTAR para su correcta operación y mantenimiento.

*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.*

**Tabla 2:** Las condiciones objeto de evaluación

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

**Fuente:** Guía N° 300 de Herramientas de Seguimiento, Monitoreo y Control de las PTAR

Se expresa en porcentaje y se calculó mediante la siguiente fórmula:

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

$$CBO = (83\% \times 0,3 + 50\% \times 0,5 + 50\% \times 0,2) \times 100$$

$$CBO = (24,9 + 25 + 10) \times 100$$

$$CBO = 60\%$$

**Interpretación:** De acuerdo a los resultados de los cálculos se tiene el 60% de las condiciones básicas para la operación y mantenimiento, indicándonos que las condiciones son **INADECUADAS** por lo tanto la PTAR debe mejorar sus condiciones básicas de O&M, en la infraestructura, pero sobre todo en los servicios, gestión del personal y disponer al alcance de todos los funcionarios los documentos como manuales de operación entre otros documentos

### 2.3.2.1. ÍNDICE DE INFRAESTRUCTURA ADICIONAL Y SERVICIOS (IYS)

Se evaluó la infraestructura adicional a las unidades de tratamiento de la PTAR y los servicios básicos requeridos, que apoyan el desarrollo de las actividades de O&M en la planta. Se obtiene a través de la relación entre el valor ponderado de las condiciones básicas con las que cuenta la PTAR, y las que debería contar mínimamente; como se muestra a continuación:

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

Donde:

**IYS [%]:** Índice de Infraestructura Adicional y Servicios.

**Infraestructura y Servicios existentes:** Es la suma de ponderaciones de las condiciones de infraestructura adicional y servicios con las que dispone la PTAR.

**Infraestructura y Servicios requeridos:** Se le asigna un valor igual a **20**, y representa la sumatoria total de las ponderaciones asignadas a las condiciones de infraestructura adicional y los servicios requeridas en la planta.

**Tabla 3:** Estado, funcionalidad de la Infraestructura o servicio:

las cuales se valoran bajo los siguientes criterios:

N°	INFRAESTRUCTURA ADICIONAL Y SERVICIOS	VALOR ASIGNADO 0= NO TINE 1= INADECUADO 2= ADECUADO	CATEGORÍA	B
			OBSERVACIONES	

1	Laboratorio equipado y en funcionamiento	2	La PTAR cuenta con laboratorio propio, tiene los equipos necesarios para su funcionamiento.
2	Caseta u Oficina (en uso) para operar en la PTAR	1	La PTAR tiene una gaceta al ingreso la misma que sirve de dormitorio del portero (sereno y al mismo tiempo él también es chofer)
3	Deposito con herramientas e insumos para O&M de la PTAR	1	La PTAR tiene deposito para sus herramientas, el mismo se considera que es muy pequeño y no está en condiciones optimas
4	Baños o ambientes para aseo personal	2	La PTAR, al interior de su infraestructura tiene baños y duchas para el personal operador y también tiene aparte baños y duchas para el personal administrativo de la PTAR
5	Servicios de energía eléctrica	2	La PTAR, SI tiene servicios de Energía Eléctrica, con algunas excepciones que se corta por algunos momentos
6	Servicios de agua potable	2	La PTAR, SI tiene servicios de Agua Potable sin ningún inconveniente
7	Señalización preventiva e informativa	1	La PTAR, SI tiene una señalización y la información no es suficiente no exponen los peligros que puede generar cada área.
8	Accesos y vías internas en la PTAR	2	La PTAR, SI tiene accesos adecuados para transpirabilidad, para el flujo de personas y vehicular
9	Cerco Perimetral	2	La PTAR, SI tiene, pero este no impide el ingreso de personas no autorizadas

15
----

**Fuente:** *Elaboración Propia*

$$IYS = \frac{15}{18} \times 100 \qquad IYS = 83\%$$

**Interpretación:** En el componente de infraestructura adicional y de servicios la PTAR tiene un índice de porcentaje del 83%, esto quiere decir que las condiciones de infraestructura son **ADECUADAS**, permitiendo tener condiciones favorables para llevar actividades de operación y mantenimiento en la planta. Siempre tomando en cuenta que se debe hacer mejoras a la infraestructura y servicios que tienen un valor de 1, que no favorecen las labores de Operación y Mantenimiento de la PTAR.

### 2.3.2.2. ÍNDICE DE GESTIÓN DE PERSONAL OPERATIVO (GPO)

Es la gestión del personal que dispone la PTAR para realizar trabajos de operación y mantenimiento en la misma. Se obtuvo a partir de la relación entre el valor ponderado del personal operativo que existe en la planta, y el valor ponderado de condiciones de personal con las que la PTAR debe cumplir mínimamente; como se muestra la siguiente expresión:

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

*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 requerido:** *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.*

En la siguiente tabla, establece una ponderación ante la existencia, presencia, desempeño y capacitación en las que se encuentre el personal operativo en la PTAR, las cuales se valoran bajo los siguientes criterios:

**Tabla 4:** Ponderación de datos Cualitativos Sobre Gestión del Personal Operativo

		CONSIDERACIONES DE EVALUACIÓN
PONDERACIÓN	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
0	NO TIENE	Inexistencia del personal
1	INADECUADO	Existencia del personal en incumplimiento de funciones, malas condiciones y/o deficiente organización
2	ADECUADO	Existencia del personal en cumplimiento de funciones, buenas condiciones y con eficiente organización

**Fuente:** Guía N° 300 de Herramientas de Seguimiento, Monitoreo y Control de las PTAR

**Cuadro 6:** Condiciones para la Gestión de Personal Operativo

N°	CONDICIONES PARA LA GESTIÓN DE PERSONAL OPERATIVO	VALOR ASIGNADO	CATEGORÍA	B
			OBSERVACIONES	

1	Jefe o responsable principal de la PTAR	2	La PTAR, SI tiene un jefe de Planta
2	Jefe o responsable de laboratorio	1	Tiene un Técnico encargado, pero no tiene un jefe de laboratorio.
3	Personal técnico calificado	0	La PTAR, NO tiene, personal técnico calificado de manera específica que trabaje en la Planta
4	Personal de apoyo capacitado	1	La PTAR, tiene solo pasantes y NO tiene personal de apoyo técnico
5	Personal capacitado en tareas de O&M de la PTAR	2	La PTAR, SI tiene 8 operadores capacitados para el mantenimiento de la Planta.
6	Personal capacitado en Seguridad Industrial e Higiene	1	La PTAR, SI tiene 1 personal capacitado el mismo que desarrolla sus funciones dentro de toda la Empresa (ELAPAS)
7	Personal con Equipo de Protección	1	La PTAR, SI les dotan de equipos de protección personal, pero los mismos lo hacen de manera anual y en otro semestral. Hay labores de mantenimiento que realizan los operadores y sus EPP no están en buenas condiciones
8	Equipo de primeros auxilios (Botiquín equipado)	1	La PTAR, SI tiene Botequín equipado con insumos relativamente necesarios

Fuente: Elaboración Propia

9

$$GPO = \frac{9}{16} \times 100$$

$$GPO = 56\%$$

**Interpretación:** La PTAR se encuentra por debajo de los límites establecidos que es el 88% para una planta categoría B, que es el caso de la PTAR “El Campanario”, las condiciones son INADECUADAS. Por lo que debe mejorar las condiciones de la gestión de personal operativo

asignado a la Operación y Mantenimiento para alcanzar un valor adecuado, se recomienda contratar personal especializado y capacitar al personal de acuerdo al organigrama del Manual de Operaciones de la planta, también mejorar condiciones del equipo de protección personal y equipar el botequín con todos los insumos

### 2.3.2.3. ÍNDICE DE DOCUMENTACIÓN TÉCNICA ESPECÍFICA (DTE)

Este índice se obtuvo a partir de la relación entre el valor asignado a la existencia, disponibilidad y manejo de manuales, esquemas, organigramas y planes de actividades en relación a la operación y mantenimiento de la planta, con el valor asignado a la documentación específica con la que la PTAR debería contar mínimamente para la operación y mantenimiento; como se muestra a continuación:

$$DTE = \frac{\text{Documentación Técnica existente}}{\text{Documentación Técnica requerido}} \times 100$$

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 requerida:** 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.

A fin de evaluar objetivamente la disponibilidad y manejo de documentación técnica específica en la PTAR, en la **Tabla**, se consideraron varios documentos requeridos en una PTAR (requerimientos mínimos no limita vos) tomando en cuenta la categoría de la misma.

**Tabla 5:** Componentes sobre Documentación Técnica Especifica

N°	DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	VALOR ASIGNADO 0 = NO TIENE 1= TIENE	CATEGORÍA	B
			OBSERVACIONES	
1	Esquema visible del sistema de tratamiento	1	La PTAR SI tiene	
2	Organigrama consolidado	0	La PTAR Tiene un organigrama obsoleto inadecuado, aclarando que SI se tiene un Manual de Operación y Mantenimiento de la PTAR con un organigrama completo diseñado pero el mismo no lo ponen en práctica.	
3	Disponibilidad y utilización de Manuales de O&M en la PTAR	1	En la PTAR SI se tiene disponible un Manual de Operación y Mantenimiento el Tomo I, pero el tomo II y Tomo III no se tiene disponible para los funcionarios de la PTAR	
4	Plan de Actividades de O&M en la PTAR	0	En la PTAR, NO se encontró un documento donde este el Plan de las actividades semanal, mensual o anual. Las actividades lo realizan de manera automáticas reportando todas las actividades en el informe mensual.	

Fuente: Elaboración Propia

2

$$DTE = \frac{2}{4} \times 100$$

DTE = 50%

**Interpretación:** El valor de la Documentación Técnica Especifica (DTE) está por debajo de los límites establecidos que es igual o mayor a 75% para una PTAR de categoría B, por lo tanto es INADECUADO, se debe poner en práctica los Manuales de Operación y Mantenimiento, consolidar el Organigrama de diseño y hacer un Plan con todas las actividades que se tiene

que realizar de manera semanales, mensuales y anual, para que este mismo documento les sirva de guía y evaluación de las actividades realizadas, así poder alcanzar un valor adecuado.

**Cuadro 7:** Resumen Condiciones Básicas para la Operación y Mantenimiento

INDICE	VALOR
IYS	83%
GPO	50%
DTE	56%

**Fuente:** Elaboración Propia

$$CBO = (83 \times 0,3 + 50 \times 0,5 + 56 \times 0,2) \times 100$$

$$CBO = (24,9 + 25 + 11,2) \times 100$$

<b>CBO = 61%</b>
------------------

**Interpretación:** El valor del indicador de Condiciones Básicas para la Operación y Mantenimiento (CBO) es del 61% está por debajo del límite establecido que es igual o mayor al 85% para una Planta de Tratamiento Categoría B, esto explica que las condiciones de operación y mantenimiento de la planta son INADECUADAS, por tanto, la Empresa Local de Agua Potable Sucre (ELAPAS), debe implementar mejoras en las condiciones básicas de operación y mantenimiento. El valor del índice DTE refleja una mala gestión de documentación específico relacionada a las tareas de operación y mantenimiento en la PTAR. El valor de GPO refleja que la gestión del personal es deficiente para realizar todas las actividades de Operación y Mantenimiento a interior de la Planta.

### 2.3.3. INDICADOR "C": GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LA PTAR (GEM)

Este indicador reflejó 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 promediaron para tener el valor del indicador de Gestión del Mantenimiento (GEM) de la PTAR expresado en porcentaje.

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

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

Donde:

<b>GEM [%]:</b>	<i>Gestión del mantenimiento de la PTAR</i>
<b>EMP [adimensional]:</b>	<i>Eficacia del Mantenimiento Preventivo</i>
<b>EMC [adimensional]:</b>	<i>Eficacia del Mantenimiento Correctivo</i>

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

*INADECUADO:* < 85%    *ADECUADO:* ≥ 85%

### 2.3.3.1. ÍNDICE DE LA EFICACIA DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO (EMP)

La eficacia del mantenimiento preventivo, es el grado de cumplimiento de las tareas o actividades programadas en el periodo de un semestre, las cuales pueden ser previstas a ejecutarse de forma diaria, semanal, mensual y semestralmente. Se obtuvo al dividir la cantidad de actividades ejecutadas entre la cantidad de actividades programadas.

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

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 par culares de cada PTAR.

$$EMP = \frac{0}{0} \times 100 \quad EMP = 0\%$$

**Interpretación:** Este valor no se pudo calcular debido a que en la PTAR NO SE ENCONTRARON ninguna evidencia que programan anticipadamente las actividades de manera semestral, mensual o semanal, todas las actividades lo realizan de manera cotidiana rutinaria. También se debe exponer de acuerdo a la información obtenida que si se puede apreciar en los informes mensuales diferentes actividades que realizan en la PTAR, pero no tienen un registro de planificación de las mismas.

### 2.3.3.2. INDICE DE LA EFICACIA DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO (EMC)

La eficacia del mantenimiento correctivo, es la capacidad de la Entidad Prestadora de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (EPSA) para atender y resolver las situaciones imprevistas o problemas que se presentan dentro de las instalaciones de la PTAR. Esta relación, tuvo por objetivo evaluar si el total de situaciones imprevistas fueron atendidas o solucionadas.

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

Donde:

**EMC [%]:** Eficacia del mantenimiento correctivo

**Número de situaciones imprevistas Atendidas o Solucionadas:** Son el total de problemas presentadas 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.

$$EMC = \frac{0}{0} \times 100 \quad EMC = 0\%$$

**Interpretación:** No se pudo hacer ningún cálculo debido a que NO REGISTRAN las situaciones imprevistas atendidas o solucionadas, tampoco las situaciones imprevistas presentadas

De manera general el indicador C **no se pudo calcular por falta de información**

#### 2.3.4. INDICADOR “D”: EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DE LA PTAR (EfPTAR).

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. Para fines de la presente guía se consideran los parámetros de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST.

Para el cálculo del indicador se realizaron una evaluación individual de cada parámetro para posteriormente comparar la eficiencia de tratamiento actual de la planta con la eficiencia de tratamiento de diseño. En caso de no contar con los datos de eficiencia de diseño, se procederá a verificar el cumplimiento de los límites establecidos en la normativa ambiental (RMCH).

Para el cálculo de las eficiencias de remoción de SST y reducción de DBO<sub>5</sub> y DQO, se utilizó la siguiente expresión:

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

Donde:

**$EfPTARx$  [%]:** Eficiencia de remoción o reducción de la carga contaminante en la planta para el parámetro considerado ( $DBO_5$ , DQO o SST).

**$CX_{Afluente}$   $\left[\frac{mg}{L}\right]$ :** Concentración media en afluente del parámetro considerado ( $DBO_5$ , DQO o SST).

**$CX_{Efluente}$   $\left[\frac{mg}{L}\right]$ :** Concentración media en efluente del parámetro considerado ( $DBO_5$ , DQO o SST).

**X:** Parámetro ( $DBO_5$ , 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; para ello se tiene la siguiente expresión:

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

Donde:

**$EfPTARx$  [%]:** Eficiencia actual de remoción o reducción de la carga contaminante en la planta para el parámetro considerado ( $DBO_5$ , DQO o SST).

**$EfPTARx$  de Diseño [%]:** Eficiencia de diseño para remoción o reducción de la carga contaminante considerando el parámetro ( $DBO_5$ , DQO o SST)

**Cuadro 8:** Parámetros de diseño de Eficiencia de Tratamiento de la PTAR

PARÁMETRO	CONCENTRACIONES		EFICIENCIA DE DISEÑO %
	AFLUENTE $\left[\frac{mg}{L}\right]$	EFLUENTE $\left[\frac{mg}{L}\right]$	
$DBO_5$	353,85	49,667	94
DQO	611,97	208,51	94
SST	294,78	51,28	94

**Fuente:** Elaboración propia

**a) Comparación respecto a la eficiencia de diseño**

Se obtuvo mediante el cálculo de las eficiencias actuales como se muestra a continuación

**Eficiencia de tratamiento respecto a la DBO5 (EfDBO5)**

$$EFPTARx = \frac{Cx_{Afluente} - Cx_{Efluente}}{Cx_{Afluente}} \times 100$$

$$EFDBO_5 = \frac{C_{DBO_5 Afluente} - C_{DBO_5}}{C_{DBO_5 Afluente}} \times 100$$

$$EFDBO_5 = \frac{353,85 - 49,667}{353,85} \times 100$$

$$EFDBO_5 = 86\%$$

**Interpretación:** De acuerdo a los datos actuales se puede apreciar que el índice de remoción de la Materia Orgánica respecto a la DBO<sub>5</sub> es menor a la eficiencia de diseño, esto implica que debe realizarse un control de la cantidad de materia orgánica contaminante que ingresa a la PTAR que no se logra tratar de manera eficiente, puede ser por las inadecuadas tareas de operación y mantenimientos que realizan en la planta.

**Eficiencia de tratamiento respecto a la DQO (EfDQO)**

$$EFDQO = \frac{C_{DQO Afluente} - C_{DQO Efluente}}{C_{DQO Afluente}} \times 100 =$$

$$EFDQO = \frac{611,97 - 208,51}{611,97} \times 100 =$$

$$EFDQO = 66\%$$

**Interpretación:** De acuerdo a los cálculos realizados se puede apreciar que el índice de remoción de la Materia Orgánica respecto a la DQO, es menor a la eficiencia de diseño, por lo que la Empresa debe realizar un control sobre la carga orgánica contaminante que ingresa a la PTAR para determinar las causas, tomando en cuenta como el principal factor de las aguas industriales.

### Eficiencia de tratamiento respecto a los SST (EfsST)

$$EFSST = \frac{C_{SST\ Afluente} - C_{SST\ Efluente}}{C_{SST\ Afluente}} \times 100$$

$$EFSST = \frac{294,78 - 51,28}{294,78} \times 100$$

$$EFSST = 83\%$$

**Interpretación:** De acuerdo a los datos actuales se puede apreciar que el índice de remoción de la Materia Orgánica respecto a los SST, es menor a la eficiencia de diseño, se deben realizar un control a los sólidos suspendidos que ingresan a la PTAR mejorar el sistema de pre tratamiento y de esta manera se evita comprometer el funcionamiento de las unidades de tratamiento de la planta.

El criterio de comparación respecto a la eficiencia de diseño es

$$E_{fPTARx} \geq E_{fPTARx\ de\ Diseño}$$

**Cuadro 9:** Criterio de comparación respecto a la eficiencia de diseño

N°	PARÁMETRO	EFICIENCIA ACTUAL %	EFICIENCIA DE DISEÑO %	CUMPLIMIENTO
1	DBO <sub>5</sub>	86	94	NO cumple
2	DQO	66	94	NO cumple
3	SST	83	94	NO cumple

**Fuente:** Elaboración propia

En conclusión, se tiene problemas en la eficiencia de los tres parámetros en la medición de eficiencia con el diseño, se recomienda realizar adecuadamente las actividades de operación y mantenimiento en todo el tren de tratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

### 2.3.5. INDICADOR “E”: TRATAMIENTO DE LODOS GENERADOS EN LA PTAR (TLG)

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. El valor del Indicador de Tratamiento de Lodos Generados (TLG) está expresado en porcentaje y se calcula con la siguiente expresión:

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

Donde:

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

**Volumen de Lodos Tratados:**  $[m^3]$ : Es el volumen de lodos procesados mediante un sistema de tratamiento 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**  $[m^3]$ : 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.

$$TLG = \frac{1}{1} \times 100 \quad TLG = 1\%$$

**Interpretación:** En este indicador E, de tratamiento de lodos generados en la PTAR, NO SE TIENE DATOS porque en la Planta el Campanario no se hace un tratamiento de lodos, de acuerdo a la Guía para el seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las PTAR en Bolivia, donde 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. De acuerdo a los informes mensuales que presentan los funcionarios de la PTAR a la Empresa ELAPAS, si registran la cantidad de lodos generados y lodos secos y haciendo los cálculos correspondientes de 6 meses continuos se tiene un promedio mensual 159,53 m<sup>3</sup>/mes, lodos generados en la planta y después lo secan por 30 días se reduce a un promedio 5,27 m<sup>3</sup>/mes

**El objetivo específico número 3 que es de Analizar los últimos 3 resultados de las aguas residuales, realizados por el laboratorio de ELPAS en la PTAR “El Campanario” y determinar si los mismos cumplen o no con los Valores Máximos admisible de acuerdo al Anexo A-2 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica.**

#### **2.4. LIMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL REGLAMENTO EN MATERIA DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA**

Se presento los diferentes valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, de la Demanda Química de Oxígeno, Solidos Totales Suspendidos, pH, Conductividad Eléctrica y Coliformes termorresistentes estos valores corresponden a la gestión 2022 y fueron analizados durante 6 meses por el Laboratorio de Empresa ELAPAS, que funciona en las mismas instalaciones de la planta.

##### **2.4.1. pH**

El pH puede variar con relación al origen de las aguas, al clima, cambios diarios, naturales o por razones antropogénicas.

**Tabla 6:** Valores Del pH en el Efluente

VALORES DEL PH EN EL EFLUENTE				
ENERO	FEBRERO	MARZO	MAYO	ABRIL
8	8	8.1	7.3	8.1
7.8	8.4	8	7.2	8
8.3	8.1	8.8	7.7	7.9
7.7		8.1	7.8	8.1
		7.2		
8.0	8.2	8.0	7.5	8.0
<b>PROMEDIO</b>				
8				
8.2				
8				
7.5				
8				
7.9	<b>Promedio total</b>			

**Fuente:** Elaboración Propia en base a datos del Laboratorio de la PTAR Campanario

En la Guía para La Calidad del Agua de Consumo Humano Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) indica que un pH para una desinfección efectiva el valor debe ser menor a 8 y para que no llegue a dañar las tuberías y contaminar al humano, el pH debe ser mayor a 7. De igual manera, según el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Coordinación de Riego y Drenaje para el Reúso de aguas residuales en la agricultura (2016), el pH fuera de los rangos de valores conocidos como neutro, pueden condicionar la disponibilidad de los nutrientes para los cultivos y pueden ser solubles para ciertos metales.

El Reglamento Nacional en Materia de Contaminación Hídrica en su Anexo 2, los límites permisibles para descargas líquidas a un cuerpo receptor es de 6-9. De acuerdo a los resultados obtenidos se evidencia un promedio de 7.9 lo cual el pH de las aguas residuales tratadas de la PTAR de Campanario, si cumplen con normativa internacional y normativa boliviana

**Cuadro 10:** Cuadro Comparativo

Promedio	Máximo	Mínimo	OMS	México	Ley 1333	Cumple
7.9	8.3	7.5	7 a 8	7	7 a 9	SI

**Fuente:** Elaboración propia

#### 2.4.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO<sub>5</sub>

La Demanda Bioquímica de Oxígeno es una prueba que mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios, y es un parámetro orientador en el diseño de una planta de tratamiento mediante procesos biológicos

**Tabla 7:** Valores de DBO<sub>5</sub> del Efluente

VALORES DE DBO <sub>5</sub> DEL EFLUENTE						
FEBREO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	
26	48	47	69	24	49	
31	24	35	75	29	63	
72	57	39	68	23	69	
	58	74	67	25	77	
<b>43</b>	<b>46.75</b>	<b>48.75</b>	<b>69.75</b>	<b>25.25</b>	<b>64.5</b>	
PROMEDIO						
<b>FEBRERO</b>		43				
<b>MARZO</b>		46.75				
<b>ABRIL</b>		48.75				
<b>MAYO</b>		69.75				
<b>JUNIO</b>		25.25				
<b>JULIO</b>		64.50				
<b>PROMEDIO TOTAL</b>		<b>49.667</b>				
<b>Mg/L</b>						

**Fuente:** Elaboración Propia en base a datos del Laboratorio de la PTAR Campanario

En el cuadro se puede observar los resultados de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en el afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Campanario, fueron tomadas un total de 24 muestras, 4 en cada mes, durante 6 meses en la gestión 2022, se tiene

un promedio total de 49.667 mg/l, en el Reglamento Nacional en Materia de Contaminación Hídrica en su Anexo 2, los límites permisibles para descargas líquidas es de 80 (mg/l), según la “Guías de la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (USEPA) para Reúso de Agua”, el agua tratada para reúso urbano debe tener un DBO<sub>5</sub> de ≤30 mg/l, para el riego de vegetales de consumo humano, es el mismo valor y solo para el uso de áreas de acceso restringido el valor puede ser de ≤10 mg/l.

De la misma manera, según el Manual de buenas prácticas para el reúso seguro y productivo de las aguas residuales de domésticas del Ministerio de Agricultura y Riego del país vecino Perú para que las aguas residuales tratadas puedan ser reutilizadas para riego de vegetales el DBO<sub>5</sub> no debe tener más de 15 mg/l. Lo cual significa que los valores de DBO<sub>5</sub> obtenidas de los resultados del análisis que se realizó, no son aptas para riego.

**Cuadro 11:** Comparativo de DBO5 en Mg/L

Promedio	Máximo	Mínimo	EEUU	Perú	Ley 1333	Cumple
49.667	69.75	25,25	≤30	≤15	80	Cumple

**Fuente:** Elaboración propia

#### 2.4.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO también se emplea para la medición de la materia orgánica presente en aguas residuales industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. En muchos tipos de aguas residuales es posible establecer una relación entre DBO y DQO. Ello puede ser de gran utilidad puesto que la primera necesita 5 días para ser determinado frente a las tres horas que necesita la DQO para ser determinada. Una vez establecida la correlación entre ambos parámetros, pueden emplearse las medidas de la DQO para el funcionamiento y control de las plantas de tratamiento. (Thomas, H. A., 1950).

**Tabla 8:** Valores de DQO del Efluente

VALORES DE DQO DEL EFLUENTE					
FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
96	121	131	164	106	158
116	113	118	128	132	153
116	72	226	195	103	148
	97	123	113	137	163
<b>109.33</b>	<b>100.75</b>	<b>149.5</b>	<b>150</b>	<b>119.5</b>	<b>622</b>
PROMEDIO					
<b>FEBRERO</b>		109.33			
<b>MARZO</b>		100.75			
<b>ABRIL</b>		149.5			
<b>MAYO</b>		150			
<b>JUNIO</b>		119.5			
<b>JULIO</b>		622			
	Total	<b>1251.01</b>			
<b>PROMEDIO TOTAL Mg/L</b>		<b>208.51</b>			

**Fuente:** Elaboración Propia en base a datos del laboratorio de la PTAR Campanario

En el presente cuadro se puede observar los resultados de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Campanario, fueron tomadas un total de 24 muestras, 4 en cada mes, durante 6 meses en la gestión 2022, se tiene un promedio total de 208.51 mg/l de agua, en el Reglamento Nacional en Materia de Contaminación Hídrica en su Anexo 2, los límites permisibles para descargas líquidas para cuerpos receptores es de 250 (mg/l).

**Cuadro 12:** Comparación de DQO EN (Mg/L).

Promedio	Máximo	Mínimo	EEUU	Perú	Ley 1333	Cumple
208.51	149.5	622			250	SI

**Fuente:** Elaboración propia

#### 2.4.4. Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad de una sustancia de conducir corriente eléctrica, debido a la relación directa con los sólidos disueltos totales donde las sales en el agua se disuelven en iones con cargas positivas y negativas que conducen electricidad.

**Tabla 9:** Valores de Conductividad Eléctrica en el Efluente

VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN EL EFLUENTE				
ENERO	FEBRERO	MARZO	MAYO	ABRIL
967	960	1012	1100	928
1028	1092	1207	1310	984
1139	1170	1251	1222	1134
980		1042	1384	1216
		1003		
1029	1074	1103	1254	1066
<b>PROMEDIO</b>				
1029				
1074				
1103				
1254				
1066				
1105	[mS/cm]			

**Fuente:** Elaboración propia

En el cuadro se puede observar los valores de Conductividad Eléctrica (mS/cm) en el afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario”, fueron tomadas un total de 24 muestras, 5 en cada mes, durante 5 meses en la gestión 2022, se tiene un promedio total de 1105 (mS/cm), en el Reglamento Nacional en Materia de Contaminación Hídrica, los límites permisibles para descargas líquidas para cuerpos receptores es de 1500 (mS/cm),

Según el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Coordinación de Riego y Drenaje para el Reúso de aguas residuales en la agricultura (2016). Normalmente se utiliza la conductividad eléctrica (CE) como parámetro para evaluar la salinidad del agua de riego. Por ejemplo, si el agua que se vaya a reutilizar para riego contiene un valor de <600 (umohs/cm), se podrá regar

casi todos los cultivos, excepto aquellos muy sensibles a sales y si la CE se encuentra en el rango de 700 a 300 (umohs/cm), solo se recomienda sembrar aquellos cultivos que tengan de buena a moderada tolerancia a salinidad.

**Cuadro 13:** Comparación Conductividad Eléctrica

Promedio	Máximo	Mínimo	OMS	México	Ley 1333	Cumple
1105	1254	1029	----	700 a 300	1500	SI

*Fuente:* Elaboración propia

#### 2.4.5 Sólidos Suspendidos Totales SST del Efluente

Es el peso de las partículas sólidas suspendidas en un volumen de agua, retenida en papel filtro N°42.

**Tabla 10:** Valores de SST del Efluente

VALORES DE SST DEL EFLUENTE					
FEBRERO	MARZO	ABRIL	ENERO	MAYO	
31	58	45	35	45	
18	50	188	24	54	
19	52	55	63	30	
	57	43	53	56	
<b>22.67</b>	<b>54.25</b>	<b>82.75</b>	<b>43.75</b>	<b>46.25</b>	
PROMEDIO					
FEBRERO		22.67			
MARZO		54.25			
ABRIL		82.75			
MAYO		48.25			
JUNIO		46.25			
	Total	254.17			
<b>PROMEDIO TOTAL Mg/L</b>		<b>50.83</b>			

*Fuente:* Elaboración Propia en base a datos del laboratorio de la PTAR Campanario

En el cuadro se puede observar los valores de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario”, fueron tomadas un total de 24 muestras, 4 en cada mes, durante 5 meses en la gestión 2022, se tiene un promedio total de 50.83 mg/l de agua, en el Reglamento Nacional en Materia de Contaminación Hídrica en su Anexo 2, los límites permisibles para descargas líquidas para cuerpos receptores es de 60 mg/l

### RESUMEN DE LOS LÍMITES PERMISIBLES

Límites permisibles para disponer las aguas residuales tratadas a un cuerpo receptor, aclarando que estos límites son permisibles para reusos del agua en riego agrícola.

**Cuadro 14:** Valores del efluente en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica

N°	PARÁMETRO	$C_x$ Efluente $\frac{mg}{L}$	$C_x$ RMCH $\frac{mg}{L}$	CUMPLIMIENTO
1	DBO <sub>5</sub>	49,667	80	Cumple
2	DQO	208,51	250	Cumple
3	SST	50,83	60	Cumple
4	PH	7.9	7 a 9	Cumple
5	CE	1105	1500	Cumple

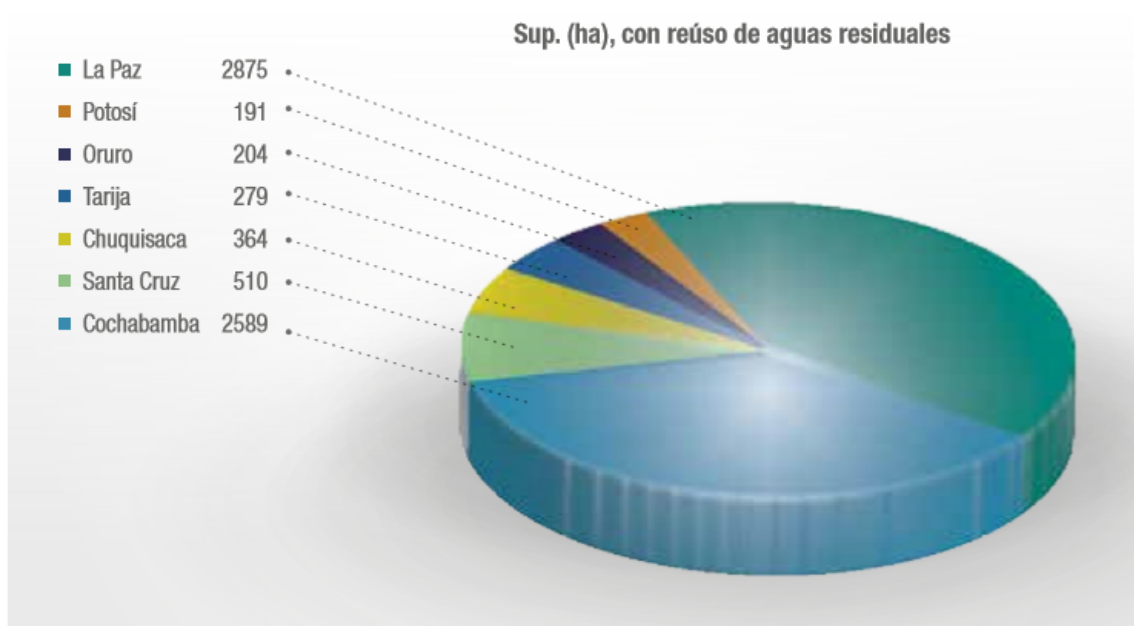
**Fuente:** Elaboración propia

**Interpretación:** De acuerdo a los límites establecidos por la normativa nacional en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, en la PTAR los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales, el pH y la Conductividad Eléctrica, están por debajo los límites permisibles cumpliendo todos los valores para disponer en un cuerpo receptor. Ahora bien, si estas aguas se quieren hacer el reusó en agricultura estos valores no cumplen por lo tanto se debe realizar un tratamiento terciario con la desinfección y al mismo tiempo no se debe descuidar realizar el seguimiento constante en los procesos de O&M de la planta.

## 2.5. AGUAS RESIDUALES Y SU REÚSO EN LA AGRICULTURA

Entendiendo que “Aguas Residuales” (AR) se refiere a aguas de desecho, cuya composición es variada dependiendo de su origen. En Bolivia se tiene una superficie aproximada de 7.012 hectáreas regadas con aguas residuales, donde se siembran cultivos forrajeros, frutales y hortalizas (como lechuga, zanahoria y cebolla entre otras). La mayor preocupación inherente a este riego obedece al riesgo de salud pública que representa el consumo de hortalizas producidas con estas aguas, ya que, en la mayoría de los casos, el agua residual aprovechada en el riego, no recibe ningún tratamiento, y en una menor proporción el agua proviene de una planta de tratamiento que no funciona adecuadamente (MMAyA, 2012).

**Gráfico N° 1:** Distribución de la superficie Agrícola regada con aguas residuales en Bolivia



**Fuente:** Guía Técnica para Reusó de Aguas Residuales en Agricultura

Como se puede observar en el Departamento de Chuquisaca se tiene hasta la gestión 2012, 364 hectáreas regadas con Aguas Residuales, estas cifras cada día van aumentando por la escasez del agua para riego.

### **2.5.1 Beneficios y riesgos en el uso de las aguas residuales**

**Cuadro 15:** *Veneficios y riesgos*

<b>Beneficios</b>	<b>Riesgos</b>
Las aguas residuales son un recurso hídrico que permite el desarrollo de la agricultura de riego aún en zonas áridas o semiáridas, ya que por su ubicación poseen déficit de agua.	Las aguas residuales, al ser un producto de desecho, contienen agentes patógenos y otros contaminantes. Por lo que esta agua al no ser tratada adecuadamente puede producir problemas al medio ambiente y a la salud
Las aguas residuales contienen nutrientes en forma disponible para las plantas, por lo que se reducen los costos de producción al no requerir o disminuir considerablemente la aplicación de fertilizantes químicos	Cuando las aguas residuales son vertidas a cuerpos de agua superficiales pueden provocar contaminación y eutrofización de cuerpos de agua cercanos.
Existen evidencias que muestran que los nutrientes que contienen las aguas residuales mejoran la fertilidad de los suelos. Esto se traduce en mejores rendimientos de los cultivos producidos	Cuando las aguas residuales son utilizadas en el riego agrícola existe el riesgo de cosechar productos con mala calidad sanitaria que incrementen los riesgos de salud de los consumidores.
Las aguas residuales se pueden utilizar para aumentar los volúmenes disponibles para riego en zonas agrícolas que posean déficit para suplir la demanda de los usuarios.	La mezcla de aguas superficiales con aguas residuales podría llevar contaminantes a zonas donde antes no existían, limitando la siembra a ciertos cultivos que no impliquen riesgos a la salud.
Las aguas residuales permiten el desarrollo de pequeñas zonas agrícolas de	Si las aguas residuales se aplican sin considerar prácticas de manejo de suelos y

riego, generando empleo y producción de alimentos	agua, se puede producir un incremento de los niveles freáticos y salinización de los suelos, afectando su productividad.
---	--

**Fuente:** Guía Técnica para Reusó de Aguas Residuales en Agricultura

Algunos parámetros agronómicos importantes a considerar en la calidad del agua de riego son: Conductividad Eléctrica (CE), cationes: Sodio (Na), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K); aniones: Carbonato ( $\text{CO}_3^{-2}$ ), Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^{-2}$ ), Cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), Sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) y Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), entre otros. Solamente cuando se sospeche que la calidad del agua tiene algún problema relacionado con la presencia de metales pesados, se deberá solicitar la determinación de alguno(s) en específico, con base en el listado de la normatividad vigente o tomando como referencia los más importantes por sus efectos sobre la salud humana, tales como: Arsénico, Cadmio, Cianuros, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc. Para el análisis, deberán considerarse los límites establecidos dentro de la misma normatividad o las referencias internacionales.

Los parámetros bacteriológicos importantes a considerar en la calidad del agua de riego para cultivos agrícolas son: Coliformes Fecales C.F. (media geométrica/100 ml) y Huevos de Helmintos H.H./L, que son indicadores internacionales utilizados para establecer la contaminación del agua por bacterias y parásitos causantes de enfermedades de tipo gastrointestinal en humanos

## 2.6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En base a los resultados de los análisis de laboratorio de la Empresa ELAPAS que fueron realizados mediante 24 tomas de muestras, 4 en cada mes durante 6 meses en la gestión 2022, comparando con los límites establecidos por la normativa nacional en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Solidos Suspendidos Totales, están por debajo los límites permisibles cumpliendo todos los valores para disponer en un cuerpo receptor. Ahora bien, como se establece en el Estudio de Evaluación de Impactos Ambientales, (2018), del total del caudal generado de afluentes

residuales en la ciudad de Sucre solo el 60% ingresa a la planta el resto es vertido directamente al río Quirpinchaca, la planta presenta varias dificultades por la mala operación y la falta de mantenimiento la misma solo removería un porcentaje de los sólidos totales y un porcentaje considerable de materia orgánica devolviendo las aguas al Río Quirpinchaca, agua cuyo tratamiento no es del todo eficiente y que vuelve a ser contaminada al mezclarse con el agua existente del río Quirpinchaca, esto genera grandes problemas sociales, económicos, ambientales y de salud a los comunidades aledañas a la planta. Apoyados en el Proyecto NODO de Saneamiento Sostenible Descentralizado en las “Experiencia en Plantas de Tratamientos Residuales Municipio Cliza, Cochabamba (2014)”, Nos indican que pensar en el modelo de gestión sostenible de una planta de tratamiento de aguas residuales para su posterior reutilización es mucho más que definir la tecnología de ingeniería a aplicarse, toda vez que implica consideraciones sociales, ambientales, legales e institucionales y financieras, en los aspectos ambientales, es conveniente debatir el probable reúso de las aguas tratadas, así como la definición de los parámetros de calidad del efluente, en función del probable reúso, finalmente, la definición de los aspectos financieros es otro aspecto clave para definir el modelo de sostenibilidad; se trata del establecimiento de las tarifas o subsidios (y en este último caso su presupuesto) requeridos para el correcto funcionamiento de los sistemas bajo determinado modelo de gestión, aspectos que no tomaron en cuenta en la planta el Campanario, se tiene una tecnología adecuada, pero no se tiene la sostenibilidad económica, existe malestar social , problemas ambientales y no consideraron el reúso de las aguas residuales aspecto que lo vienen realizando de forma cotidiana los comunarios. Todo eso se origina por tener procesos incompletos en la planta, por solo tratar un porcentaje de las aguas residuales generadas en la ciudad de Sucre y por último ante la escasa voluntad de las autoridades de turno para dar soluciones integrales a este grave problema

La Guía Técnica para el Reúso de Aguas Residuales en la Agricultura en Bolivia, se establecen parámetros permisibles, analizando cada uno de estos la Demanda Biológica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) como resultado de las 24 muestras durante 6 meses, se tiene un promedio total de 49.667 mg/l, en el contexto local las aguas residuales tratadas y no tratadas están siendo utilizados para riego de hortalizas por los comunarios de aguas abajo, comparando los parámetros de la “Guía de la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (USEPA) para Reúso de Agua”, el agua tratada para reúso urbano debe tener un  $DBO_5$  de  $\leq 30$  mg/l, para el riego de vegetales de consumo humano, es el mismo valor y solo para el uso de áreas de acceso

restringido el valor puede ser de  $\leq 10$  mg/l, para este objetivo los parámetros obtenidos en la PTAR El Campanario no cumple para el reúso agrícola. A pesar de esta realidad los comunarios riegan sus cultivos con estas aguas.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO), en el afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Campanario, se tiene un promedio total de 208.51 mg/l de agua, en el Reglamento Nacional en Materia de Contaminación Hídrica en su Anexo 2, los límites permisibles para descargas líquidas para cuerpos receptores es de 250 (mg/l), el valor se encuentra dentro los parámetros permisibles para verter a un cuerpo receptor, pero no así para el reúso del agua para riego, por lo tanto antes de someterlas a un tratamiento terciario de desinfección no se puede reusar el agua en riego, considerando que este indicador tiene que ver con toxicidad del agua.

Conductividad Eléctrica, en el afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario”, se tiene un promedio total de 1105 (mS/cm), en el Reglamento Nacional en Materia de Contaminación Hídrica, los límites permisibles para descargas líquidas para cuerpos receptores es de 1500 (mS/cm), solo para verter al cuerpo receptor cumple los parámetros. Según el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Coordinación de Riego y Drenaje para el Reúso de aguas residuales en la agricultura si la Conductividad Eléctrica CE se encuentra en el rango de 700 a 300 ( $\mu\text{mohs/cm}$ ), solo se recomienda sembrar aquellos cultivos que tengan de buena a moderada tolerancia a salinidad. Para el caso del Campanario la conductividad Eléctrica esta fuera de los límites permisibles y no se puede usar el agua para riego.

Los Sólidos Suspendidos Totales SST, de los análisis se tiene un promedio total de 50.83 mg/l, de acuerdo norma oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-202) el límite permisible para los sólidos suspendidos para uso en riego de áreas verdes es de 30 (mg/l) y el resultado que se tiene es de 50.83 mg/l por encima de los límites permisibles. Como establece León Suematsu G, (1995), en la Guías de Calidad de Efluentes para la Protección de la Salud fija parámetros de Calidad para el Uso de Aguas Residuales y el principal objetivo del tratamiento de aguas residuales es la eliminación de agentes patógenos, por lo tanto, las aguas servidas vertidas de la Planta “EL Campanario” no se puede utilizar para riego

En base a la Guía para Aplicación de Herramientas e Instrumentos de Seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las PTAR en Bolivia, esta guía tiene como fin el uso de cinco (5) indicadores de desempeño, los cuales fueron diseñados para conocer la situación actual y el desempeño de las plantas. Solo como ejemplo se desarrolla a 3 indicadores para demostrar que la Planta no realiza una buena Operación y Mantenimiento. El indicador Capacidad de Tratamiento Utilizado en la PTAR, de acuerdo a los resultados obtenidos y haciendo los cálculos correspondientes han transcurrido 10 años de operación de la planta, pero en la realidad la PTAR "El Campanario" entro en funcionamiento el año 2003 a la fecha han transcurrido 21 años de funcionamiento, este resultado refleja porque la planta solo trata el 60 % de las aguas residuales generadas en la ciudad de Sucre, si se catarían el 100% ya sobre pasaría su capacidad hidráulica, por lo tanto se debe desconcentrar el tratamiento construyendo otras plantas de acuerdo a la topografía de la ciudad. La Capacidad de Tratamiento Actual Respecto a la Carga Orgánica (CCO), no se puede calcular porque la PTAR no realiza el análisis de la concentración media de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO<sub>5</sub> para entregar a Empresa Transportadora y Recolectora de Lodos, lo que se tiene que implementar es una Línea de Tratamiento de Lodos en la PTAR; por último, el índice de Eficacia del Mantenimiento Preventivo (EMP), en la planta no se pudo encontrar ninguna evidencia que programan anticipadamente las actividades de manera semestral, mensual o semanal, todas las actividades lo realizan de manera cotidiana rutinaria, tampoco se puede evidenciar las actividades que realizan en casos de emergencias, imprevistas atendidas, y solucionadas etc. Por lo tanto como establece el Estudio de Evaluación de Impactos Ambientales, (2018), la planta presenta varias dificultades por la mala operación y la falta de mantenimiento la misma solo removería un porcentaje de los sólidos totales y un porcentaje considerable de materia orgánica devolviendo las aguas al Río Quirpinchaca, agua cuyo tratamiento no es del todo eficiente y que vuelve a ser contaminada al mezclarse con el agua existente del río Quirpinchaca, esto genera grandes problemas sociales, económicos, ambientales y de salud a los comunidades aledañas a la planta

## **CAPÍTULO III**

### **PROPUESTA**

En base al análisis de los resultados conseguidos se propone la siguiente propuesta:

#### **3.1. LÍNEAS DE ACCIÓN PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO EN LA PTAR EL CAMPANARIO**

De acuerdo a los cálculos realizados en los diferentes indicadores y variables de medición en líneas arriba, se plantea Líneas de acciones, estrategias de orientación y organización de diferentes actividades relacionadas con la gestión de la PTAR El Campanario, las mismos se podrán definir las líneas de acción a corto, mediano o largo plazo para lograr paulatinamente la mejora de las condiciones de operación y mantenimiento de dicha PTAR.

**Cuadro 16:** Capacidad de Tratamiento Utilizada en la PTAR (CTUP)

INDICADOR (A)	ÍNDICE	DESCRIPCIÓN Y LÍNEAS DE ACCIÓN
CAPACIDAD DE TRATAMIENTO UTILIZADA EN LA PTAR (CTUP)	CAPACIDAD DE TRATAMIENTO ACTUAL RESPECTO AL CAUDAL DEL AFLUENTE (CPTAR)	<p>Después de los cálculos realizados el valor obtenido para <b>CPTAR</b> es de <b>43%</b>, es menor a 70% según los rangos establecidos para este indicador refiere que la PTAR está dentro del calificativo ACEPTABLE, la capacidad hidráulica actual es suficiente para atender la demanda existente sin comprometer aun su capacidad de diseño, esto permite realizar un tratamiento de las aguas residuales de manera adecuada.</p> <p>Sin embargo, se debe indicar que la PTAR “El Campanario” no capta el 100% de las aguas residuales generadas en la ciudad de Sucre, si se captarían todas las aguas residuales generadas la planta estaría fuera de los límites de la capacidad hidráulica,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La EPSA ELAPAS de acuerdo la topografía de la ciudad <b>deberá de manera inmediata realizar gestiones para descentralizar la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario”.</b></li> </ul> <p><b>Contexto social</b></p> <p>Considerando que en la ciudad de Sucre se tiene micro cuencas que sus aguas escurren a la Cuenca Amazonas y a la del Plata, las aguas residuales generadas en la ciudad no son conducidas y tratadas en su totalidad en la planta de tratamiento, esto genera problemas sociales, ambientales, económicos en los ciudadanos que habitan en estas micro cuencas, viven del turismo, de la agricultura, fruticultura y ganadería. Por eso es importante desconcentrar el tratamiento de aguas residuales, de acuerdo a la topografía del lugar y así evitar de otras cuencas como, del Rio Chico, Calavera, Lajas tambo entre otras se conviertan en lugares contaminados y desvalorados como el campanario.</p>

	<p>CAPACIDAD DE TRATAMIENTO ACTUAL RESPECTO A LA POBLACIÓN SERVIDA (CTP)</p>	<p>La <b>CTP</b> muestra la capacidad de tratamiento actual respecto a la población servida.</p> <p>De acuerdo a la información proporcionada la población de diseño o última ampliación de la planta es de 300.066 habitantes y realizando los cálculos se tiene un valor de 33%, por debajo al 70% el cual se encuentra dentro de los rangos establecidos para este indicador, no obstante, las actividades de control, operación y mantenimiento no deben ser descuidadas.</p> <p>La PTAR su diseño es para 30 años de vida útil, de acuerdo a los resultados obtenidos y haciendo los cálculos correspondientes han transcurrido 10 años de operación de la planta, pero en la realidad la PTAR "El Campanario" entro en funcionamiento el año 2003 a la fecha han transcurrido 21 años de funcionamiento, por la no conducción de todas las aguas servidas de la ciudad, los resultados una vez más son menores a la realidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ La EPSA, debe hacer gestiones inmediatas, para descentralizar Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, para poder tratar todas las aguas residuales generadas por los habitantes y estantes de la ciudad de Sucre</li> </ul>
	<p>CAPACIDAD DE TRATAMIENTO ACTUAL RESPECTO A LA CARGA ORGÁNICA (CCO)</p>	<p>Se calcula sumando la carga orgánica media actual del afluente y la carga orgánica de los lodos descargados por las Empresa Transportadora y Recolectora de Lodos (ETRL) en la PTAR.</p> <p>El Índice de Capacidad de Tratamiento Actual Respecto a la Carga Orgánica (CCO), NO SE PUEDE CALCULAR, porque el personal de la Planta de Tratamiento no realiza el análisis de la concentración media de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO<sub>5</sub> para entregar a ETRL, porque el lodo secado en las áreas de conversión de lodos la planta no vende a ninguna empresa transportadora o recolectora de lodos, todos los lodos generados ellos venden a personas particulares, para el uso agrícola.</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>© ELAPAS de manera inmediata debe <b>implementar una línea de tratamiento de lodos</b>, donde deben estar contemplados las etapas de espesamiento, estabilización y deshidratación de lodos, generados en la planta</li> <li>© La empresa no debiera vender a personas particulares sin hacer un tratamiento completo de los lodos, además sin previo análisis después del secado que realizan en sus áreas de conversión.</li> </ul>
--	--	--

**Fuente:** Elaboración Propia

**Cuadro 17:** Condiciones Básicas para la Operación y Mantenimiento de la PTAR (CBO)

INDICADOR (B)	ÍNDICE	DESCRIPCIÓN Y LÍNEAS DE ACCIÓN
		<p>Evalúa la infraestructura adicional a las unidades de tratamiento de la PTAR y los servicios básicos requeridos, que apoyan el desarrollo de las actividades de O&amp;M en la planta</p> <p>En el componente de infraestructura adicional y de servicios la PTAR tiene un índice de porcentaje del 83%, esto quiere decir que las condiciones de infraestructura son <b>ADECUADAS</b>, permitiendo tener condiciones favorables para llevar actividades de</p>

<b>CONDICIONES BÁSICAS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PTAR (CBO)</b>	INFRAESTRUCTURA ADICIONAL Y SERVICIOS (IYS)	<p>operación y mantenimiento en la planta. No obstante, se deben hacer <b>mejoras y/o reemplazar de manera paulatina la infraestructura</b> como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La Caseta u Oficina (en uso) para operar en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.</li> <li>➤ El Depósito con herramientas e insumos para O&amp;M de la PTAR</li> <li>➤ La Señalización preventiva e informativa, si bien la PTAR, cuenta con señalización, pero no es suficiente, no exponen los peligros que se pueden generar en cada arrea de trabajo.</li> </ul>
	GESTIÓN DE PERSONAL OPERATIVO (GPO)	<p>Se refiere a la gestión del personal que dispone la PTAR para realizar trabajos de operación y mantenimiento.</p> <p>De acuerdo a los cálculos realizados la PTAR en la gestión del personal esta con el 56%, se encuentra por muy debajo de los límites establecidos que es igual o mayor al 88% para una planta categoría B, que es el caso de la PTAR “El Campanario”, las condiciones son INADECUADAS.</p> <p>ELAPAS debe mejorar las condiciones de la gestión de personal técnico operativo asignado a la Operación y Mantenimiento para lograr un correcto desempeño de las diferentes actividades, las acciones a tomar son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>Contratar personal de acuerdo al organigrama</b> estipulado en el Manual de Operación y Mantenimiento en su Tomo N°1.</li> </ul>

<p><b>CONDICIONES BÁSICAS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PTAR (CBO)</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>Contratar personal técnico especializado en PTAR</b> para la operación mantenimiento adecuado de la misma.</li> <li>❖ <b>Capacitar al personal operativo de acuerdo al organigrama</b> del Manual de Operaciones de la planta, para que desarrollen sus funciones de operación y mantenimiento de forma correcta.</li> <li>❖ <b>Mejorar las condiciones de equipo de protección personal</b></li> <li>❖ Equipar el botequín con todos los insumos necesarios</li> </ul> <p><b>Contexto Social</b></p> <p>Los habitantes de la Comunidad del Campanario y los transeúntes que circulan por la zona donde está emplazada la plantade tratamiento de aguas residuales, pueden apreciar que el personal operativo trabajando al interior de la planta es insuficiente, de inmediato esto lo asocian que son las razones por el desprendimiento de los malos olores y que la misma no está cumpliendo su función, eso se expresa en las diferentes reuniones, inspecciones que se realizan. Por eso es importante la contratación del personal de acuerdo al organigrama del Manuel de operaciones de la planta.</p>
--	--	---

	<p>DOCUMENTACIÓN TÉCNICA ESPECÍFICA (DTE)</p>	<p>Este índice se obtiene a partir de la relación entre el valor asignado a la existencia, disponibilidad y manejo de manuales, esquemas, organigramas y planes de actividades en relación a la operación y mantenimiento de la planta</p> <p>El valor de la Documentación Técnica Específica (DTE) de la PTAR es de 50%, está por debajo de los límites establecidos que es igual o mayor a 75% para una PTAR de categoría B, por lo tanto, es INADECUADO, esto constituye un problema que afecta el desempeño del personal de la planta, se debe realizar las siguientes acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe poner a disposición de todo el personal los Manuales de Operación, Mantenimiento y la documentación técnica específica</li> <li>• De acuerdo al Manual de Operación y Manteniendo se tiene un organigrama del personal técnico, operativo, el mismo se debe consolidar según el diseño de la planta</li> <li>• No se encontró un Plan de Actividades de O&amp;M en la PTAR. <b>Se debe hacer un Plan de trabajo con todas las actividades</b> que se tienen que realizar de manera semanal, mensual y anual, para que este mismo plan les sirva de guía y evaluación de las actividades realizadas, así poder alcanzar un valor adecuado.</li> </ul>
--	---	--

**Fuente:** Elaboración Propia

**Cuadro 18:** Gestión de Mantenimiento de la PTAR (GEM)

INDICADOR (C)	ÍNDICE	DESCRIPCIÓN Y LÍNEAS DE ACCIÓN
<b>GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LA PTAR (GEM)</b>	EFICACIA DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO (EMP)	<p>Es el grado de cumplimiento de las tareas o actividades programadas en el periodo de un semestre, las cuales pueden ser previstas a ejecutarse de forma diaria, semanal, mensual y semestralmente</p> <p>Este valor no se puede calcular debido a que en la PTAR NO SE PUDO encontrar ninguna evidencia que programan anticipadamente las actividades de manera semestral, mensual o semanal, todas las actividades lo realizan de manera cotidiana rutinaria.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>La EPSA debe Planificar y optimizar las actividades de mantenimiento preventivo de la PTAR</b>, de lo contrario, se corre el riesgo de que las distintas unidades de tratamiento no funcionen de forma adecuada</li> <li>- <b>Debe realizar una planilla de registro de todas las actividades planificadas y realizadas</b>, como se establece en la Planilla V, inciso a, de la Guía de seguimiento, monitoreo, control de la PTARs.</li> <li>- Se debe mejorar el control y seguimiento de las actividades.</li> <li>- <b>Se recomienda realizar una evaluación periódica de las actividades</b>, para mantener la eficiencia en el desarrollo de dichas actividades</li> </ul>
		<p>Es la capacidad de la Entidad Prestadora de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (EPSA) para atender y resolver las situaciones imprevistas o problemas que se presentan dentro de las instalaciones de la PTAR.</p>

	<p>EFICACIA DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO (EMC)</p>	<p>La Planta de Tratamiento Aguas Residuales, NO REGISTRAN las situaciones imprevistas atendidas o solucionadas, tampoco las situaciones imprevistas presentadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>La EPSA, debe registrar todas las situaciones imprevistas atendidas, y solucionadas,</b> como se establece en la Planilla VI, de la Guía de seguimiento, monitoreo, control de la PTARs.</li> <li>➤ <b>También debe registrar las situaciones imprevistas presentadas.</b></li> <li>➤ La EPSA al no registrar las situaciones presentadas no pueden designar mayores recursos para dar solución a los problemas que se presenten de manera inesperada</li> <li>➤ <b>La PTAR debe priorizar acciones que se brinde solución a corto plazo</b> y realizar monitoreos rutinarios para identificar los distintos casos que se presenten en la PTAR</li> </ul> <p><b>Contexto Social</b></p> <p>Conociendo el contexto social que expresa su malestar por una mal manejo y operación de la planta, los funcionarios no registran las situaciones imprevistas presentadas, solucionadas, no realizan una planificación de todas las actividades. Esto genera mayor certeza a los ciudadanos que la planta no esta realizando un buen tratamiento de aguas residuales y se tienen problemas de contaminación.</p>
--	--	--

**Fuente:** Elaboración Propia

**Cuadro 19:** Eficiencia de Tratamiento de la PTAR (EfPTAR).

INDICADOR (D)	ÍNDICE	DESCRIPCIÓN Y LÍNEAS DE ACCIÓN
<b>EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DE LA PTAR (EfPTAR).</b>	EFICIENCIA DE TRATAMIENTO RESPECTO A LA DBO5 (EfDBO5)	<p>De acuerdo a los datos calculados se tiene un valor del 86% este índice de remoción de la Materia Orgánica respecto a la DBO<sub>5</sub> es menor a la eficiencia de diseño, que para la presente PTAR es de 94%.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>© La EPSA debe realizar un control de la cantidad de materia orgánica contaminante que ingresa a la PTAR que no se logra tratar de manera eficiente.</li> <li>© La Empresa <b>debe incrementar y mejorar las tareas de operación y mantenimientos</b> en todas las etapas de tratamiento en la planta.</li> </ul>
	EFICIENCIA DE TRATAMIENTO RESPECTO A LA DQO (EfDQO)	<p>De acuerdo a los cálculos realizados se puede apreciar que la eficiencia actual de tratamiento de la DQO, es menor a la eficiencia de diseño, puede deberse a que la eficiencia de la planta esté afectada por una mala operación y mantenimiento en la PTAR.</p> <p>La EPSA debe realizar un <b>control sobre la carga orgánica contaminante que ingresa a la PTAR</b> para determinar las causas, tomando en cuenta como el principal factor los componentes de las aguas industriales.</p>
	EFICIENCIA DE TRATAMIENTO RESPECTO A LOS SST (EfSST)	<p>De acuerdo a los datos actuales se puede apreciar que la eficiencia actual de tratamiento de los SST, es menor a la eficiencia de diseño.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La EPSA deben realizar un <b>control a los sólidos suspendidos</b> que ingresan a la PTAR.</li> <li>✓ <b>Mejorar el sistema de pre tratamiento</b> y de esta manera se evita comprometer el funcionamiento de las unidades de tratamiento de la planta.</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración Propia

**Cuadro 20:** Tratamiento de Lodos Generados en la PTAR (TLG)

INDICADOR (E)	ÍNDICE	DESCRIPCIÓN Y LÍNEAS DE ACCIÓN
<p><b>TRATAMIENTO DE LODOS GENERADOS EN LA PTAR (TLG)</b></p>	<p>TRATAMIENTO DE LODOS GENERADOS EN LA PTAR (TLG)</p>	<p>Respecto al tratamiento de los lodos generados en la PTAR, NO SE TIENE DATOS porque en la Planta el Campanario no se hace un tratamiento de lodos de acuerdo a la Guía para el Seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las PTAR en Bolivia, donde 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 <b>solo es considerado como tal cuando el producto resultante puede ser dispuesto o aprovechado ecológicamente</b> cerrando el ciclo de saneamiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <b>La EPSA debe implementar de manera inmediata un tren de tratamiento de lodos</b>, para su tratamiento, manejo y/o disposición ambiental adecuada de lodos.</li> <li>❖ ELAPAS debe realizar los <b>análisis correspondientes al momento de la disposición del lodo líquido</b> y al momento del retiro para su venta correspondiente.</li> </ul> <p><b>Contexto Social</b></p> <p>En la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales el Campanario se tiene un área de conversión de lodos, la deshidratación de los lodos es un proceso que tiene ventaja de convertir los lodos en un producto parecido a compost o suelo natural. Además, el proceso dispone de una efectividad alta de destruir patógenos como Enterobacter, Streptococae, Salmonellae y huevos de Helminthes. También los nutrientes serán convertidos a un estado mineralizado que permite el uso</p>

		<p>seguro del producto para la cultivación en agricultura. Sin embargo, la normativa boliviana actual al proceso de conversión de lodos no considera como un tratamiento de los mismo, por lo que exige un tren de tratamiento más riguroso que contemplen fases como el espesamiento, estabilización, y la fase de deshidratación.</p> <p>En la actualidad la planta sin cumplir estas fases lo comercializan los lodos como compost a agricultores de la zona y esto conlleva varios riegos que puede contraer diferentes enfermedades en los agricultores y consumidores.</p>
--	--	--

**Fuente:** *Elaboración Propia*

### 3.2. VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL REGLAMENTO EN MATERIA DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA

**Cuadro 21:** Verificación de los Límites permisibles en la normativa nacional y los resultados del análisis de laboratorio - 2022

N°	PARÁMETRO	RESULTADO DE LABORATORIO	LÍMITES PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO
		$C_x \text{ Efluente } \left[ \frac{mg}{L} \right]$	$C_x \text{ RMCH } \left[ \frac{mg}{L} \right]$	
1	DBO <sub>5</sub>	49,667	80	Cumple
2	DQO	208,51	250	Cumple
3	SST	50,83	60	Cumple

**Fuente:** *Elaboración Propia*

De acuerdo a los límites establecidos por la normativa nacional en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Sólidos Suspendidos Totales están por debajo los límites permisibles cumpliendo todos los valores para disponer a cuerpo receptor, al mismo tiempo no se debe descuidar realizar el seguimiento constante en los procesos de Operación y Mantenimiento de la planta de tratamiento. Estos parámetros están dentro los límites permisibles solo de las aguas residuales que logran captar la Planta y como no se tratan todas las aguas generadas en el Municipio de Sucre las mismas aguas fluyen por el Río Quirpinchaca y se unen con las aguas tratadas en la planta y se vuelven a contaminar río abajo poniendo en riesgo la salud pública de los agricultores y de los consumidores finales, generando problemas ambientales, **para ellos es de suma urgencia que la Empresa tome acciones inmediatas para dar soluciones integrales, como la desconcentración de Plantas de Tratamiento de acuerdo a la topografía de la ciudad o implementar obras complementarias para la captación del 100% de las aguas residuales de la ciudad.**

### 3.3. REUSÓ DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO “EL CAMPANARIO” PARA LA AGRICULTURA

A nivel mundial, factores como el acelerado crecimiento demográfico, la contaminación de los cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos, y los cambios en los patrones climáticos han generado que la sociedad busque el aprovechamiento de todos los recursos hídricos disponibles, con el objetivo de producir alimentos y materia prima para la industria, recurriendo incluso a fuentes alternas como las aguas residuales, en el caso de Sucre tenemos una realidad que los agricultores que se encuentran de río debajo de la Planta de tratamiento, riegan todo tipo de cultivos con las aguas residuales que salen del planta y esos productos son comercializados en el ciudad de Sucre. Ante esta realidad basándose en los parámetros establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), en las leyes bolivianas, en la Guía Técnica para Reúso de Aguas Residuales en la Agricultura y otras normativas vigentes, tomando en cuenta los parámetros Físicoquímicos y microbiológicos permitidos para el uso de las aguas residuales en la agricultura la Empresa encargada de la administración del agua residual debe tomar acciones inmediatas buscando solución integral.

**En el último eslabón del tren de tratamiento implementar un tratamiento terciario para el reusó de las aguas residuales**, este puede ser una desinfección con Rayos Ultravioletas, que es muy eficaz para eliminar microorganismos y agentes patógenos causantes de las enfermedades gastro intestinales o en su caso de acuerdo a las condiciones económicas, logísticas de la empresa identificar la tecnología adecuada para realizar una desinfección del agua residual antes de su utilización, que la misma no solo puede servir para el riego de los cultivos si no también ante la déficit de agua en la ciudad de sucre se puede regar los áreas verdes con esta agua previamente tratada y desinfectada como se establece en la guía de reúsos de este tipo de aguas.

Tomando en cuenta que en el suelo vive la microbiota, flora y fauna microbianas, para evitar la afectación del suelo por riego con estas aguas, como el exceso de salinidad y perdida de filtración de suelo. ELAPAS, **debe realizar la selección de cultivos de acuerdo a la calidad del agua tanto desde el punto de vista fisicoquímico y bacteriológico.**

También se **debe realizar una ficha técnica para cada cultivo** tomando en cuenta la fase de desarrollo, como se cultiva en la actualidad y sugerir como se debería cultivar de forma adecuada sin poner en riesgo al agricultor, ni a los consumidores, ejemplo:

**Cuadro 22:** Cultivo de Lechuga con uso de agua residual

FASE DEL DESARROLLO	LECHUGA	
	ACTUALMENTE SE HACE	SUGERENCIA
<b>Preparación de terreno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riego de preparación del terreno: Aplicación de altas dosis de riego (150 mm) por inundación.</li> <li>• Arado superficial (20 cm) con arado de disco y rastrado (mullido) con tractor.</li> <li>• Conformación de surcos a 50 cm y una profundidad de 15 cm. <ul style="list-style-type: none"> <li>• En otros casos se conforman platabandas de 2 m de ancho por 50 de largo.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se recomienda uso de prendas de protección, botas de hule, guantes y tapabocas*</li> <li>• Uso de película plástica para solarizar el terreno previo al trasplante.</li> <li>• Siembra en camas o canteros de 1.20 a 1.50 m de ancho por 30 cm de altura y hasta 70m de largo. O surcos anchos de 40 cm y 25 cm de profundidad.</li> <li>• Uso de acolchados plásticos con orificios para el trasplante.</li> <li>• Riego de preparación del terreno: con riego (100 mm) conducidos por el fondo del surco con cierre en el extremo final del surco.</li> </ul>
<b>Periodo Inicial</b>	<p>0 a 7 dds</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Periodo de germinación.</li> <li>• Riego moderado con micro aspersor o regadera. 8 a 25 ddt</li> <li>• Riego durante el trasplante.</li> <li>• Realizar camellones a 25 cm de altura para evitar los hongos.</li> <li>• Trasplante: Manual a una distancia entre hileras 30 cm y entre plantas 25 cm</li> <li>• Abonado durante el trasplante. <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 a 6 riegos por surco.</li> </ul> </li> <li>• Deshierbe y aplicación de fertilizante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abonado previo al trasplante y no aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio.</li> <li>• Riego ligero previo o después del trasplante.</li> <li>• Riegos ligeros conducidos por el fondo del surco con cierre en el extremo final.</li> </ul>

<b>Fase de desarrollo</b>	26 a 40 ddt <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 riegos: Se aplica por surcos con una frecuencia entre 4 a 5 días.</li> <li>• Deshierbe y aplicación de fertilizante variando la dosis de N-P-K.</li> <li>• Tratamiento fitosanitario</li> </ul>	26 a 40 ddt <ul style="list-style-type: none"> <li>• Riegos ligeros conducidos por el fondo del surco con cierre en la cabecera.</li> <li>• No aplicar fertilizantes que contengan nitrato de sodio o cloruro de potasio.</li> </ul>
<b>Fase de maduración</b>	41 a 60 ddt <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 a 5 riegos por surcos.</li> <li>• Tratamiento fitosanitario</li> <li>• Deshierbe y aporque manual.</li> <li>• Corte del tallo, recolección manual y lavado.</li> <li>• Embolsado en canastas para su preservación del aplastamiento y deterioro.</li> </ul>	41 a 60 ddt <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 riegos con agua de mejor calidad de ser posible. Y supresión del último riego al menos de 1-2 días antes de la cosecha.</li> <li>• No colocar las lechugas cosechadas sobre el suelo, retirar 3-4 capas de hojas y embolsar antes de enviar al mercado.</li> </ul>

ddt= Días después del trasplante. dds=Días después de la siembra. \*Su uso es durante todo el ciclo

**Fuente:** *Guía para la Aplicación de Herramientas e Instrumentos de Seguimiento y Monitoreo de las PTAR- Bolivia*

### **3.3.1. LOS TRABAJADORES AGRÍCOLAS, ANTES, DURANTE Y DESPUÉS DEL RIEGO**

#### **Uso de prendas de protección**

En virtud del riesgo que existe al manipular aguas residuales tratadas o no, y contraer enfermedades de la piel, enfermedades gastrointestinales y de otro tipo, se recomienda que todos los trabajadores agrícolas que entren en contacto con el agua de riego y con los cultivos utilicen ropa de protección

1. Uso de botas de hule que protegerán sus pies y evitarán el contacto con el agua y el suelo
2. Uso de mascarillas (para partículas), protegerá su boca y su nariz de las micropartículas contaminadas y de los gases que desprenden las aguas residuales al ser manejadas para encausarlas hacia el interior de las parcelas.
3. Uso de guantes de látex (para trabajo pesado o industrial), que protegerán sus manos durante la manipulación del agua, suelo o compuertas para distribuir el agua en la parcela. Resultan muy útiles para evitar el contacto de las manos con el agua y el suelo y que se acumulen residuos de tierra bajo las uñas
4. Vestimenta de trabajo, de ser posible se recomienda que la vestimenta habitual de trabajo sea de algodón y de colores claros (ejemplos: Camisola de manga larga, pantalón y gorra o sombrero o cualquier otro accesorio que le proteja del sol

#### **Higiene durante la jornada de trabajo y después de ella**

- a) El uso adecuado de las prendas de protección durante la jornada laboral (uso de botas de hule, guantes y mascarillas, que no presenten daños o cortaduras).
- b) No ingerir alimentos o bebidas durante las labores dentro de la parcela.
- c) Lavar las manos con agua limpia y jabón durante su receso para tomar alimentos o bebidas fuera de la parcela
- d) Bañarse diariamente (usando agua limpia y jabón), para quitar cualquier residuo que se hubiera adherido a su ropa o cuerpo durante su labor en la parcela.
- e) No almacenar ropa sucia de trabajo que pueda ser manipulada por niños o animales, contaminándose de esta forma e incrementando los riesgos de contraer alguna enfermedad.
- f) Mantener limpias y recortadas las uñas

- g) Cumplir con su programa de desparasitación (al menos dos veces al año)
- h) Acudir al servicio médico en caso de presentar síntomas de cualquier enfermedad.

### **3.3.2. MEJORAR LA CALIDAD SANITARIA DE LOS PRODUCTOS DE CONSUMO**

Los consumidores constituyen el último eslabón en la cadena de riesgos asociados al reúso de aguas residuales tratadas para riego agrícola. Por lo cual, en este apartado se esbozarán algunas recomendaciones generales de higiene

- Descartar cualquier vegetal, tubérculo o fruta que traiga rajaduras.
- Lavar con agua limpia y desinfectar; pelar productos vegetales, hortalizas o frutas que se consuman en crudo.
- Lavar con agua limpia y jabón, así como pelar tubérculos o raíces que se usen en jugos (zanahorias, betarraga, jengibre, etc.).
- Enjuagar con agua limpia y cocinar adecuadamente cualquier producto de origen agrícola que sea comprado en fresco (habas, arvejas, papas, chayotes, berenjenas, camotes, etc.).
- Sólo guardar productos lavados o desinfectados si no van a ser consumidos de inmediato.

### **APORTE TEÓRICO**

La propuesta teórica del presente trabajo Establecimiento de Líneas de Acción en la Operación Y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” Del Municipión De Sucre fue en base al análisis de la Guía para Aplicación de Herramientas e Instrumentos de Seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las PTAR en Bolivia, esta guía tiene como fin el uso de cinco (5) indicadores de desempeño, como el Índice de Capacidad de Tratamiento Utilizada en la Planta (CTUP), en el cual se puede analizar la capacidad de tratamiento actual respecto al caudal del afluente, respecto a la población servida, a la carga orgánica; las Condiciones Básicas para la Operación y Mantenimiento (CBO), aquí se analiza a infraestructura adicional de servicios, gestión del personal operativo, documentos técnicos específicos; la Gestión de Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (GEM), en este indicador se mide la eficiencia del mantenimiento preventivo y correctivo de la planta;

la Eficiencia de Tratamiento de la PTAR (EFPTAR), este indicador mide la eficiencia de tratamiento respecto a la DBO5, la DQO y los Sólidos Suspendidos Totales; y por último el índice de Tratamiento de Lodos Generados en la Planta (TLG), los cuales fueron diseñados para conocer la situación actual y el desempeño de las plantas de tratamiento de Aguas Residuales en Bolivia, cada uno de estos indicadores se analizaron, midieron permitiendo la adecuación de los mismos al contexto regional, este trabajo servirá de guía y orientación para los próximos estudiantes interesados en el tema.

También se analizó los Límites Permisibles Establecidos en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica en Su Anexo N°2, que expresa los diferentes valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, la Demanda Química de Oxígeno y de los Sólidos Totales Suspendidos, para disponer a los cuerpos receptores, se analizó cada uno de ellos haciendo la comparación con los resultados que fueron tomadas un total de 24 muestras, 4 en cada mes, durante 6 meses en la gestión 2022 realizados por el Laboratorio de Empresa ELAPAS, esto permite analizar y verificar el cumplimiento de la normativa vigente en materia de contaminación hídrica, sobre todo en las etapas de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, permite identificar las falencias que se tiene.

Estos dos instrumentos técnicos emanados desde el nivel central del estado permiten, identificar, las falencias y aciertos en cada uno de las unidades del tren de tratamiento de las aguas residuales al interior de la planta, a partir de esta información también permite proponer líneas de acción para solucionar, mejorar, implementar en la fase de Operación y Mantenimiento de la PTAR.

En base a la Guía Técnica para el Reúso de Aguas Residuales en Agricultura para Bolivia, este instrumento delimita los valores permisibles para su uso del agua residual en la agricultura, al mismo tiempo el trabajo se permitió analizar y comparar normativas de otros países. En el presente trabajo aporta con los análisis comparativos y adecuados a nuestra realidad para futuros estudios

## **APOORTE METODOLÓGICO**

Ante la escasa disponibilidad bibliografía referente a estudios de Evaluación, en la Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la Ciudad de Sucre, este estudio podrá contribuir a posteriores investigaciones a nivel departamental y nacional, con la empleabilidad del método Delphi que permite seleccionar expertos entendidos en la materia de Aguas residuales los mismos brindaron opiniones de alternativas de solución ante los problemas ambientales presentados en la planta. También mediante el método acción participativa y colaborativa, que permitió identificar los problemas y solucionarlo mediante la intervención de forma colaborativa por el investigador, con instrumentos como la encuesta, entrevistas, también participando de forma directa en la operación y mantenimiento de la planta durante un mes, todo esto complementa a los demás métodos empíricos y teóricos empleados durante la investigación.

### **3.4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **3.4.1. CONCLUSIONES**

En el presente trabajo se llegó a las siguientes conclusiones

Se logro realizar el Diagnóstico actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” del Municipio de Sucre, en base a la Guía para la Aplicación de Herramientas e Instrumentos de Seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Bolivia, en el cual se analizó 5 indicadores como el Índice de Capacidad de Tratamiento Utilizada en la Planta (CTUP); las Condiciones Básicas para la Operación y Mantenimiento (CBO); el de Gestión de Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (GEM); la Eficiencia de Tratamiento de la PTAR (EFPTAR); y por último el índice de Tratamiento de Lodos Generados en la Planta (TLG).

No se pudo calcular el Índice de Capacidad de Tratamiento Utilizada (CTUP) en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, porque la empresa ELAPAS para vender el lodo secado no realiza análisis de la concentración media de  $DBO_5$ , y tampoco venden a las Empresas Transportadoras o recolectoras de lodos, la venta se realiza a personas particulares para su uso agrícola.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario”, solo el 64% de las aguas residuales son captadas y tratadas en la Planta de Tratamiento. Es decir, si se condujera y tratara todas las aguas residuales generadas en la ciudad de Sucre la planta de tratamiento ya estuviera fuera de su capacidad hidráulica.

Las Condiciones Básicas para la Operación y Mantenimiento de la Planta (CBO), es del 61% está por debajo del límite establecido que es igual o mayor al 85% para una Planta de Tratamiento Categoría B, esto explica que las condiciones de operación y mantenimiento de la planta son INADECUADAS, En relación a la gestión del personal no tiene personal técnico calificado de manera específica que trabaje en la Planta, de acuerdo a su organigrama aprobado

El Índice de Documentación Técnica Específica, en la actualidad se tiene un valor del 50% el mismo está por debajo de los límites establecidos que es igual o mayor al 75% para una PTAR de categoría B, por lo tanto, es INADECUADO, además la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales tiene un organigrama obsoleto, aclarando que SI se tiene un Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta que en el mismo estipula un organigrama completo pero el mismo no lo ponen en práctica.

En la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario”, NO se encontró el Plan de actividades, las mismas deberían estar planificadas de manera semanal, mensual, trimestral y anual, todas las actividades que realizan lo hacen de manera rutinaria

El Índice de Eficiencia de Tratamiento de La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (EFPTAR), la Remoción de la Materia Orgánica respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO<sub>5</sub>, a la Demanda Química de Oxígeno DQO y Sólidos Suspendidos Totales SST es menor a la eficiencia de diseño, debido a las inadecuadas tareas de Operación y Mantenimiento que se realizan en la Planta.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales la Empresa ELAPAS, si registran la cantidad de lodos generados y lodos secos, haciendo los cálculos correspondientes de 6 meses continuos se tiene un promedio mensual 159,53 m<sup>3</sup>/mes, lodos generados en la planta y después lo secan por 30 días se reduce a un promedio 5,27 m<sup>3</sup>/mes

De los lodos generados en la PTAR, no se tiene datos sobre los análisis de la Concentración Media de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO<sub>5</sub> , referente a la Empresa Transportadora y Recolectora de Lodos ETRL, porque la empresa solo vende el lodo a personas particulares, también porque en la Planta el Campanario no se hace un tratamiento de lodos, solo se realiza el secado de los mismos, de acuerdo a la Guía para el Seguimiento, Monitoreo y Control de la Operación y Mantenimiento de las PTAR en Bolivia, donde 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.

De acuerdo a los límites establecidos por la normativa nacional en el Anexo A-2 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, en la Planta de Tratamiento de Aguas

Residuales “El Campanario” los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Sólidos Suspendidos Totales están por debajo los límites permisibles para verter a un cuerpo receptor.

La acidez o alcalinidad de agua (pH), de acuerdo a los resultados obtenidos se tiene un promedio de 7.9 lo cual el pH de las aguas residuales tratadas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Campanario, de acuerdo Reglamento Nacional en Materia de Contaminación Hídrica en su Anexo 2, los límites permisibles para descargas líquidas a un cuerpo receptor es de 6-9, por lo cual cumple los límites permisibles

La Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) en el afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Campanario, se tiene un promedio total de 49.667 mg/l, en el Reglamento Nacional en Materia de Contaminación Hídrica en su Anexo 2, los límites permisibles para descargas líquidas es de 80 (mg/l), según la “Guías de la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (USEPA) para Reúso de Agua”, el agua tratada para reúso urbano debe tener un  $DBO_5$  de  $\leq 30$  mg/l, para el riego de vegetales de consumo humano. De la misma manera, según el Manual de buenas prácticas para el reúso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas del Ministerio de Agricultura y Riego del Perú, para riego de vegetales el  $DBO_5$  no debe tener más de 15 mg/l. Lo cual significa que los valores de  $DBO_5$  obtenidas de los resultados del análisis que se realizó, no son aptas para riego.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO), en el afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Campanario, se tiene un promedio total de 208.51 mg/l de agua, en el Reglamento Nacional en Materia de Contaminación Hídrica en su Anexo 2, los límites permisibles para descargas líquidas para cuerpos receptores es de 250 (mg/l).

Conductividad Eléctrica, en el afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario”, se tiene un promedio total de 1105 (mS/cm), en el Reglamento Nacional en Materia de Contaminación Hídrica, los límites permisibles para descargas líquidas para cuerpos receptores es de 1500 (mS/cm). Según el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Coordinación de Riego y Drenaje para el Reúso de aguas residuales en la agricultura si la CE se encuentra en el rango de 700 a 300 ( $\mu$ mohs/cm), solo se recomienda sembrar aquellos cultivos que tengan de buena a moderada tolerancia a salinidad. Para el caso del

Campanario la conductividad Eléctrica esta fuera de los limites permisibles y no se puede usar el agua para riego.

Se ha propuesto una serie de líneas de acción a seguir para mejorar la Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” Sucre

### **3.4.2. RECOMENDACIONES**

La EPSA ELAPAS debe asumir acciones a corto, mediano y largo plazo, para dar solución al problema de las aguas residuales en la ciudad de Sucre.

A (ELAPAS), se comienda analizar y posterior subsanar todas las dificultades identificadas en el Diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario”, realizado en la presente gestión.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” al ser considerada en la categoría B, se recomienda tomar el criterio de población equivalente en lugar del criterio de población servida, debido a que las PTAR pueden recibir descargas de origen industrial lo cual incrementa la carga, de acuerdo a información recabada en el caso de la planta de Sucre está diseñada para atender 300.066 habitantes y una vida útil de 30 años, en el año 2003 inicio su operación y a la fecha han transcurrido 20 años de funcionamiento

Se sugiere a la empresa ELAPAS asumir acciones inmediatas para la gestión y ejecución de mejoras y/o ampliaciones desconcentradas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, de acuerdo a la topografía de la ciudad, para evitar otros sectores como Rio Chico, Lajastambo entre otros se conviertan como el sector del Campanario, con serios problemas de salud, problemas ambientales y pérdida de valor económico en sus tierras entre otros problemas.

La empresa debe contratar personal técnico permanente entendido en el área para una adecuada Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

La Empresa ELAPAS debe poner a disposición de todo el personal la documentación básica, como Manuales, Guías entre otros para la Operación y Mantenimiento Adecuado de la Planta

La empresa debe planificar todas las actividades, de manera semanal, mensual, trimestral y anual, también realizar una planilla de registro de todas las actividades planificadas y realizadas, como se establece en la Planilla V, inciso a, de la Guía de seguimiento, monitoreo, control de la PTARs

En la Eficiencia de Tratamiento de La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (EFPTAR), en la Planta se debe realizar mayor control de la cantidad de Materia Orgánica contaminante que ingresa a la PTAR, el ingreso de aguas industriales, el alto contenido de solidos suspendidos.

A la Empresa se recomienda realizar los análisis de la Concentración Media de la Demanda Bioquímica de Oxígeno  $DBO_5$ , antes de vender a Empresas Transportadoras y Recolectoras de Lodos ETRL o a personas particulares.

La empresa ELAPAS debe implementar de manera exclusiva un tren de tratamiento de lodos

Si bien los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Solidos Suspendidos Totales están por debajo los limites permisibles, no se debe descuidar la realización del seguimiento constante en los procesos de O&M de la planta

La Empresa ELAPAS, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Campanario debe implementar el tratamiento terciario, para la desinfección de las aguas antes de disponer al efluente, caso contrario los comunarios de rio abajo no pueden usar estas aguas para riego.

Se recomienda poner en práctica todas las líneas de acción propuestas para mejorar la Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” Sucre

Tomando en cuenta los escasos hídrica la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” debe implementar tratamientos complementarios para la desinfección de las aguas, para que las mismas se utilice en la agricultura y en el riego de áreas verdes de la ciudad de Sucre.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

- Arias, G. F. (2012). *El Proyecto de Investigación, Introducción a la Metodología Científica*. Caracas Venezuela: Editorial Episteme, C.A.
- Arocutipa Lorenzo, J. H. (2013). "Evaluación y Propuesta Técnica de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Masslapo del Distrito de Alto Inambari". Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano - Puno.
- Arze, M., & Chavarro, L. (2017). *Interpretación Ambiental Sendero El Palmar*. La Paz Bolivia Asamblea Legislativa Plurinación . (2015). *Ley Nacional N° 755 de Gestión Integral de Residuos Sólidos* . La Paz .
- Asamblea Legislativa Plurinacional . (2010). *Ley Marco de Autonomías y Descentralización "Andrés Babié"*. La Paz : Cámara de Diputados .
- Asamblea Legislativa Plurinacional. (2009). *Constitución Política del Estado*. La Paz : Gaceta Oficial de Bolivia .
- Asamblea Legislativa Plurinacional. (2012). *Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien N° 300*. La Paz: <http://www.planificacion.gob.bo/uploads/marco-legal/Ley%20N%C2%B0%20071%20Derechos%20de%20la%20Madre%20Tierra.pdf>.
- Asamblea Plurinacional de Bolivia . (1992). *Ley de Medio Ambiente N°1333*. La Paz .
- Autoridad de Control Social y Fiscalización de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS). (2020). *Reporte de Indicadores de la Plataforma Virtual de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (2019)*. La Paz: GIZ/PeriAgua.
- Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico. (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- Bolivia .
- Bibliatodo Diccionario. (miércoles 16 de Mayo de 2022). *Política partidaria*. Obtenido de <https://www.bibliatodo.com/Diccionario-biblico/politica-partidaria>
- Ciudad Saludable . (26 de Abril de 2022). *Recolección Selectiva* . Obtenido de <https://www.ciudadsaludable.org/>

- Colomer Mendoza , F. J., & Gallardo Izquierdo , A. (25 de abril de 2007). *Manejo Alternativo de Residuos Sólidos*. Obtenido de <https://1library.co/article/manejo-alternativo-de-residuos-s%C3%B3lidos-marco-te%C3%B3rico.ozl69egz>
- Concejo Municipal de Sucre . (2012). *Ordenanza Municipal N° 012/12, de Creación del Área Natural de Manejo Integrado Monte Willca* . Sucre .
- Concejo Municipal de Sucre. (2005). *Ordenanza Municipal N° 0184*. Sucre.
- Cotán Fernández, A. (s.f.). *Investigación Participación e Historias de Vida, Un Mismo Camino*.
- Decreto Legislativo 752. (19 de abril de 1991). *Convenio de Basilea*. Obtenido de <http://www.basel.int/>
- Díaz Arnau, O. (s.f.). *Iñaño Verde*.
- Empresa Local de Agua Potable y Alcantarillado Sucre. (Febrero 2003). *Manual de Operación, Mantenimiento y Descripción de Obras* .
- fidel, Perez , F. E., & Ramos, G. P. (2018). *Cosecha de agua*. Sucre: EL DEBER.
- Gaceta Oficial de Bolivia . (31 julio de 1997). *Reglamento General de Áreas Protegidas, Decreto Supremo N° 24781* . La Paz Bolivia .
- Gaceta Oficila de Bolivia. (1997). *Decreto Supremo 24623*. La Paz.
- Gobierno Autónomo Municipal de Sucre . (2015). *El Plan Territorial de Desarrollo Integral para Vivir Bien (PTDI) del GAM Sucre* . Sucre.
- Grein Keiler, G. (2018). *Pasots Bolivia*. Cochabamba: Los Timpos.
- Honorable Congreso Nacional de Bolivia. (2000). *Ley N° 2066, Ley de Prestación y utilización de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario*. La Paz.
- Honorable Congreso Nacional de Bolivia . (2004). *Declaratoria de Parque Nacional y Área de Manejo Integrado "Serranía del Iñaño"*. La Paz .
- Instituto Nacional de Estadística. (2012). *Censo de Población y Vivienda*. Obtenido de <http://anda.ine.gob.bo/index.php/catalog/8>
- Instituto Nacional Electoral. (15 de marzo de 1979). *Acción Política una Perspectiva Teórica*. Political Action Mass Participation in Five Western Democracies, Beverly Hills, Sage. Obtenido de <https://farodemocratico.juridicas.unam.mx/que-es-la-participacion-politica/#tri-tema-4>
- J. B. (2016). *La ciudadanía juvenil: Un enfoque basado en las experiencias vitales de los jóvenes*. España : Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud.
- Jaramillo, J. (2003). *Efectos de la inadecuada gestión de Residuos sólidos*. Medellín : Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria .

- Jiménez, J. (2011). *Metodos Estadísticos* . Academia.
- Kaase, M., & Marsh, A. (1979). *Acción política. Participación masiva en cinco democracias occidentales*. Estados Unidos.
- López Rivera, N. (2009). *Programa para el Manejo de los Residuos Sólidos Córdoba*. Córdoba: Facultad de Estudios Ambientales y Rurales.
- Massari, E. C. (2014). *Planificación Estratégica* .
- Méndez Gómez, M. C. (2019). *Propuesta de Mejora de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Arbelaez a Partir del Sistema de DEER ISLAND WASTEWATER TREATMENT PLANT*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Industrial Visita Técnica Internacional.
- Méndez Rodríguez, A. (2008). *La investigación en la era de la información: Guía para realizar la bibliografía y fichas de trabajo*. Mexico Trillas.
- Ministerio Medio Ambiente y Agua . (2011). *Programa Plurinacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2011-2015"*. La Paz .
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua . (2012). *Guía de Educación Ambiental en Gestión Integral de Residuos Sólidos*. La Paz.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua . (2018). *Guía Técnica para el Reuso de Aguas Residuales en la Agricultura* . La Paz .
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua . (Julio 2014). *Experiencia de Tratamiento de Aguas Residuales en el Municipio de Cliza* . Cochabamba .
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2012). *Guía para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Rellenos Sanitarios* (Primera Edición ed., Vol. 1). La Paz - Bolivia, Bolivia. Recuperado el jueves de mayo de 2023, de file:///D:/Especialidad%20Residuos%20Solidos/Materias%20Contenidos/Modulo%20II/Guía%20para%20el%20Diseño,%20Construcción,%20Operación,%20Mantenimiento%20y%20Cierre%20de%20Relleno%20Sanitario.pdf
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2012). *Guía para la Formulación de Programas Municipales de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. La Paz - Bolivia.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (julio 2014). *Experiencia en Tratamiento de Aguas Residuales Cochabamba*. La Paz Bolivia. Recuperado el 08 de mayo de 2024
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (Octubre 2013). *Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuale*. La Paz - Bolivia: Equipo PROAGRO y PERIAGUA. Recuperado el lunes de febrero de 2023

- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (Octubre 2013). *Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales*. La Paz: PROAGRO y PERIAGUA. Recuperado el 03 de abril de 2023, de file:///D:/ESPECIALIDAD%20AGUAS%20RESIDUALES/MANUALES%20AGUA%20RESIDUAL/aguas-residuales-reuso.pdf
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua Potable. (2016). *Plan Estratégico Institucional 2016 - 2020*. La Paz.
- Ministerio de Medio Ambiente, Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico. (Bolivia – 2012). *Guía para la formulación de Programas Municipales de Gestión Integral de Residuos*. La Paz .
- Ministerio Medio Ambiente y Agua . (2012). *Cartilla “Educación Ambiental en la Gestión Integral de Residuos Sólidos”*. La Paz .
- Ministerio Medio Ambiente y Aguas. (2011). *Plan Sectorial de Desarrollo de Saneamiento Básico 2011-2015*. La Paz.
- Ministro de Medio Ambiente y Agua. (2011). *Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia*. La Paz-Bolivia .
- Monrroy Aparicio, C. (2016). *Parque Nacional Iñao, a Historia que Cuentan sus Alrededores y su Paisaje que Deslumbra a Muchos*.
- Montaño Foronda, D., Sosa Jaimes, A. S., Huaylla Cueto , R. B., & Mayumi, R. (2018). *Evaluación De Impactos Ambientales (INA200) Evaluación de Impacto Ambiental Por el Método Battelle-Columbus Modificado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario” Para la Etapa de Funcionamiento*. Sucre: Universidad San Fransisco Xavier de Chuquisaca.
- Mouffe, C. (1999). *El retorno de lo político*. Barcelo: Paidós.
- Núñez Lara, J. R. (2008). *Los Ecosistemas Marinos en la Capital de México*. Mexico.
- Organización de Naciones Unidas ONU. (1995). *Resolución 53/243 Cultura de Paz* .
- Palacio de Gobierno de la ciudad de La Paz. (19 de octubre de 2016.). *Decreto Supremo que Aprueba el Reglamento General de la Ley N° 755*. La Paz .
- Peña Aguiar, A. J. (2022). *Enfermedades que afectan al cultivo de pitahaya (Selenicereus undatus)* . Babahoyo.
- Perez , W. (2020). *Huevos* . Santa Cruz .
- Perez Rojas , C., & Rojas , J. (2020). *Agua* (Vol. 55). Sucre, Oropeza , Bolivia: Correo del Sur. Obtenido de <https://meet.google.com/uqv-ftuq-zbz?pli=1>

- Ruiz Rios , A. (2016). *Programa Municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PMGIRS*. Sucre.
- Ruiz Rios , A. (Noviembre 2015). *Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales en el Área Urbana de la Ciudad de Sucre*. Sucre Bolivia.
- Sabucedo, J. M. (1996). *Psicología Política*. Madrid.
- Sampieri, D. R. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A. DE C.V.
- Servicio Nacional de Áreas Protegidas Bolivia . (2017). *Plan Estratégico Institucional 2016 – 2020* . La Paz Bolivia .
- Sistema Universitario . (s.f.). *Reglamento del Régimen Académico Docente del Sistema de la Universidad Boliviana*.
- Seoáñez Calvo, M. (1995). *aguas residuales urbanas*. España: Madrid Análisis y Trabajos Prospectivos.
- Krippendorff., K. (1990). *Metodología de análisis de contenido. Teoría y Práctica*.
- Secretario General de las Naciones Unidas. ( mayo de 2001). *Convención de Estocolmo*.  
Obtenido de <http://chm.pops.int/>
- Tarija Eco Gestión S.R. . (2018). *Mejoramiento de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos en Sucre*. Sucre.
- Vallés, J. (2010). *Ciencia Política*. Madrid: Ciencia Política.
- Zamora Gutiérrez, J. A., Méndez Estrada , R. A., & Gutierrez Ledezma, V. O. (2012). *Guía para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Rellenos Sanitarios* (1 ed.). La Paz - Bolivia. Obtenido de <file:///D:/Especialidad%20Residuos%20Sólidos/Materias%20Contenidos/Modulo%20II/Guía%20para%20el%20Diseño,%20Construcción,%20Operación,%20Mantenimiento%20y%20Cierre%20de%20Relleno%20Sanitario.pdf>

# ANEXOS

**Anexo N° 1: Caudales**

<b>Febrero</b>	<b>L/seg</b>	<b>Marzo</b>	<b>L/seg</b>	<b>Abril</b>	<b>L/seg</b>	<b>JUNIO</b>	<b>JULIO</b>
	226.86		225.03		179.23	187.24	161.76
	151.89		186.25		148.30	182.08	170.49
	157.55		169.27		185.45	166.57	172.26
	190.44		203.02		154.68	166.96	166.17
	230.93		187.1		207.65	181.34	176.36
	170.19		180.78		187.59	149.47	162.94
	162.49		159.35		189.62	166.14	162.21
	173.02		172.81		196.22	106.94	160.86
	177.23		184.72		173.79	102.56	172.10
	183.74		175.30		181.74	198.76	248.03
	181.50		143.62		173.20	171.43	162.61
	177.06		193.62		169.35	175.54	163.47
	175.83		185.52		159.70	147.13	161.02
	168.87		194.90		182.06	161.65	155.12
	174.25		192.62		164.26	252.38	178.23
	166.9		189.64		167.07	180.1	173.38
	177.63		193.73		165.62	158.51	165.67
	184.44		209.39		178.30	149.32	152.04
	193.08		170.78		160.66	104.86	139.53
	162.45		167.01		168.85	105.07	140.39
	169.50		182.32		165.72	252.24	112.70
	170.10		179.71		162.58	182.32	148.53
	169.44		179.66		163.18	177.83	173.22
	166.78		181.81		176.80	161.37	159.91
	188.47		150.04		149.29	961.97	164.63
	159.14		198.45		161.14	135.68	171.36
	170.23		179.66		167.36	151.87	171.55
<b>Total</b>	<b>4780.02</b>		171.08		146.61	164.98	169.22
			173.40		167.09	166.19	167.53
<b>Pomedio</b>	<b>177.04</b>		167.18		162.01	162.66	170.42
			158.89	<b>Total</b>	<b>5115.12</b>	<b>5731.17</b>	<b>4953.69</b>
		<b>Total</b>	<b>5606.70</b>				

		<b>Promedio</b>	<b>180.86</b>	<b>Promedio</b>	<b>170.50</b>	<b>191.04</b>	<b>165.12</b>
--	--	-----------------	---------------	-----------------	---------------	---------------	---------------

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos de ELAPAS

**Anexo N° 2: Resumen de Caudales**

<b>Columna2</b>	<b>Columna3</b>
Febrero	177.04
Marzo	180.86
Abril	170.5
Mayo	152.61
Junio	191.04
Julio	165.12
<b>Suma</b>	<b>1037.17</b>
<b>Promedio l/s</b>	<b>172.86</b>

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos de ELAPAS

**Anexo N° 3 Sólidos en Afluente de la PTAR El Campanario - 2022**

<b>SÓLIDOS EN AFLUENTE</b>						
<b>MESES</b>	<b>Sólidos Sedimentables SED</b>		<b>Sólidos Totales ST</b>		<b>Sólidos Suspen. Totales SST (mg/l)</b>	
	<b>Sólidos Tota ST (mg/l)</b>	<b>Sólidos Volat SV (%)</b>	<b>Sólidos Total ST (mg/l)</b>	<b>Sólidos Volat SV (%)</b>		
<b>FEBRERO</b>						
08/02/2022	112.7	72.8	746	46		395
15/02/2022	144.6	72.5	862	54.2		75
22/02/2022	152.6	65.9	795	59.9		
Total	413.9	211.2	2403	160.1		
<b>Promedio</b>	<b>133.97</b>	<b>70.4</b>	<b>801</b>	<b>53.37</b>		<b>235</b>

<b>MARZO</b>						
02/03/2022	161.6	102.2	674	16.5		243
08/03/2022	613.9	94.9	728	68.5		208
22/03/2022	113.1	73.9	714	66.1		218
29/03/2022	123.8	77.1	807	68.2		
Total	1012.4	348.1	2923	219.3		
<b>Promedio</b>	<b>253.1</b>	<b>87.03</b>	<b>730.75</b>	<b>54.83</b>		<b>223</b>
<b>ABRIL</b>						
05/04/2022	79.6	72.1	751	67.4		481
12/04/2022	122.8	67.5	543	88.6		535
19/04/2022	167.9	94.6	521	30.3		373
26/04/2022	184.2	82.1	812	57.4		
Total	554.5	316.3	2627	243.7		1389
<b>Promedio</b>	<b>138.63</b>	<b>79.075</b>	<b>656.75</b>	<b>60.925</b>		<b>463</b>
<b>MAYO</b>						
	87.80	50.30	852	55.40		427
	144.10	69.10	822	54.10		0
	90.10	74.80	798	51.10		245
	116.20	85.70	748	57.80		152
Total	438.20	279.90	3220	218.40		824
<b>Promedio</b>	<b>109.55</b>	<b>69.98</b>	<b>805</b>	<b>54.6</b>		<b>274.67</b>
<b>JUNIO</b>						
	127.30	77.10	1215	71.5		0
	159.10	81.20	723	53.9		226
	186.60	80.00	632	48.4		279
	155.90	75.70	857	65.1		233
Total	628.90	314.00	3427	238.9		738
<b>Promedio</b>	<b>157.23</b>	<b>78.50</b>	<b>856.75</b>	<b>59.73</b>		<b>184.5</b>
<b>JULIO</b>						
	152.50	77.60	696	53.9		0
	138.50	72.80	689	54.5		534
	597.80	79.50	862	66.80		534

	195.10	76.20	751	58.9	486
<b>Total</b>	1083.90	306.10	2998	234.10	1554
<b>Promedio</b>	<b>270.98</b>	<b>76.53</b>	<b>749.5</b>	<b>58.53</b>	<b>388.5</b>
	<b>PROMEDIO</b>		<b>PROMEDIO</b>		<b>PROMEDIO</b>
	133.97	70.4	801	53.37	235
	253.1	87.03	730.75	54.83	223
	138.63	79.08	656.75	60.93	463
	109.55	69.98	805	54.6	274.67
	157.23	78.5	856.75	59.73	184.5
	270.98	76.53	749.5	58.53	388.5
<b>PROMEDIO</b>	<b>177.24</b>	<b>76.92</b>	<b>766.63</b>		
<b>TOTAL</b>	<b>(mg/l)</b>	<b>(mg/l)</b>	<b>(mg/l)</b>	<b>57.00 (mg/l)</b>	<b>294.78 (mg/l)</b>

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos de ELAPAS

**Anexo N° 4: Análisis de las aguas en Lechos Percoladores**

	<b>SÓLIDOS SALIDA LECHOS PERCOLADORES</b>		<b>SÓLIDOS EN AFLUENTE</b>		<b>SÓLIDOS EFLUENTE PTAR</b>
	<b>Sólidos Sedimentables SED</b>		<b>Sólidos Totales ST</b>		<b>Sólidos Suspen. Totales SST (mg/l)</b>
	<b>Sólidos Tota ST (mg/l)</b>	<b>Sólidos Volat SV (%)</b>	<b>Sólidos Total ST (mg/l)</b>	<b>Sólidos Volat SV (%)</b>	
<b>FEBRERO</b>					
08/02/2022	31.4	70.1	538	39	31
15/02/2022	20.8	43.7	585	35.4	18
22/02/2022	1515.4	72.2	474	38	19
Total	1567.6	186	1597	112.4	

<b>Promedio</b>	<b>522.53</b>	<b>62</b>	<b>532.33</b>	<b>37.47</b>	<b>22.67</b>
<b>MARZO</b>					
02/03/2022	51.8	73.8	472	28.8	58
08/03/2022	47.2	70.4	548	57.2	50
22/03/2022	49.4	63.8	491	43.2	52
29/03/2022	36.3	66.4	565	52.8	57
Total	184.7	274.4	2076	182	
<b>Promedio</b>	<b>46.18</b>	<b>68.60</b>	<b>519</b>	<b>45.50</b>	<b>54.25</b>
<b>ABRIL</b>					
05/04/2022	33.2	65	575	27.9	45
12/04/2022	39.6	74.4	968	36.2	188
19/04/2022	199.8	68	593	79.2	55
26/04/2022	60.4	77.3	531	39.1	43
Total	333	284.7	2667	182.4	
<b>Promedio</b>	<b>83.25</b>	<b>71.18</b>	<b>666.75</b>	<b>45.60</b>	<b>82.75</b>
<b>MAYO</b>					
	51.10	87.90	486	28.90	45
	75.40	80.30	358	23.40	54
	53.40	67.90	590	32.60	30
	88.60	63.50	531	36.70	56
<b>Total</b>	<b>268.50</b>	<b>299.60</b>	<b>1965</b>	<b>121.6</b>	<b>185</b>
<b>Promedio</b>	<b>67.13</b>	<b>74.90</b>	<b>491.25</b>	<b>30.4</b>	<b>46.25</b>
<b>JUNIO</b>					
	78.00	72.20	563	33.30	61
	46.80	82.40	521	37.40	49
	29.10	78.60	398	9.90	53
	66.70	81.30	504	69.10	41
<b>Total</b>	<b>220.60</b>	<b>314.50</b>	<b>1986</b>	<b>149.70</b>	<b>204</b>
<b>Promedio</b>	<b>55.15</b>	<b>78.63</b>	<b>496.5</b>	<b>37.43</b>	<b>51</b>

<b>JULIO</b>	70.70	78.40	380	51.30	60
	45.70	64.60	491	29.10	53
	73.50	78.00	506	44.40	50
	62.20	79.00	491	36.20	40
<b>Total</b>	252.10	300.00	1868	161.00	203
<b>Promedio</b>	<b>63.03</b>	<b>75.00</b>	<b>467</b>	<b>40.25</b>	<b>50.75</b>
<b>PROMEDIO</b>					
	522.53	62	532.33	37.47	22.67
	46.18	68.6	519	45.5	54.25
	83.25	71.18	666.75	45.6	82.75
	67.13	74.9	491.25	30.4	46.25
	55.15	78.63	496.5	37.43	51
	63.03	75	469	40.25	50.75
<b>PROMEDIO TOTAL</b>	<b>139.55</b>	<b>71.72</b>	<b>529.14</b>	<b>39.442</b>	<b>51.28</b>

**Fuente:** Elaboración propia en base a datos de ELAPAS

**Anexo N° 5: Volumen del Lodo Líquido Generado en la Planta del Campanario**

VOLUMEN DE LODOS GENERADOS							PROMEDIO DE CADA MESES	
	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO		
								81.9
	75.24	87.76	154.55	121.47	199.93	274.91		77.02
	65.82	41.24	139.46	101.22	249.92	331.21		166.13
	104.64	99.97	174.32	63.86	302.66	244.05		103.57
		79.12	197.8	127.72	249.92	261.6		250.61
Total	245.7	308.09	666.13	414.27	1002.43	1111.77		277.94
							<b>Suma Total</b>	<b>957.17</b>
<b>Promedio m3</b>	<b>81.9</b>	<b>77.02</b>	<b>166.53</b>	<b>103.57</b>	<b>250.61</b>	<b>277.94</b>	<b>Promedio Total</b>	<b>159.53</b>



**Anexo N° 7: Análisis Completo Laboratorio de la propia Planta El Campanario**  
- 2022

**LABORATORIO PTAR**  
**ANÁLISIS COMPLETO**

FORMULARIO N°

<b>INSTITUCION SOLICITANTE</b>		<b>Control interno</b>	
LUGAR DE MUESTREO		PTAR	
LUGAR DE EXTRACCIÓN DE MUESTRA		Salida de Planta (SP)	
FECHA DE MUESTREO		08/03/2022	
MUESTREO EJECUTADO POR:		Téc. Gonzalo Tonelli V.	
FECHA DE ANALISIS		10/03/2022	
ANALISIS EJECUTADO POR:		Téc. Gonzalo Tonelli V.	

N°	CARACTERISTICAS EXAMINADAS	RESULTADOS	MAXIMO ACEPTABLE	UNIDADES
1	Nitrogeno Amoniacal	48,5	4	mg/l N-NH3
2	Cianuro Libre	0,18	0,2	mg/l CN <sup>-</sup>
3	Cromo +6	0,03	0,1	mg/l Cr <sup>+6</sup>
4	DBO <sub>5</sub>	24	80	mg O2/l
5	DQO	113	250	mg O2/l
6	Fosforo	0,43		mg/l P
7	Hierro	0,15	1	mg/l Fe
8	Niquel	0,22		mg/l Ni
9	pH (a 19,1 °C)	7,88	6,0 -9,0	
10	Solidos suspendidos Totales:	50	60	mg/l
11	Solidos sedimentables	0,02		ml/l
12	Sulfuros	0,00	2	mg/l S <sup>-2</sup>
13	Fenoles	0,26	1,0	mg/l Fenol
14	Zinc	0,00		mg/l
15	Cadmio			mg/l
16	Plomo	0,00		mg/l
17	Colif. Termoresistentes	11x10 <sup>4</sup>	1000	NMP/100 ml

Observaciones:  
N.D. - No se detectó

Téc. Gonzalo Tonelli V.  
ENC. LABORATORIO PTAR

**Fuente:** Laboratorio de la PTAR "El Campanario"

**Anexo N° 8: Análisis de Lodo**

**INFORME ANALISIS DE LODO**

MUESTRA: Lodo  
 TIPO DE MUESTRA: Muestra Puntual  
 VOLUMEN DE MUESTRA: Aproximadamente 1 litro

**RESULTADOS**

Fecha Muestreo	Hora muestreo	Area de secado	Tanque	S.T. [%]	S.V. [%ST]	Volumen Lodo m3	Lodo Seco m3
02-mar-22	10:30	4-8	TI(2)	2,7	128,8	87,76	2,4
08-mar-22	11:00	4-7	TI(3)	1,8	63,2	41,24	0,7
15-mar-22	11:05	4-7	TI(4)	4,0	37,1	99,97	4,0
23-mar-22	9:25	2-1	TI(5)	2,1	61,4	79,12	1,6
29-mar-22	9:40	2-1	TI(6)	3,18	59,45	178,02	5,7

14,4

Tec. Gonzalo Tenealli Viscarra  
 ENCARGADO LABORATORIO  
 P.T.A.R. - ELAPAS

**Fuente:** Laboratorio de la PTAR "El Campanario"

### Anexo N° 9: Análisis de todas las variables

<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Compuesta tomada cada 2 horas durante 8 horas												
<b>FECHA Y HORA DE MUESTREO:</b>	martes, 04 de enero de 2022					primera muestra a horas 08.00							
<b>VOLUMEN DE MUESTRA:</b>	martes, 04 de enero de 2022					última muestra a horas 14.00							
												Aproximadamente 5 litros	

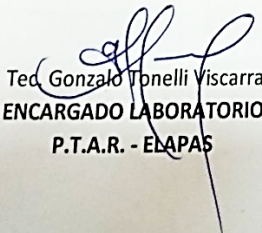
  

PUNTO DE MUESTREO	Hora	pH	T [°C]	Cond [μS/cm]	OD mg-O <sub>2</sub> /l	DBO <sub>5</sub> mg-O <sub>2</sub> /l	DQO mg-O <sub>2</sub> /l	N-NH <sub>4</sub> [mg-N/l]	SOL. SED.		SOL. TOT.		SST [mg/l]
									ST [mg/l]	SV [%]	ST [mg/l]	SV [%]	
Entrada Planta	11:30	7,6	20,2	1665	0,0	140	456	61,7	97,1	68,3	691	47,9	151
Entrada Lechos Percoladores	11:35	7,5	20,0	1196	0,0	106	192	46,7	-	-	496	38,8	-
Salida Lechos Percoladores	11:45	7,4	20,4	1134	3,4	89	132	31,4	44,8	69,5	478	34,4	-
Salida Planta	12:00	8,0	21,6	1226	8,9	21	111	41,1	-	-	538	51,8	35
Cuerpo Receptor Aguas Arriba	12:05	8,2	21,1	959	3,8	16	35	19,2	-	-	417	46,7	0
Cuerpo Receptor Aguas Abajo	12:10	8,0	21,3	967	3,8	24	96	27,4	-	-	467	27,5	0

Laguna de Sedimentación (1)	12:20	8,0	20,7	1257	2,9
Laguna de Sedimentación (2)	12:25	8,4	21,0	1226	7,9
Laguna Maduración (1)	12:30	8,4	21,3	1220	8,5
Laguna Maduración (2)	12:35	8,5	21,8	1223	6,7

  
 Tec. Gonzalo Tbnelli Viscarra  
 ENCARGADO LABORATORIO  
 P.T.A.R. - ELAPAS

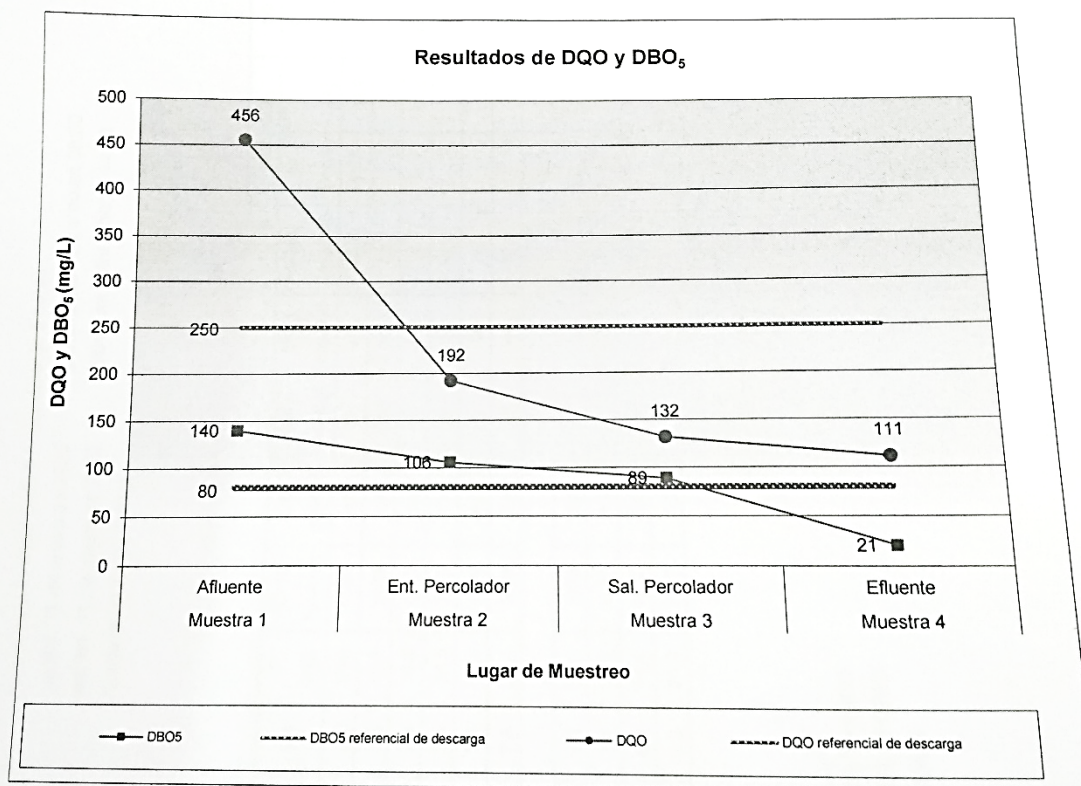
**Fuente:** Laboratorio de la PTAR "El Campanario"

**Anexo N° 10:** *Lectura de DBO<sub>5</sub> y DQO*

### CUADRO DE LECTURAS DBO<sub>5</sub>, DQO

Fecha : martes, 04 de enero de 2022

PARAMETRO	Muestra 1 Afluente	Muestra 2 Ent. Percolador	Muestra 3 Sal. Percolador	Muestra 4 Efluente	Referencial Descarga
DBO <sub>5</sub> [mg-O <sub>2</sub> /l]	140	106	89	21	80
DQO [mg-O <sub>2</sub> /l]	456	192	132	111	250
DQO/DBO <sub>5</sub>	3,3	1,8	1,5	5,3	3,1



	Solidos Totales [mg/l]	Solidos Suspendidos Totales [mg/l]
Afluente	691	151
Efluente	538	35

**Fuente:** Laboratorio de la PTAR "El Campanario"

**Anexo N° 11:** Reporte de Ensayo - Análisis de agua

**PCB**  
Ambiental S.R.L.

**LABORATORIO DE ENSAYO QUÍMICO AMBIENTAL**

**REPORTE DE ENSAYO – ANÁLISIS DE AGUA**

PCB-AG-22-019

**Datos del Cliente**

Cliente: ELAPAS  
Fecha Elaboración Informe: 2022-01-27

**Datos de la Muestra**

Código de Muestra Campo: CR1  
Lugar de Muestreo: PTAR "El Campanario" – Aguas Arriba  
Código de Muestra Laboratorio: AG-22-019  
Departamento – Provincia – Municipio: Chuquisaca – Oropeza – Yotala  
Fecha - Hora de Muestreo: 2022-01-19 – 08:00 - 12:00  
Procedencia de la Muestra: Agua residual  
Responsable del Muestreo: Gonzalo Tonelli (Cliente)

**Datos del Ensayo**

Fecha de Recepción: 2022-01-20  
Cadena de Custodia: LAB-CC-AG-72/21  
Periodo de ensayo: 2022-01-21 al 2022-01-26  
Lugar de Ensayo: Laboratorio I

N°	Parámetro	Método de determinación	LD*	Unidad	Resultado	Límite permisible RMCH ANEXO A-2
1	Aceites y Grasas	SM 5520B (PROC-007.5 Interno)	2	mg/l	<2	10
2	Antimonio	SM 3500-Sb-B	0,01	mg/l Sb	<0,01	1,0
3	Arsénico	SM 3500B-AS (PROC-007.8 Interno)	0,01	mg/l As	<0,01	1,0
4	Cromo +3	SM 3500B-Cr (PROC-007.8 Interno)	0,01	mg/l Cr <sup>+3</sup>	<0,01	1,0
5	Estaño	Método del Violeta de Pirrotaquina (PROC-007.13.14 Interno)	0,01	mg/l Sn	<0,01	2,0
6	Mercurio	SM 3500C-Hg (PROC-007.8 Interno)	0,001	mg/l Hg	<0,001	0,002
7	Nitrógeno Amoniacal	SM 4500-NH3 (PROC-007.13.11 Interno)	0,01	mg/l N-NH <sub>4</sub>	5,23	4,0
8	Nitrógeno Total	SM 4500-N (PROC-007.25 Interno)	0,1	mg/l N	6,9	-

**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 Edición (los análisis se realizan de acuerdo a los procedimientos internos basados 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 sellado.
- 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**

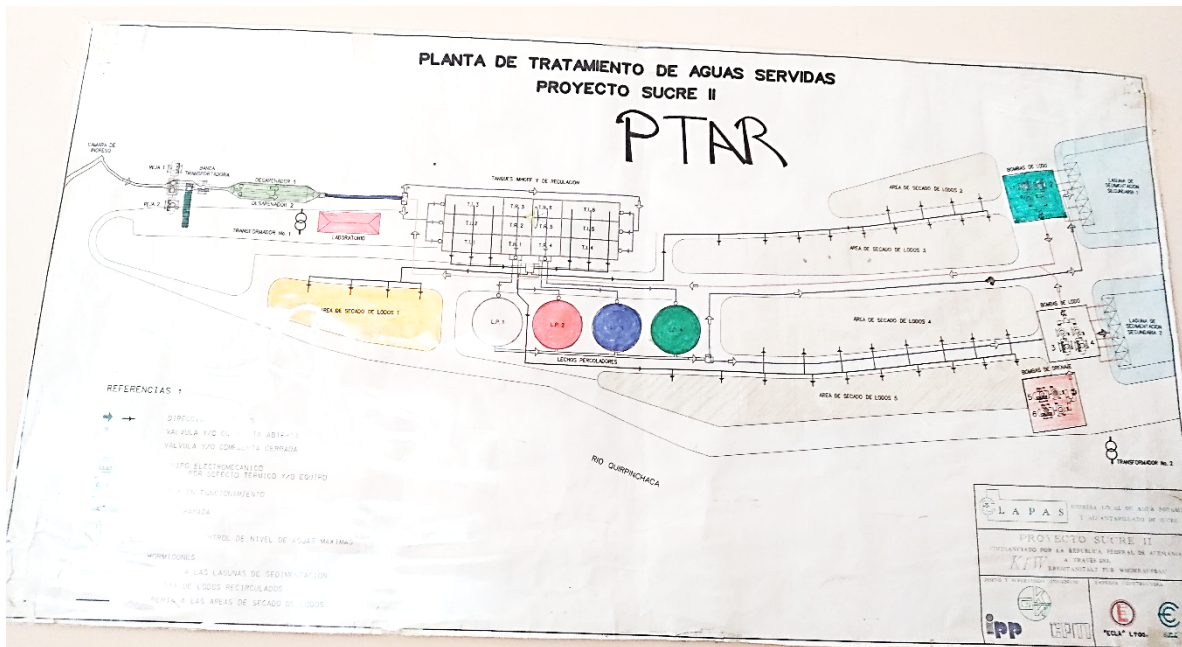
**LABORATORIO DE ENSAYO QUÍMICO - AMBIENTAL**  
**PCB**  
Ambiental S.R.L.  
Sucre - Bolivia

Ing. Vaneth Santander Cáceres  
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Ing. Harold Quiroz Torrico  
JEFE DE LABORATORIO

**Fuente:** Laboratorio de Ensayo Químico – Ambiental

**Anexo N° 12:** Maqueta de la Planta El Campanario



**Anexo N° 13: Equipos de Laboratorio**



**Anexo N° 14: Límites Permisibles para la Descarga Líquidas de acuerdo al Reglamento de Contaminación Hídrica.**

ANEXO A – 2  
LÍMITES PERMISIBLES PARA DESCARGAS LÍQUIDAS EN mg/l.

NORMA PARÁMETROS	PROPUESTA	
	DIARIO	MES
Cobre	1.0	0.5
Zinc	3.0	1.5
Plomo	0.6	0.3
Cadmio	0.3	0.15
Arsénico	1.0	0.5
Cromo + 3	1.0	0.5
Cromo + 6	0.1	0.05
Mercurio	0.002	0.001
Hierro	1.0	0.5
Antimonio(&)	1.0	
Estaño	2.0	1.0
Cianuro libre (a)	0.2	0.10
Cianuro libre (b)	0.5	3.0
PH	6.9	6.9
Temperatura(*)	+5°C	+5°C
Compuestos fenólicos	1.0	0.5
Sólidos Susp. Totales	60	
Colifecales (NMP/100 ml)	1000	
Aceite y Grasas ( c )	10.0	
Aceite y Grasas (d)	20.0	
DB05	80.0	
DQ0(e)	250.0	
DQ0(f)	300.0	
Amonio como N	4.0	2.0
Sulfuros	2.0	1.0

**Fuente:** Reglamento de Contaminación Hídrica – Ley 1333

**Anexo N° 15: Encuesta estratégica a entendidos en la materia**

Se realizó una encuesta estratégica a los actores entendidos en la materia e involucrados de forma directa con la OSM de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Campanario”

1. ¿Cuál es el número de la población servida en la PTAR el “Campanario”?
2. ¿Cuál es el número de la población equivalente en la PTAR el “Campanario”?

**Lodos Datos Registrados**

1. ¿Cuál fue la Carga Orgánica de Diseño en la PTAR el “Campanario”?
2. ¿Cuál es la Carga Orgánica de lodos descargados (tratados)?
3. ¿Cuál es el volumen de lodos generados en la PTAR el “Campanario”?
4. ¿Cuál es el volumen de lodos tratados en la PTAR el “Campanario”?
5. ¿Cuál es la concentración media de DBO<sub>5</sub> de diseño en la PTAR el “Campanario”?
6. ¿Cuál es la concentración media de DBO<sub>5</sub> de ETRL (¿Empresa Transportadora y recolectora de lodos)?

### Eficiencia De Diseño

N°	PARÁMETRO	EFICIENCIA ACTUAL %	EFICIENCIA DE DISEÑO %
1	DBO <sub>5</sub>		
2	DQO		
3	SST		

- 1 De acuerdo a su experiencia ¿Que procesos más se podría implementar en la PTAR, para mejorar la eficiencia de la misma?
- 2 De acuerdo al Manual de Operación se tiene un Organigrama diseñado para la PTAR. ¿Por qué cree usted que no se tiene el personal de acuerdo a ese organigrama?
- 3 En los Canales de salida de gas en los Tanques Imhoff. ¿considera que se debería cubrir y conducirlos a quemadores de metano?
- 4 De acuerdo su experiencia. ¿Cuál cree que es la razón de la alta presencia de espumas en el efluente de la planta?
- 5 De acuerdo su experiencia. ¿Cuál cree que es la razón que el Nitrógeno Amoniacal, se encuentra fuera de los limites permisibles?
- 6 De acuerdo su experiencia. ¿El agua del efluente de la PTAR considera apta para riego agrícola o que acciones se debería tomar para realizar ese uso.
- 7 ¿Usted conoce si ELAPAS, está tramitando o ya tramito la ampliación del área de concesión ante AAPS?
- 8 De acuerdo a información ELAPAS, trata en la PTAR el 64% de las aguas residuales generadas en Sucre; el 6% se encuentran en la cuenca Pajchiri, el 15% desembocan a la Cuenca del Plata y el 15% a la Cuenca Amazonas, un total del 36% de las aguas no son tratadas ¿de acuerdo a su experiencia cómo solucionaría este problema?
- 9 Usted conoce del Modelo Piloto de tratamiento de aguas residuales mediante "Esponjas Colgantes de flujo Depéndete". Experimentado por la Carrera de Ingeniería Civil en la PTAR El Campanario, ¿Cuál es su opinión?

### Estudios

- 10 ELAPAS elaboró un Estudio Técnico de Preinversión, para el drenaje de la Micro cuenca Pajchiri?

- 11 ELAPAS elaboró un Estudio Técnico a Diseño Final denominado “Interceptor Tucsupaya”?
- 12 ELAPAS elaboró un Estudio Técnico de Preinversión, para la subcuenca Barrio Japon-Libertadores y la subcuenca del Barrio CESSA y Fancesa?
- 13 ¿Tiene el Plan director Cuenca Cachimayo?
- 14 ¿Se tiene Planes Maestros de Sucre para Aguas Residuales?

#### **Anexo N° 16: Solicitud de Información estructurada**

Caudal de diseño o de la última ampliación  
Caudal del Afluyente (datos registrados en 6 meses)  
Numero de población servida  
Numero de población equivalente  
Carga orgánica de diseño

#### **Datos De Laboratorio Durante 6 Meses**

##### **Del Afluyente**

1. Valores de **DBO<sub>5</sub>** (registrados durante 6 meses)
2. Valores de **DQO<sub>5</sub>** (registrados durante 6 meses)
3. Valores de **PH** (registrados durante 6 meses)
4. Valores de **SST** (registrados durante 6 meses)
5. Valores de **Coliformes** (registrados durante 6 meses)
6. Valores de **Temperatura** (registrados durante 6 meses)

##### **Del Efluente**

1. Valores de **DBO<sub>5</sub>** (registrados durante 6 meses)
2. Valores de **DQO<sub>5</sub>** (registrados durante 6 meses)
3. Valores de **PH** (registrados durante 6 meses)
4. Valores de **SST** (registrados durante 6 meses)
5. Valores de **Coliformes** (registrados durante 6 meses)

6. Valores de **Temperatura** (registrados durante 6 meses)

#### **Lodos Datos Registrados Durante 6 Meses**

7. Carga Orgánica de lodos descargados (tratados)
8. Volumen de lodos generados
9. Volumen de lodos tratados

#### **Infraestructura En La Planta El Campanario (Describir A Detalle)**

1. Infraestructura existente
2. Personal existente actual en la PTAR
3. Documentación técnica con la que se cuenta para la O&M

#### **Gestión De Mantenimiento De La PTAR**

1. Cronograma de actividades planificadas para O&M (durante 6 meses)
2. Cronograma de actividades ejecutadas para O&M (durante 6 meses)

#### **Mantenimiento Correctivo**

1. Numero de situaciones imprevistas atendidas o solucionadas
2. Numero de situaciones imprevistas presentadas

**Anexo N° 17: Guía de campo de observación estructurada**

N°	INFRAESTRUCTURA ADICIONAL Y SERVICIOS	VALOR ASIGNADO 0= NO TINE 1= INADECUADO 2= ADECUADO	CATEGORÍA	B
			OBSERVACIONES	
1	Laboratorio equipado y en funcionamiento			
2	Caseta u Oficina (en uso) para operar en la PTAR			
3	Deposito con herramientas e insumos para O&M de la PTAR			
4	Baños o ambientes para aseo personal			
5	Servicios de energía eléctrica			
6	Servicios de agua potable			
7	Señalización preventiva e informativa			
8	Accesos y vías internas en la PTAR			
9	Cerco Perimetral			

**Fuente:** Elaboración propia

### 1. Componentes en la Gestión del Personal Operativo

N°	CONDICIONES PARA LA GESTIÓN DE PERSONAL OPERATIVO	VALOR ASIGNADO 0= NO TINE 1= INADECUADO 2= ADECUADO	CATEGORÍA	B
			OBSERVACIONES	
1	Jefe o responsable principal de la PTAR			
2	Jefe o responsable de laboratorio			
3	Personal técnico calificado			
4	Personal de apoyo capacitado			
5	Personal capacitado en tareas de O&M de la PTAR			
6	Personal capacitado en Seguridad Industrial e Higiene			
7	Personal con Equipo de Protección			
8	Equipo de primeros auxilios (Botiquín equipado)			

**Fuente:** Elaboración propia

## 2. Documentación Técnica

N°	DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	VALOR ASIGNADO 0= No tiene 1= Tiene	CATEGORÍA	B
			OBSERVACIONES	
1	Esquema visible del sistema de tratamiento			
2	Organigrama consolidado			
3	Disponibilidad y utilización de manuales de O&M en la PTAR			
4	Plan de Actividades de O&M en la PTAR			

**Fuente:** Elaboración propia

## 3. Gestión De Mantenimiento De La PTAR

Cronograma de actividades planificadas para O&M (durante 6 meses)

Cronograma de actividades ejecutadas para O&M (durante 6 meses)

## 4. Mantenimiento Correctivo

Numero de situaciones imprevistas atendidas o solucionadas

Numero de situaciones imprevistas presentadas

## 5. Eficiencia De Diseño

N°	PARÁMETRO	EFICIENCIA ACTUAL %	EFICIENCIA DE DISEÑO %	CUMPLIMIENTO
1	DBO <sub>5</sub>			
2	DQO			
3	SST			

**Fuente:** Elaboración propia

- N° de población de diseño
- N° de población de actual servida
- Concentración media de DBO<sub>5</sub> de diseño
- Concentración media de DBO<sub>5</sub> de ETRL (Empresa Transportadora y recolectora de lodos)
- Carga Orgánica de lodos descargados

## Anexo N° 18: Tabla de Costos de PTAR, Univalle con Reactor Anaerobio

**MEDICIONES PTAR UNIVALLE**  
**MATERIALES**

CONDUCCION DESDE LA CP-19 A LA TRAMPA DE GRASA L=140 m

CANTIDAD

1

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	C/U	C/T
1	Tuberia PVC de 4" esquema 40 L = 6m	pza	24	24	Bs. 450.00	Bs. 10,800.00
2	Adhesivo para PVC	lt	25	25	Bs. 25.00	Bs. 625.00

CAMARA DE INSPECCION DE 1 X 1 X 1.5 m DE PROFUNDIDAD

CANTIDAD

1

2

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	PARCIAL	TOTAL	C/U	C/T
1	Ladrillos gambote	pzas	390	780	Bs. 1.20	Bs. 936.00
2	Arena fina	m3	0.48	0.96	Bs. 90.00	Bs. 86.40
3	Cemento IP-30	kg	60	120	Bs. 1.20	Bs. 144.00
4	Agua	lt	120	240	Bs. 0.30	Bs. 72.00
5	Tapa de H°A° de 0.90 x 0.90 m de 6 cm de espesor	pza	1	2	Bs. 0.00	Bs. 0.00
5.1	Acero de alta resistencia corrugado $\phi=10$	kg	8	16	Bs. 7.00	Bs. 112.00
5.2	Acero de alta resistencia corrugado $\phi=12$	kg	0.6	1.2	Bs. 9.00	Bs. 10.80
5.3	Cemento Portland IP-30	kg	14	28	Bs. 1.20	Bs. 33.60

5.4	Arenilla	m3	0.03	0.06	Bs. 90.00	Bs. 5.40
5.5	Ripio chancado	m3	0.04	0.08	Bs. 160.00	Bs. 12.80
5.6	Alambre de amarre	kg	0.5	1	Bs. 13.00	Bs. 13.00
5.7	Madera para encofrado	pie2	2	4	Bs. 3.00	Bs. 12.00
6	Hormigon Simple 1:2:3	m3	0.25	0.5	Bs. 0.00	Bs. 0.00
6.1	Cemento Portland IP-30	kg	90	180	Bs. 1.20	Bs. 216.00
6.2	Ripio chancado	m3	0.2	0.4	Bs. 160.00	Bs. 64.00
6.3	Arenilla	m3	0.15	0.3	Bs. 90.00	Bs. 27.00
6.4	Agua	lts	50	100	Bs. 0.30	Bs. 30.00
6.5	Sika 1	lts	5	10	Bs. 1.50	Bs. 15.00
7	Contrapiso de H° S° dosificacion 1:3:4 e=0.05 m	m3	0.05	0.1	Bs. 0.00	Bs. 0.00
7.1	Cemento Portland IP-30	kg	12.5	25	Bs. 1.20	Bs. 30.00
7.2	Ripio rodado	m3	0.03	0.06	Bs. 120.00	Bs. 7.20
7.3	Arenilla	m3	0.025	0.05	Bs. 90.00	Bs. 4.50
7.4	Sika 1	lt	0.5	1	Bs. 1.50	Bs. 1.50
7.5	Agua	lt	11	22	Bs. 0.30	Bs. 6.60
8	Revoque de cemento planchado	m2	6	12	Bs. 0.00	Bs. 0.00
8.1	Cemento Portland IP-30	kg	48	96	Bs. 1.20	Bs. 115.20
8.2	Arena fina	kg	0.12	0.24	Bs. 0.09	Bs. 0.02
8.3	Agua	lts	18	36	Bs. 0.30	Bs. 10.80
9	Rejilla de desbaste semicircular de 6 " DE DIAMETRO e=1/4" con barras de 1 cm de espesor y separacion entre barras de 1 cm	pza	1	1	Bs. 180.00	Bs. 180.00

<b>TRAMPA DE GRASA DE 2 X 1 X 1 m DE PROFUNDIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	1
--	-----------------	---

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	C/U	C/T
1	Codo de 90° de PVC de 4 "	pza	1	1	Bs. 30.00	Bs. 30.00
2	Tee de PVC de 4"	pza	1	1	Bs. 30.00	Bs. 30.00
3	Tubo PVC de 4"	ml	0.6	0.6	Bs. 20.00	Bs. 12.00
4	Ladrillos gambote	pzas	390	390	Bs. 0.70	Bs. 273.00
5	Arena fina	m3	0.48	0.48	Bs. 90.00	Bs. 43.20
6	Cemento IP-30	kg	60	60	Bs. 1.20	Bs. 72.00
7	Agua	litros	120	120	Bs. 0.30	Bs. 36.00
8	Tapa de H°A° de 2 x 1 m de 6 cm de espesor con agarraderas	pza	1	1	Bs. 0.00	Bs. 0.00
8.1	Acero de alta resistencia corrugado $\phi=10$	kg	16	32	Bs. 7.00	Bs. 224.00
8.2	Acero de alta resistencia corrugado $\phi=12$	kg	1.2	2.4	Bs. 9.00	Bs. 21.60
8.3	Cemento Portland IP-30	kg	28	56	Bs. 1.20	Bs. 67.20
8.4	Arenilla	m3	0.06	0.12	Bs. 90.00	Bs. 10.80
8.5	Ripio chancado	m3	0.08	0.16	Bs. 160.00	Bs. 25.60
8.6	Alambre de amarre	kg	1	2	Bs. 15.00	Bs. 30.00
8.7	Madera para encofrado	pie2	4	8	Bs. 6.00	Bs. 48.00
9	Hormigon Simple 1:2:3	m3	0.5	0.5	Bs. 0.00	Bs. 0.00
9.1	Cemento Portland IP-30	kg	180	360	Bs. 1.20	Bs. 432.00
9.2	Ripio chancado	m3	0.4	0.8	Bs. 160.00	Bs. 128.00
9.3	Arenilla	m3	0.3	0.6	Bs. 90.00	Bs. 54.00
9.4	Agua	lts	100	200	Bs. 0.30	Bs. 60.00
9.5	Sika 1	lts	10	20	Bs. 1.50	Bs. 30.00
10	Contrapiso de H° S° dosificacion 1:3:4 e=0.05 m	m3	0.1	0.2	Bs. 0.00	Bs. 0.00
10.1	Cemento Portland IP-30	kg	25	50	Bs. 1.20	Bs. 60.00
10.2	Ripio rodado	m3	0.06	0.12	Bs. 120.00	Bs. 14.40

10.3	Arenilla	m3	0.05	0.1	Bs. 90.00	Bs. 9.00
10.4	Sika 1	lt	1	2	Bs. 1.50	Bs. 3.00
10.5	Agua	lt	22	44	Bs. 0.30	Bs. 13.20
11	Revoque de cemento planchado	m2	6	6	Bs. 0.00	Bs. 0.00
11.1	Cemento Portland IP-30	kg	48	48	Bs. 1.20	Bs. 57.60
11.2	Arena fina	kg	0.12	0.12	Bs. 0.09	Bs. 0.01
11.3	Agua	lts	18	18	Bs. 0.30	Bs. 5.40

CAMARA DE LODOS 6x4x1 m de profundidad

CANTIDAD

1

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	C/U	C/T
1	HORMIGON ARMADO H-21	m3	16	16	Bs. 0.00	Bs. 0.00
1.1	Cemento Portland IP-30	kg	5600	5600	Bs. 1.20	Bs. 6,720.00
1.2	Acero de alta resistencia corrugado	kg	1600	1600	Bs. 7.70	Bs. 12,320.00
1.3	Arenilla	m3	9	9	Bs. 90.00	Bs. 810.00
1.4	Ripio Rodado	m3	12	12	Bs. 120.00	Bs. 1,440.00
1.5	Agua	lts	2720	2720	Bs. 0.30	Bs. 816.00
1.6	Madera para encofrado	pies2	1280	1280	Bs. 6.00	Bs. 7,680.00
1.7	Clavos 2 1/2 "	kg	20	20	Bs. 14.00	Bs. 280.00
1.8	Alambre de amarre	kg	20	20	Bs. 15.00	Bs. 300.00
2	Contrapiso de H° S° dosificacion 1:3:4 e=0.10 m	m3	2.8	2.8	Bs. 0.00	Bs. 0.00
2.1	Cemento Portland IP-30	kg	700	700	Bs. 1.20	Bs. 840.00
2.2	Ripio rodado	m3	1.7	1.7	Bs. 120.00	Bs. 204.00
2.3	Arenilla	m3	1.4	1.4	Bs. 90.00	Bs. 126.00
2.4	Sika 1	lt	28	28	Bs. 1.50	Bs. 42.00
2.5	Agua	lt	616	616	Bs. 0.30	Bs. 184.80
3	Tapa Metalica de 0.85 x 0.85 m de 5 cm de espesor hermetica	pza	1	1	Bs. 0.00	Bs. 0.00

**HUMEDAL DE 10 X 7 X 1.2 m DE PROFUNDIDAD**

CANTIDAD

1

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	C/U	C/T
1	Geomembrana PEAD de e=1.5 mm con accesorios de instalacion	m2	180	180	Bs. 55.00	Bs. 9,900.00
1.1	Geotextil	m2	180	180	Bs. 70.00	Bs. 12,600.00
1.1	Geomembrana PEAD de e=1.5 mm con accesorios de instalacion base	m2	150	150	Bs. 10.00	Bs. 1,500.00
1.2	Geomembrana PEAD de e=1.5 mm con accesorios de instalacion 2 deflectores de 6,7 + 1.2 m	m2	30	30	Bs. 30.00	Bs. 900.00
2	Ripio Lavado de 3/4"	m3	60	60	Bs. 160.00	Bs. 9,600.00

**CAMARA DE DISTRIBUCION DE 1 X 1 X 1 m DE PROFUNDIDAD**

CANTIDAD

1

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	C/U	C/T
1	Ladrillos gambote	pzas	260	260	Bs. 1.16	Bs. 301.60
2	Arena fina	m3	0.32	0.32	Bs. 90.00	Bs. 28.80
3	Cemento IP-30	kg	40	40	Bs. 1.20	Bs. 48.00
4	Agua	lt	80	80	Bs. 0.30	Bs. 24.00
5	Hormigon Simple 1:2:3	m3	0.2	0.2	Bs. 0.00	Bs. 0.00
5.1	Cemento Portland IP-30	kg	70	70	Bs. 1.20	Bs. 84.00
5.2	Ripio chancado	m3	0.2	0.2	Bs. 160.00	Bs. 32.00
5.3	Arenilla	m3	0.15	0.15	Bs. 90.00	Bs. 13.50
5.4	Agua	lts	40	40	Bs. 0.30	Bs. 12.00
5.5	Sika 1	lts	4	4	Bs. 1.50	Bs. 6.00
6	Contrapiso de H° S° dosificacion 1:3:4 e=0.05 m	m3	0.05	0.05	Bs. 0.00	Bs. 0.00
6.1	Cemento Portland IP-30	kg	12	12	Bs. 1.20	Bs. 14.40
6.2	Ripio rodado	m3	0.03	0.03	Bs. 120.00	Bs. 3.60
6.3	Arenilla	m3	0.025	0.025	Bs. 90.00	Bs. 2.25
6.4	Sika 1	lt	0.5	0.5	Bs. 1.50	Bs. 0.75

6.5	Agua	lt	11	11	Bs. 0.30	Bs. 3.30
7	Revoque de cemento planchado	m2	4	4	Bs. 0.00	Bs. 0.00
7.1	Cemento Portland IP-30	kg	32	32	Bs. 1.20	Bs. 38.40
7.2	Arena fina	kg	0.08	0.08	Bs. 90.00	Bs. 7.20
7.3	Agua	lts	12	12	Bs. 0.30	Bs. 3.60
8	Tubo PVC de 4 "	ml	4.5	4.5	Bs. 20.00	Bs. 90.00
9	Llave de paso de 4"	pza	1	1	Bs. 715.00	Bs. 715.00

**CAMARA DE RECEPCION DE 1 X 1 X 1 m DE PROFUNDIDAD**
**CANTIDAD**
**1**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	C/U	C/T
1	Ladrillos gambote	pzas	260	260	Bs. 1.16	Bs. 301.60
2	Arena fina	m3	0.32	0.32	Bs. 90.00	Bs. 28.80
3	Cemento IP-30	kg	40	40	Bs. 1.20	Bs. 48.00
4	Agua	lt	80	80	Bs. 0.30	Bs. 24.00
5	Hormigon Simple 1:2:3	m3	0.2	0.2	Bs. 0.00	Bs. 0.00
5.1	Cemento Portland IP-30	kg	70	70	Bs. 1.20	Bs. 84.00
5.2	Ripio chancado	m3	0.2	0.2	Bs. 160.00	Bs. 32.00
5.3	Arenilla	m3	0.15	0.15	Bs. 90.00	Bs. 13.50
5.4	Agua	lts	40	40	Bs. 0.30	Bs. 12.00
5.5	Sika 1	lts	4	4	Bs. 1.50	Bs. 6.00
6	Contrapiso de H° S° dosificacion 1:3:4 e=0.05 m	m3	0.05	0.05	Bs. 0.00	Bs. 0.00
6.1	Cemento Portland IP-30	kg	12	12	Bs. 1.20	Bs. 14.40
6.2	Ripio rodado	m3	0.03	0.03	Bs. 120.00	Bs. 3.60
6.3	Arenilla	m3	0.025	0.025	Bs. 90.00	Bs. 2.25
6.4	Sika 1	lt	0.5	0.5	Bs. 1.50	Bs. 0.75
6.5	Agua	lt	11	11	Bs. 0.30	Bs. 3.30
7	Revoque de cemento planchado	m2	4	4	Bs. 0.00	Bs. 0.00

7.1	Cemento Portland IP-30	kg	32	32	Bs. 1.20	Bs. 38.40
7.2	Arena fina	kg	0.08	0.08	Bs. 90.00	Bs. 7.20
7.3	Agua	lts	12	12	Bs. 0.30	Bs. 3.60
8	Tubo PVC de 4 "	ml	6	6	Bs. 20.00	Bs. 120.00
9	Llave de paso de 4"	pza	2	2	Bs. 715.00	Bs. 1,430.00

**SEDIMENTADORES Y FILTRO ANAEROBICO DE FLUJO ASCENDENTE 25X5X3 m**

CANTIDAD

1

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	C/U	C/T
1	HORMIGON ARMADO H-21 (Muros, tapa, base y vigas)	m3	90	90	Bs. 0.00	Bs. 0.00
1.1	Cemento Portland IP-30	kg	31500	31500	Bs. 1.20	Bs. 37,800.00
1.2	Acero de alta resistencia corrugado	kg	9900	9900	Bs. 8.00	Bs. 79,200.00
1.3	Arenilla	m3	49.5	49.5	Bs. 90.00	Bs. 4,455.00
1.4	Ripio Rodado	m3	67.5	67.5	Bs. 120.00	Bs. 8,100.00
1.5	Agua	lts	15300	15300	Bs. 0.30	Bs. 4,590.00
1.6	Madera para encofrado	pies2	7200	7200	Bs. 6.00	Bs. 43,200.00
1.7	Clavos 2 1/2 "	kg	108	108	Bs. 14.00	Bs. 1,512.00
1.8	Alambre de amarre	kg	108	108	Bs. 13.00	Bs. 1,404.00
2	Contrapiso de H° S° dosificacion 1:3:4 e=0.10 m	m3	12.5	12.5	Bs. 0.00	Bs. 0.00
2.1	Cemento Portland IP-30	kg	3125	3125	Bs. 1.20	Bs. 3,750.00
2.2	Ripio rodado	m3	7.5	7.5	Bs. 120.00	Bs. 900.00
2.3	Arenilla	m3	6.5	6.5	Bs. 90.00	Bs. 585.00
2.4	Sika 1	lt	125	125	Bs. 1.50	Bs. 187.50
2.5	Agua	lt	2750	2750	Bs. 0.30	Bs. 825.00
3	Tapa Metalica de 0.85 x 0.85 m de 5 cm de espesor hermetica	pza	4	4	Bs. 1,200.00	Bs. 4,800.00
4	Grava chancada de 1 1/2"	m3	50	50	Bs. 160.00	Bs. 8,000.00
5	Bloques de Hormigon Armado de 2.4x0.6x0.20 con perforaciones (0.3 m3 H°A°)	pzas	1	20	Bs. 0.00	Bs. 0.00

5.1	Cemento Portland IP-30	kg	105	2100	Bs. 1.20	Bs. 2,520.00
5.2	Acero de alta resistencia corrugado	kg	33	660	Bs. 8.00	Bs. 5,280.00
5.3	Arenilla	m3	0.17	3.3	Bs. 90.00	Bs. 297.00
5.4	Ripio Rodado	m3	0.23	4.5	Bs. 120.00	Bs. 540.00
5.5	Agua	lts	4.8	96	Bs. 0.30	Bs. 28.80
5.6	Madera para encofrado	pies2	18	360	Bs. 6.00	Bs. 2,160.00
5.7	Clavos 2 1/2 "	kg	0.45	9	Bs. 14.00	Bs. 126.00
5.8	Alambre de amarre	kg	18	360	Bs. 13.00	Bs. 4,680.00
6	Tubo de PVC de 4"	ml	8	8	Bs. 20.00	Bs. 160.00
7	Codo de 90° de PVC de 4 "	pza	2	2	Bs. 30.00	Bs. 60.00
8	Tee de PVC de 4"	pza	1	1	Bs. 45.00	Bs. 45.00
9	Tapon macho de PVC de 4 "	pza	1	1	Bs. 20.00	Bs. 20.00
10	Adhesivo de PVC	lts	2	2	Bs. 25.00	Bs. 50.00
11	Tuberia de F°G° de 1"	ml	20	20	Bs. 50.00	Bs. 1,000.00
12	Quemador de metano con campana de plancha de acero	pza	1	1	Bs. 8,500.00	Bs. 8,500.00
13	Tee de F°G° de 1"	pza	2	2	Bs. 25.00	Bs. 50.00
14	Codo de 90° de F°G° de 1 "	pza	1	1	Bs. 10.00	Bs. 10.00
15	Llave de paso de media vuelta de F°G° de 1"	pza	3	3	Bs. 115.00	Bs. 345.00
16	Union patente de F°G° de 1"	pza	1	1	Bs. 50.00	Bs. 50.00

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	C/U	C/T
1	Construcción y puesta en marcha biodigestor cap 15m3	pza	1	1	Bs. 45,000.00	Bs. 45,000.00

618,763.15 bs

**\$88,902.75**

**Fuente:** Estudio a Diseño Final Emisario y Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el Municipio de Tiquipaya”