

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1 Introducción.

En un mundo que exige soluciones sostenibles para la gestión de recursos hídricos, la selección de plantas de tratamiento de agua residual se establece como un pilar fundamental en la preservación del medio ambiente y la promoción de la salud pública. La toma de decisiones informada en este ámbito no solo implica la consideración de diversos factores, sino también la accesibilidad a herramientas efectivas que faciliten esta elección.

La gestión eficiente del tratamiento de aguas residuales es un desafío crucial en Bolivia, especialmente en un contexto donde la protección del medio ambiente y la salud pública son prioridades fundamentales. El Ministerio de Medio Ambiente y Agua desarrolló la guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales, acompañada de una planilla en Excel que facilita este proceso. Sin embargo, la accesibilidad y usabilidad de esta herramienta pueden ser mejoradas mediante la implementación de la plataforma web propuesta.

Este proyecto de grado tiene como objetivo principal la creación de una página web que se base en la guía técnica de selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales del Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia. La página web propuesta busca mejorar diversos aspectos de la planilla Excel original, proporcionando una plataforma más accesible, intuitiva y funcional para los usuarios. Esta iniciativa no solo se propone como una plataforma informativa, sino también como una herramienta interactiva que ayuda a ingenieros, técnicos y profesionales en el proceso de selección de plantas de tratamiento.

En este contexto, la creación de una página web emerge como una solución que no solo centraliza la información crítica, sino que también fomenta la interactividad y la adaptabilidad a distintos escenarios y requisitos específicos. Al hacerlo, aspiramos a facilitar la toma de decisiones informadas y a impulsar prácticas de tratamiento de agua residual más eficaces y sostenibles, contribuyendo así a la mejora de la gestión ambiental en el país.

A lo largo de este proyecto, no solo se busca presentar una herramienta, sino también promover la comprensión profunda de los procesos y consideraciones que subyacen en la

selección de plantas de tratamiento de aguas residuales. Al hacerlo, contribuimos no solo al avance de la ingeniería civil, sino también al cuidado responsable de nuestro entorno y la preservación de los recursos hídricos para las generaciones futuras.

1.2. Justificación.

En el contexto actual de creciente conciencia ambiental y demandas regulatorias más estrictas, la gestión eficiente de aguas residuales se ha convertido en una prioridad crítica en el campo de la ingeniería civil y ambiental. La selección adecuada de plantas de tratamiento es un componente clave en este proceso, porque influye directamente en la calidad del agua tratada, el cumplimiento de normativas ambientales y la sostenibilidad a largo plazo.

El tratamiento adecuado de las aguas residuales es fundamental para la protección del medio ambiente y la salud pública. En Bolivia, el Ministerio de Medio Ambiente y Agua desarrolló la guía técnica que ofrece un marco detallado para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, la planilla en Excel asociada a esta guía presenta limitaciones que pueden dificultar su uso eficiente y accesible por parte de los profesionales del sector.

El presente proyecto de grado propone el desarrollo de una página web que mejore y modernice las funcionalidades de la planilla en Excel. Esta plataforma web no solo consolida la información esencial, sino que también proporciona herramientas interactivas que permiten a los profesionales y técnicos ingresar datos específicos y recibir recomendaciones personalizadas. Al hacerlo, se facilita a los usuarios con una herramienta eficaz y de vanguardia que facilita la toma de decisiones informadas y la implementación de sistemas de tratamiento más eficientes y sostenibles.

Además, esta plataforma no solo beneficiará a profesionales y técnicos en el campo de la ingeniería civil y ambiental, sino que también contribuirá a la preservación del medio ambiente y la gestión responsable de los recursos hídricos. Al promover prácticas de tratamiento de aguas residuales más efectivas, se fomenta la protección de ecosistemas acuáticos y se apoya la salud pública al garantizar la disponibilidad de agua limpia y segura.

En resumen, la creación de esta página web representa una respuesta estratégica y pertinente a una necesidad crítica en el campo de la ingeniería civil y ambiental. Al consolidar la información esencial y proporcionar herramientas interactivas, este proyecto tiene el

potencial de marcar un impacto significativo en la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

1.3. Planteamiento del problema.

La selección adecuada líneas de tratamiento de agua residual en ingeniería civil es crucial, el problema radica en la dispersión y falta de herramientas basados en textos oficiales o normativas desarrollados por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua. Por lo tanto, surge la necesidad de una solución integral: una página web basada en la guía técnica de selección y diseño de líneas de tratamiento de agua residual. Esta plataforma no solo consolidaría la información esencial, sino también proporcionaría herramientas interactivas para facilitar decisiones fundamentadas y eficaces, siendo una herramienta de acceso inmediato y fácil manejo para los usuarios.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

- Diseñar y desarrollar una plataforma web interactiva basada en la guía técnica de selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residual, con el propósito de proporcionar a profesionales del campo de la ingeniería civil y a técnicos especializados una herramienta integral que facilite los criterios de selección de sistemas de tratamiento de aguas residuales, promoviendo la gestión sostenible de los recursos hídricos.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Crear una interfaz de usuario que sea fácil de navegar y que proporcione acceso intuitivo a la guía y herramientas de selección, garantizando una experiencia positiva para los usuarios.
- Conducir pruebas exhaustivas para verificar la funcionalidad y precisión de la plataforma, corrigiendo cualquier error o anomalía identificada durante las pruebas.
- Implementar calculadoras, formularios y otras herramientas interactivas que permitan a los usuarios ingresar datos específicos y recibir recomendaciones personalizadas.
- Seleccionar una plataforma de alojamiento y configurar un dominio para que la plataforma esté disponible públicamente y accesible para los usuarios objetivo.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO.

2.1.1. Reglamentos y normativas.

2.1.1.1. Reglamentos y normativas internacionales.

Los reglamentos son normativas o disposiciones establecidas por una autoridad competente, ya sea gubernamental, institucional o de otro tipo, con el propósito de regular el funcionamiento de determinadas actividades, procesos o situaciones dentro de un ámbito específico. Estas normas suelen detallar cómo deben llevarse a cabo ciertas acciones, los procedimientos a seguir, las restricciones o limitaciones, así como las sanciones en caso de incumplimiento. Los reglamentos más conocidos para el tratamiento de aguas residuales varían según el país o la región específica, ya que cada lugar puede tener sus propias normativas y regulaciones ambientales. Sin embargo, algunos de los reglamentos más importantes y ampliamente reconocidos en este campo incluyen¹:

- Directiva Marco del Agua (DMA) de la Unión Europea.
- Clean Water Act (CWA) en Estados Unidos.
- Normativa Nacional de Aguas Residuales en China.
- Reglamentación sobre descargas de aguas residuales en México.
- Normativa sobre aguas residuales en Japón (Ley de Agua Limpia)

Los reglamentos desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento y la gestión efectiva de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Estas regulaciones establecen estándares técnicos, operativos, ambientales y de seguridad que las PTAR deben cumplir para garantizar la protección del medio ambiente, la salud pública y la calidad del agua².

2.1.1.2. Reglamentos y normativas bolivianas.

La normativa boliviana desempeña un papel crucial en el desarrollo y funcionamiento de la sociedad boliviana. Su importancia radica en varios aspectos fundamentales que contribuyen

¹ <https://www.epa.gov/wastewater>

² https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html

al ordenamiento jurídico, la protección de los derechos humanos, el desarrollo económico, la protección del medio ambiente y la promoción del bienestar social. (PENN 2004:11)

Estos son los reglamentos y normativas bolivianas que se tomaron en cuenta para la redacción de la guía técnica:

- Ley de Medio Ambiente N.º 1333 (27 de abril de 1992).
- Ley N.º 031, Ley Marco de Autonomías y Descentralización "*Andrés Ibáñez*" de 19 de Julio de 2010.
- Ley N.º 755 de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
- Reglamento de Áreas Protegidas.
- Reglamento Básico de Pre-inversión del Ministerio de Planificación del Desarrollo.
- Reglamento de Presentación de Proyectos de Agua Potable y Saneamiento (RT 001 – RT 002) (septiembre 2004, RM N.º 232).
- Código Boliviano de Hormigón y las normas bolivianas (IBNORCA).
- Reglamento Social de Desarrollo Comunitario del Sector de Agua Potable y Saneamiento. Ministerio de Medio Ambiente y Agua (noviembre 2017, RM N.º 440).
- NB 213, NB 686, NB 687, NB 707, NB 708, NB 763, NB 764, NB 765, NB 888, NB 1069 y NB 1070 Norma de Materiales de Saneamiento Básico. Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (junio 2007, RM N.º 050).
- NB 495, NB 496, NB 512. Normas del sector del Viceministerio de Servicios Básicos (diciembre 2007 RM N.º 104).
- NB 688. Diseño de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial y Reglamentos Técnicos de Diseño de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial. Viceministerio de Servicios Básicos (junio 2007, RM N.º 049).
- NB 689. Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable y Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable. Viceministerio de Servicios Básicos (diciembre 2007, RM N.º 104).
- NB 777. Diseño y construcción de instalaciones eléctricas interiores en baja tensión.
- NB 14801. Instalaciones eléctricas-estructuras para líneas de media tensión.
- Guías Desarrollo Comunitario. Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (agosto 2008, RM N.º 075).

- Guía para la Elaboración de Procedimientos Técnicos y Administrativos para Descargas de Efluentes Industriales, Especiales y Lodos al Alcantarillado Sanitario (AAPS).
- Guía Técnica de Diseño y Ejecución de Proyectos de Agua y Saneamiento con Tecnologías Alternativas (diciembre 2010).
- Manuales del Sector de Saneamiento Básico. Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico.
- NB/ISO 5667-10:2019 Calidad del agua – Muestreo – Parte 10: Directrices para el muestreo de aguas residuales (Correspondiente a la norma
- ISO 5667-10:1992)

Bolivia se rige según el poder legislativo donde, la aprobación de una normativa, ya sea una ley, un decreto supremo o una resolución ministerial, sigue un proceso que puede variar ligeramente dependiendo del tipo de normativa y de la institución responsable.

2.1.2. Agua residual.

Desechos líquidos provenientes de residencias, instituciones, fábricas o industrias. (NB-688 2017:27)

2.1.3. Clasificación del agua residual.

a) Domésticas.

También llamadas aguas negras o urbanas; proceden de aglomeraciones urbanas mediante los vertidos de la actividad humana doméstica, también lo constituye la mezcla de estas con las precedentes de actividades comerciales, industriales y agrarias dentro del casco urbano. (NB-688 2017:46)

b) Industriales.

El caudal de contribución industrial es la cantidad de agua residual que proviene de una determinada industria.

Los consumos industriales deben ser establecidos en base a lo especificado en el Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias. (NB-688 2017:46)

c) Comerciales.

El caudal de contribución comercial es la cantidad de agua residual que proviene de sectores comerciales. (NB-688 2017:46)

2.1.4. Caracterización de las aguas residuales.

Las Aguas residuales pueden caracterizarse de la siguiente manera:

I. Características Físicas.

La característica física más importante del agua residual es su Contenido Total de Sólidos, los cuales comúnmente se clasifican en: Color, olor, solidos totales, turbidez, temperatura. (CENTA 2006: 21)

II. Características Químicas.

Las propiedades químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido y sustancias y gases orgánicos e inorgánicos que se encuentran en las aguas residuales.

Medición el contenido de materia orgánica se realiza por separado debido a su importancia en el manejo calidad del agua y diseño de instalaciones de tratamiento de agua, estos parámetros son: pH, DQO (demanda química de oxígeno), DBO (demanda biológica de oxígeno), Nitrógeno, Fosforo, metales pesados, sustancias toxicas, pesticidas. (Metcalf & Eddy 2002: 74)

III. Características Biológicas.

Las características de las aguas residuales urbanas vienen dadas por una gran variedad de organismos vivos de alta capacidad metabólica, y gran potencial de descomposición y degradación de la materia orgánica e inorgánica. El componente orgánico de las aguas residuales es un medio de cultivo que permite el desarrollo de los microorganismos que cierran los ciclos biogeoquímicos de elementos como el carbono, el nitrógeno, el fósforo o el azufre. Los organismos que principalmente se encuentran en las aguas residuales urbanas son: algas, mohos, bacterias, virus, flagelados, ciliados, rotíferos, nemátodos, anélidos, larvas, etc. (CENTA 2006: 24)

2.1.5. Planta de tratamiento de aguas residuales.

Es el conjunto de elementos – infraestructura con un objetivo genérico, de tratar las aguas residuales para obtener mejores características de calidad en base a parámetros normalizados a través de operaciones físicas, procesos biológicos y químicos. 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. (Herrera 2017:6)

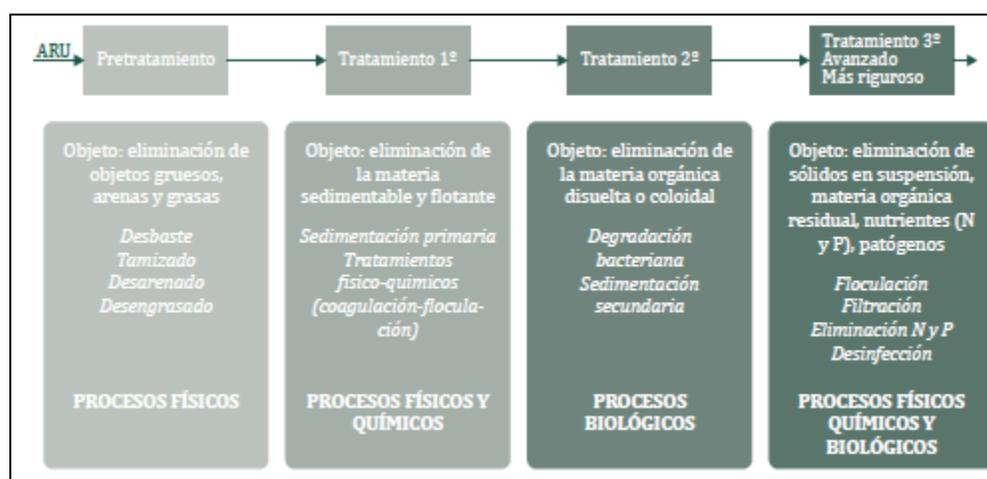
2.1.6. Etapas de Tratamiento.

El tratamiento de las aguas residuales urbanas supone la aplicación de unos procesos físicos, biológicos y químicos, de forma que los niveles de contaminación que queden en los efluentes tratados cumplan los límites legales existentes y puedan ser asimilados de forma natural por los medios receptores. (CENTA 2006:42)

Una planta de tratamiento de agua se compone por:

- Pretratamiento.
- Tratamiento Primario.
- Tratamiento Secundario.
- Tratamiento de Desinfección.
- Tratamiento de Lodos.

Fig. 1: Esquema de las etapas incluidas en el tratamiento de aguas residuales urbanas.



Fuente: Guía técnica de selección y diseño de líneas de tratamiento de agua residual.

2.1.6.1. Pretratamiento.

Tienen como objetivo eliminar de las aguas residuales todos aquellos elementos que por su naturaleza o tamaño pueden afectar el correcto funcionamiento de los tratamientos posteriores, principalmente por su acción mecánica, formación de sedimentos, abrasión o atascos. Entre las técnicas más usadas en las plantas de Bolivia están el desarenador y la rejilla, ya sea de limpieza manual o de limpieza mecanizada en las plantas grandes. (MMAyA 2013: 23)

Fig. 2: Pretratamiento



Fuente: Terán, 2004

2.1.6.1.1. Desbaste.

La misión es eliminar los sólidos de tamaño pequeño-mediano, mediante:

2.1.6.1.2. Rejas.

Barras paralelas con separación uniforme. Pueden ser rejas de gruesos que no permiten el paso entre barrotes de tamaños superiores a 20-60 mm o rejas de finos (no permiten el paso de tamaños superiores a 6-12 mm), de limpieza manual o auto limpiantes. (Huertas 2013: 34)

2.1.6.1.3. Tamices.

Placas perforadas o mallas metálicas. No permiten el paso de partículas de tamaño superior a 6 mm. Los más usados pueden ser estáticos o auto limpiantes (malla de barras con sección en cuña) y rotativos (malla sobre cilindro giratorio). (Huertas 2013: 34)

2.1.6.1.4. Desarenado.

Su objetivo es la extracción de la mayor cantidad posible de las arenas presentes en las aguas residuales. Dentro de la denominación “arenas” se incluyen las arenas propiamente dichas, gravas y partículas más o menos grandes de origen mineral u orgánico. Con esta operación se pretende proteger los equipos mecánicos contra la abrasión y el desgaste y evitar la

acumulación de estas materias pesadas. Normalmente, se dimensionan los desarenadores para la eliminación de partículas de tamaño superior a los 0,2 mm. (CENTA 2006:44)

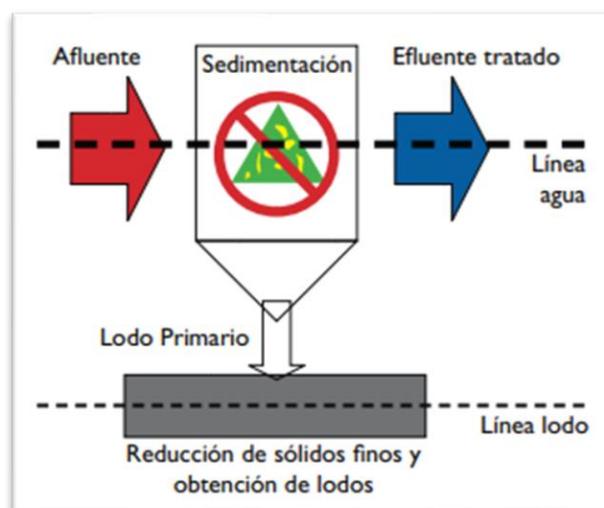
2.1.6.1.5. Desengrasado

En esta etapa se eliminan las grasas y demás materias flotantes de menor densidad que el agua. Normalmente, las operaciones de desarenado y desengrasado se llevan a cabo de forma conjunta en unidades de tratamiento conocidas como desarenadores-desengrasadores aireados. (CENTA 2006: 44)

2.1.6.2. Tratamiento Primario.

Principalmente es una separación sólido-líquido por medios físicos (por acción de la gravedad) de los sólidos en suspensión. La mayor parte de las plantas en Bolivia utilizan reactores anaerobios y entre ellos se tienen las cámaras sépticas, las cámaras de sedimentación, los tanques Imhoff, los reactores y las lagunas anaerobias. En todo este grupo de reactores se logra una reducción variable en la carga de DBO que alcanza, en la mayoría de los casos, hasta un 50%. Esta separación de sólidos puede ser mejorada con la adición de productos químicos, que como consecuencia generan la mayor producción de lodos que deben ser tratados en una fase posterior. (MMAyA 2013:24)

Fig. 3: Tratamiento Primario



Fuente: Terán, 2004

2.1.6.2.1. Sedimentadores Primarios.

El objeto de este tratamiento es principalmente la remoción de los sólidos suspendidos y DBO en las aguas residuales, mediante el proceso físico de asentamiento. Los tanques o

lagunas de sedimentación pueden utilizarse como el primer paso para el tratamiento en función de la calidad del agua en el afluente. Otra función que podrían tener los sedimentadores primarios es la retención del agua pluvial, con un corto tiempo de retención de los caudales máximos en el afluente. (MMAyA 2013:25)

2.1.6.2.2. Tanques Imhoff.

El tanque Imhoff consiste en un depósito en el que se distinguen dos zonas claramente separadas. Una parte superior denominada zona de sedimentación, en donde se produce la decantación de los sólidos, y una parte inferior, denominada zona de digestión en donde se almacenan y digieren los sólidos decantados. Ambas zonas se encuentran separadas físicamente por una estructura en forma de casa invertida abierta en el fondo, que impide el paso de los gases de la zona de digestión a la zona de sedimentación evitando de esta manera que afecten a la decantación de los sólidos. (Huertas 2013: 40)

2.1.6.2.3. Tanques Sépticos.

La fosa séptica es un sistema sencillo de tratamiento de las aguas residuales cuyo objetivo principal es la eliminación de los sólidos presentes en el agua. En una fosa séptica se separan por un lado los sólidos flotantes que hay en la superficie, incluidos aceites y grasas, y por otro lado, los sólidos sedimentables que se acumulan en el fondo. (Huertas 2013:38)

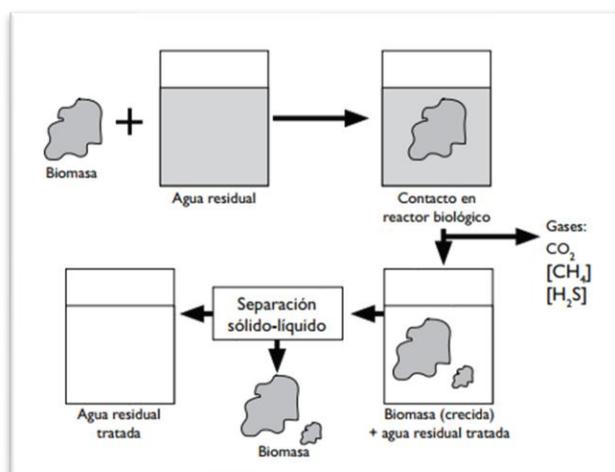
2.1.6.3. Tratamiento Secundario.

Corresponde a una eliminación mayor de los contaminantes, generalmente por procesos biológicos. En estos casos la reducción en DBO corresponde a la parte soluble de la misma y, dependiendo de la tecnología empleada, se presentan reducciones de coliformes fecales.

El lugar donde se pone en contacto la biomasa con el agua residual para llevar a cabo el tratamiento, puede ser un reactor biológico o una laguna de estabilización entre otros tipos.

En la mayoría de los casos, la biomasa se genera espontáneamente durante el tratamiento biológico y a partir de pequeñas concentraciones de microorganismos presentes en el agua residual o en el aire (ilustración 3). Consecuentemente, el conocimiento de las actividades bioquímicas de los microorganismos importantes es básico para el diseño de un proceso de tratamiento biológico o en la selección del tipo de proceso que se quiere utilizar. (MMAyA 2013:29)

Fig. 4: Proceso biológico de Tratamiento



Fuente: Terán, 2004

2.1.6.3.1. Tratamientos Anaerobios.

En los tratamientos anaerobios la degradación de la materia orgánica transcurre en ausencia de oxígeno molecular.

Como principales ventajas de este tipo de tratamientos deben citarse: sus escasos requisitos de superficie, el hecho de que generan menos lodos en exceso que los tratamientos aerobios, que estos lodos se encuentran estabilizados, y la generación de biogás (mezcla principalmente de metano y dióxido de carbono, con un poder calorífico del orden de 5.000 kcal/Nm³), que en las PTAR de mayor tamaño puede emplearse como fuente energética.

-RAFA (UASB). (RAFA) o UASB son los reactores anaerobios de flujo ascendente (por sus siglas en inglés). En este tipo de reactor, el agua es introducida por el fondo y sube por una lámina de lodos sedimentados. En este tipo de reactor, los microorganismos y bacterias se agrupan formando biogránulos y/o flóculos. Estos agregados densos poseen buenas cualidades de sedimentación. La turbulencia natural causada por el propio caudal del afluente y la producción de biogás, provoca el buen contacto entre agua residual y fango biológico en el sistema RAFA. El efluente de los reactores necesita un tratamiento posterior para lograr degradar la materia orgánica remanente, nutrientes y patógenos. Este post tratamiento puede ser a través de sistemas convencionales aeróbicos, como lagunas de estabilización. Igual que en otros tipos de tratamiento de aguas residuales, en los RAFA también son necesarias etapas

previas de adecuación del afluente antes de ingresarlas al reactor, como, por ejemplo, eliminación de aceites, grasas y arena. (MMAyA 2013:27)

-RALF. El reactor RALF (Reactor Anaeróbico de Lodo Fluidizado) es una modificación del reactor RAFA. La diferencia entre un reactor RAFA y un RALF es la forma del sedimentador. Para aguas residuales domésticas, un criterio principal para el diseño de reactores (RAFA y RALF) es el tiempo de retención que depende de la temperatura (MMAyA 2013:27).

2.1.6.3.2. Tratamientos Extensivos.

Denominamos tratamientos extensivos a aquellos que recurren a procesos naturales (fotosíntesis, aireación mediante plantas acuáticas, etc.), para suministrar el oxígeno necesario para el desarrollo de los procesos de depuración vía aerobia de las aguas residuales.

Este tipo de tratamientos presentan como principales ventajas su simplicidad y bajos costos de operación y mantenimiento. Como principales desventajas deben mencionarse los elevados requisitos de superficie para su construcción y la falta de capacidad de respuesta para hacer frente a variaciones importantes de las condiciones de operación (caudales horarios y cargas contaminantes).

-Lagunas de Estabilización. Las lagunas de estabilización representan un sistema natural de tratamiento de aguas residuales, con costos mínimos de operación y reconocidos a nivel mundial. La construcción de lagunas de estabilización para resolver el problema del tratamiento de aguas residuales, es aplicable tanto para las industrias pequeñas como para las domésticas y ciudades grandes. Sin embargo, existen localidades en las que el costo y la falta de disponibilidad de terreno no permiten este tipo de tratamiento.

En las lagunas de estabilización, la remoción de la materia orgánica (expresada como DBO5) es realizada mediante procesos biológicos aerobios y anaerobios. Dependiendo del proceso predominante, las lagunas son aerobias (de maduración o de pulimento), anaerobias o facultativas. Las lagunas facultativas son diseñadas para la remoción de la DBO y patógenos. (MMAyA 2013:30)

- Lagunas facultativas. Existen dos tipos de lagunas facultativas: Las primarias, que reciben agua cruda después de un pre-tratamiento y las secundarias, en las cuales entran aguas

sedimentadas (efluente de lagunas anaeróbicas). Las lagunas secundarias producen una mayor remoción de DBO que ha pasado a este reactor en forma soluble. También se produce una reducción de patógenos y huevos de helmintos de acuerdo al tiempo de retención hidráulica que tengan las mismas. (MMAyA 2013:30)

-Humedales Artificiales. Se trata de una tecnología incipiente en Bolivia, contándose con tan sólo 4 PTAR, repartidas en todas las zonas ecológicas, empleadas como tecnología principal y que, en todos los casos, tratan las aguas residuales generadas por poblaciones menores a 5.000 habitantes. La limitación del tamaño poblacional para el que se recomienda la aplicación de esta tecnología viene motivada por una restricción de carácter operativo, que hace que en el caso de tener que tratar grandes poblaciones se requiera la construcción de un elevado número de humedales, lo que dificulta enormemente el correcto reparto de las aguas a tratar entre todos ellos, a la vez que se encarece notablemente su construcción. (MMAyA 2021: 157)

-Lombifiltros. Esta tecnología, al igual que los Humedales Artificiales Subsuperficiales, cuenta en la actualidad con una presencia muy baja en el territorio boliviano, donde tan sólo existen 5 PTAR en operación que hacen uso de este proceso de tratamiento, todas ellas por debajo de los 5.000 habitantes. Por zonas ecológicas, esta tecnología de tratamiento no se encuentra representada en el Altiplano, mientras que los Valles y los Llanos cuentan con un número similar de instalaciones. (Huertas 2013:35)

2.1.6.3.3. Tratamientos intensivos.

Denominamos tratamientos intensivos a aquellos que recurren generalmente al empleo de dispositivos electromecánicos para suministrar el oxígeno (aire) necesario para el desarrollo de los procesos de depuración vía aerobia de las aguas residuales. Este tipo de tratamientos presentan como principal ventaja el escaso requisito de superficie para su construcción y, como desventajas a destacar, su mayor complejidad y mayores costos de operación y mantenimiento

-Filtros percoladores. Los filtros biológicos han sido utilizados para el tratamiento biológico del agua residual durante muchos años. Están formados por un lecho de medio filtrante sobre el que se distribuye continuamente el agua residual.

Un tipo de filtro utilizado frecuentemente en Bolivia es el filtro percolador, en el cual el agua residual es rociada sobre un relleno y consiste en un lecho formado por un medio permeable al que los microorganismos se adhieren, y a través del cual, se filtra el agua residual. (MMAyA 2013:33)

- **Contactores Biológicos Rotativos (CBR).** La tecnología de tratamiento de las aguas residuales conocida como Contactores Biológicos Rotativos (CBR) se encuadra dentro de los procesos de biomasa fija, y consiste en un material de soporte que gira semisumergido (aproximadamente el 40%) en un reactor, que contiene el agua residual a depurar. El material de soporte gira lentamente (1-2 rpm), por lo que va exponiendo su superficie alternativamente al agua y al aire. Sobre este material se desarrolla, de forma natural y gradualmente, una película de biomasa bacteriana (biofilm), que emplea como sustrato la materia orgánica soluble presente en el agua residual y que toma el oxígeno necesario para su respiración del aire atmosférico, durante la fase en que el material de soporte se encuentra fuera del agua.

El crecimiento de la biopelícula sobre el material de soporte continúa, hasta que llega un momento en que su espesor es tal (unos 5 mm), que se ve muy dificultada la difusión del oxígeno y del sustrato hasta las capas más profundas del biofilm, produciéndose en estas zonas fermentaciones y burbujeo gaseoso. En estas condiciones, el esfuerzo cortante producido por la rotación del material de soporte en el seno del líquido, es suficiente para producir el desprendimiento localizado de la biopelícula. (MMAyA 2021: 571)

-**Aireación Extendida.** La Aireación Extendida es una tecnología de depuración vía aerobia de las aguas residuales, que se encuadra dentro de los procesos de Lodos Activados.

En los procesos de Lodos Activados (Figura 7.178) las aguas residuales a tratar se someten a un pretratamiento y a un tratamiento primario (decantación primaria), como pasos previos antes de su ingreso en un reactor biológico, en el que se mantiene en suspensión un cultivo bacteriano (licor mezcla), en el que los microorganismos, responsables de los procesos de depuración de las aguas, se agrupan en flóculos.

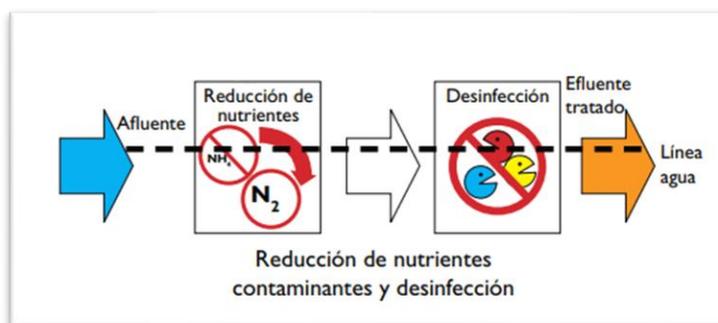
Mediante un sistema de aireación se logra un ambiente aerobio en el interior del reactor biológico, a la vez que se mantiene en suspensión el cultivo bacteriano.

Los efluentes del reactor biológico pasan a una etapa de sedimentación secundaria en la que, por acción de la gravedad, se separa el agua tratada, que abandona el sedimentador por su parte superior, de los lodos que se van acumulando en el fondo (MMAyA 2021:617)

2.1.6.4. Tratamientos de desinfección.

El propósito del tratamiento terciario es reducir el número de organismos vivos a niveles aceptables que permitan el posterior reúso de las aguas en riego, o simplemente para alcanzar los niveles de concentración establecidos por norma cuando se realizan las descargas a los cuerpos de agua. También sirve para la reducir la carga de nutrientes causantes de la eutrofización de los cuerpos de agua.

Fig. 5: Tratamiento Terciario.



Fuente: Terán, 2004

2.1.6.4.1. Lagunas de maduración. Estas lagunas se construyen normalmente después de las lagunas anaerobias y facultativas. La gran ventaja de las lagunas de maduración es que se tiene una remoción natural de bacterias y otros organismos perjudiciales sin el uso de compuestos químicos, como, por ejemplo, cloro. Pero, por otra parte, la mayor desventaja es que requiere una gran área contra variaciones, especialmente de sobrecargas orgánicas. (MMAyA 2013:36)

2.1.6.4.2. Humedales artificiales. Los sistemas de humedales artificiales se describen típicamente por la posición de la superficie del agua y/o el tipo de vegetación presente. Existen humedales artificiales de flujo superficial y humedales artificiales de flujo subsuperficial. La remoción de los contaminantes en los humedales ocurre a través de las especies vegetales presentes. Los contaminantes, en su mayoría, son también nutrientes esenciales para las plantas, tales como nitrato, amonio y fosfato. Muchas especies de plantas

utilizadas en humedales son también capaces de captar e incluso acumular significativamente metales tóxicos, como, por ejemplo, cadmio y plomo. También las bacterias, como otros microorganismos en el suelo, captan y almacenan nutrientes, algunos otros contaminantes, y asimismo, son responsables para la degradación de la materia orgánica. (MMAyA 2013:36)

2.1.6.4.3. Desinfección - luz ultravioleta (UV) La desinfección de las aguas residuales incluye la destrucción de patógenos, virus y parásitos perjudiciales para la salud. Con un dimensionamiento adecuado se puede conseguir una remoción de coliformes fecales de 99,9%⁵ (Mendoca 2000). La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua tratada, el tipo de desinfección utilizado, la dosis de desinfectante (concentración y tiempo) y de otras variables ambientales⁶ (Wagner, 2010).

La desinfección se utiliza para dañar la estructura genética de las bacterias, virus y otros patógenos, haciéndolos incapaces de la reproducción. Se utiliza, por lo general, debido a las preocupaciones por la generación de subproductos que produce la desinfección con cloro. De todos los tipos de tratamiento de aguas residuales anteriormente mencionados, se infiere que existen variaciones en su eficiencia debido a factores como su ubicación, altitud, latitud, temperatura, diseño, operación y mantenimiento. (MMAyA 2013: 37)

2.1.6.4.4. Cloración. El más usado es la cloración por ser barata, fácilmente disponible y muy efectiva. Sin embargo, como el cloro es tóxico para la vida acuática el agua tratada con este elemento debe ser sometida a cloración antes de disponerla a cursos de agua natural. Desde el punto de vista de la salud pública se encuentra aceptable un agua servida que contiene menos de 1.000 coliformes totales por 100 ml y con una DBO inferior a 50 mg/L. La estructura que se usa para efectuar la cloración es la cámara de contacto. Consiste en una serie de canales interconectados por los cuales fluye el agua servida tratada de manera que ésta esté al menos 20 minutos en contacto con el cloro, tiempo necesario para dar muerte a los microorganismos patógenos. (Huertas 2013:63)

2.1.6.5. Tratamiento de lodos³.

El termino estabilización puede considerarse como el proceso o el conjunto de procesos que dan como producto final un lodo con características tales que después del proceso puede ser usado sin que comprometa la salud pública o al medio ambiente. La estabilización de lodo

³ Manual de Tratamiento de Aguas Residuales- Luis F. Ramírez

se lleva a cabo principalmente para reducir la presencia de patógenos, eliminar los olores desagradables, reducir o eliminar su potencial de putrefacción, la supervivencia de microorganismos patógenos y la proliferación de olores el lodo se producen cuando se permite que los microorganismos se desarrollan sobre la fracción orgánica del mismo.

2.1.6.5.1. La digestión anaerobia Se realiza en un estanque cerrado llamado digester y no requiere la presencia de oxígeno pues es realizada por bacterias que se desarrollan en su ausencia. Para el óptimo crecimiento de estos microorganismos se requiere una temperatura de 35 ° C. Las bacterias anaerobias degradan la materia orgánica presente en el agua servida, en una primera fase, a ácido propiónico, ácido acético y otros compuestos intermedios, para posteriormente dar como producto final metano (60 - 70 %), anhídrido carbónico (30%) y trazas de amoníaco, nitrógeno, anhídrido sulfuroso e hidrógeno. El metano y el anhídrido carbónico son inodoros; en cambio, el ácido propiónico tiene olor a queso rancio y el ácido acético tiene un olor a vinagre.

2.1.6.5.2. La digestión aerobia Se realiza en un estanque abierto y requiere la presencia de oxígeno y, por tanto, la inyección de aire u oxígeno. En este caso la digestión de la materia orgánica es efectuada por bacterias aerobias, las que realizan su actividad a temperatura ambiente. El producto final de esta digestión es anhídrido carbónico y agua. No se produce metano. Este proceso bien efectuado no produce olores.

2.1.6.5.3. La composta o abonamiento. El compostaje es la descomposición aerobia de la materia orgánica, los microorganismos llevan a cabo este proceso. Aproximadamente el 20-30% de los sólidos volátiles se convierten a dióxido de carbono y agua. Conforme se lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica contenida en los lodos, la temperatura se eleva hasta alcanzar 50- 70°C, lo cual permite la eliminación de organismos patógenos entéricos. 41 el compostaje es la mezcla del fango digerido aeróbicamente con madera o aserrín y o llantas trituradas, con el objetivo de disminuir su humedad para posteriormente ser dispuesto en un relleno sanitario.

2.1.6.5.4. Estabilización con cal. Durante el proceso se añade suficiente cal a los lodos para elevar el pH arriba de 12 condiciones a las cuales los microorganismos no mantienen sus funciones metabólicas como consecuencia de ello, mientras se mantenga este valor de pH, los lodos no despedirán olores, no serán vectores infecciosos y se eliminara su potencial de

putrefacción, el proceso de estabilización con cal puede ser previo a un proceso de deshidratación o posterior a él.

2.1.6.5.5. Incineración. La incineración es el proceso de estabilización de sólidos más completo, ya que oxida completamente toda la materia orgánica, el olor es eliminado y los patógenos destruidos. En ese proceso la temperatura de los lodos es elevada por encima de los 800°C en un ambiente rico en oxígeno para conseguir la degradación de los compuestos orgánicos y obtener como producto final dióxido de carbono, agua y ceniza estable, lográndose una reducción del 90% del volumen total de los lodos alimentados.

2.1.7. Ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento.

Tabla 1: Ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento.

Tratamiento preliminar - acondicionamiento del agua		
TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
REJAS MANUALES	<p>Eficiente en la separación de sólidos flotantes, especialmente plásticos.</p> <p>No requiere mano de obra especializada.</p> <p>Fácil de construir con materiales locales.</p>	<p>Material se corroe rápidamente si no se protege.</p> <p>Requiere mantenimiento diario para la recolección de material flotante atrapado.</p>
REJAS AUTOMÁTICAS	<p>Se puede separar material flotante más fino.</p> <p>No requiere intervención en la recolección de flotantes.</p> <p>La recolección es automática con tiempo programado.</p>	<p>Utiliza energía eléctrica.</p> <p>Requieren operación y mantenimiento constantes.</p> <p>Usan motores y partes mecánicas no producidos en el país.</p>
DESARENADORES	<p>Son fáciles de construir y usan material local.</p> <p>Pueden ser usados en conjunción con medidores de caudal.</p> <p>Operación manual que no requiere personal capacitado.</p>	<p>Requieren al menos dos estructuras en paralelo por mantenimiento.</p> <p>Requieren que una vez colmatada la tolva se saque el material sedimentado.</p> <p>Requiere tratamiento de lodo acumulado.</p>

Tratamientos de baja producción - sistemas biológicos

TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
CÁMARAS SÉPTICAS	<ul style="list-style-type: none"> » Tecnología empleada ampliamente en poblaciones rurales y áreas periurbanas. » Construcción con elementos locales. » No requiere especialización en personal para el manejo y operación. » Baja la carga de DBO hasta en un 40%. » Se puede mejorar rendimiento con adición de químicos. » Ocupan poco terreno. » Construcción por lo general subterránea, que ayuda con generación de olores. 	<ul style="list-style-type: none"> » Muy poca o ninguna remoción de patógenos. » Requiere mantenimiento periódico. » Los lodos producidos deben ser tratados. » Muy peligroso cuando se hace mantenimiento por los gases tóxicos producidos. » Requieren de tratamientos posteriores para su uso como agua de riego. » Con químicos se produce más lodo y se necesita personal especializado. » Sólo para pequeñas poblaciones.
TANQUES IMHOFF	<ul style="list-style-type: none"> » Tecnología conocida y empleada mayormente en poblaciones rurales. » Construcción con elementos locales. » Tiene cámara de sedimentación y biodigestor en un solo reactor. » Baja la carga de DBO hasta en un 40%. » Ocupan poco terreno. » Producen un lodo estable. 	<ul style="list-style-type: none"> » Muy poca o ninguna remoción de patógenos. » Requiere mantenimiento periódico. » Los lodos producidos deben ser extraídos con periodicidad y tratados. » La cámara de sedimentación tiende a obstruirse fácilmente. » Requieren de tratamientos posteriores para su uso como agua de riego. » Construcción profunda no recomendable cuando el nivel freático está alto. » Genera malos olores. » Requiere de personal entrenado.
FILTRO ANAEROBIO	<ul style="list-style-type: none"> » Tecnología empleada ampliamente en poblaciones rurales. » Construcción con elementos locales. » No requiere especialización en personal para el manejo y operación. » Baja la carga de DBO hasta en un 40%. » Lodo estabilizado. » Ocupan poco terreno. » Construcción por lo general subterránea, que ayuda con generación de olores. 	<ul style="list-style-type: none"> » Poca reducción de patógenos. » El mantenimiento es dificultoso. » Requiere tiempo para generar bacterias acostumbradas al medio. » Produce olor.

Tratamientos de baja producción - sistemas biológicos

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> » Tecnología conocida y ampliamente utilizada en el país. » Construcción con elementos locales. » Requiere poca operación y mantenimiento. » Reduce patógenos cuando se usan lagunas facultativas y de maduración. » No usa energía adicional a la gravitatoria. » Reduce grandemente la DBO hasta 99%. » Actúa como reservorio de regulación para sistemas de riego. 	<ul style="list-style-type: none"> » Se requiere una gran superficie. » Las lagunas anaerobias son profundas; no se usa con nivel freático alto. » Si se sobrecargan producen malos olores. » La evaporación es grande en climas áridos. » Si no se maneja bien el pelo de agua, gran producción de mosquitos. » Existe rechazo por parte de la población a esta solución.
HUMEDALES	<ul style="list-style-type: none"> » Tecnología conocida ampliamente utilizada en el país. » Construcción con elementos locales. » Requiere poca operación y mantenimiento. » Reduce patógenos, las plantas fijan metales pesados. » No usa energía adicional a la gravitatoria. 	<ul style="list-style-type: none"> » Se requiere superficie de tamaño medio. » Si no se cosechan plantas hay sobrepoblación que afea el paisaje. » Requieren de geomembrana para no contaminar subsuelo. » Requiere una cuidadosa selección del medio filtrante. » Requiere de plantas que se adapten al líquido. » Humedales de flujo superficial conllevan gran población de mosquitos.
LAGUNAS AIREADAS + LAGUNA DE SEDIMENTACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> » Tecnología conocida. » Construcción de las lagunas con elementos locales. » Reduce patógenos muy efectivamente. » No requiere etapa previa de sedimentación. » No producen olor. 	<ul style="list-style-type: none"> » Requiere electricidad para los aireadores. » Aireadores se deben importar. » Se requiere personal de mantenimiento. » Los lodos deben ser tratados para reducir patógenos. » Si no se maneja bien puede haber gran producción de mosquitos.

Tratamientos de alta producción		
TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
REACTOR UASB REACTOR (RAFA) REACTOR (RALF)	<ul style="list-style-type: none"> » Tecnología ampliamente probada en el contexto internacional. » Construcción con elementos locales » Ocupa poco terreno. » Baja la carga de DBO hasta en un 50%. » Los olores son contenidos en el reactor eliminados por ventilación. » Producen un lodo estable. 	<ul style="list-style-type: none"> » Poca reducción de patógenos. » Muy inestable con cambios bruscos de temperatura. » Requieren de operación y mantenimiento constante. » Requieren de personal especializado. » Requiere de laboratorio para control de pH, alcalinidad. » Requiere inóculo para generar el manto suspendido. » En invierno pueden necesitar fuente de calor.
DESINFECCIÓN POR RAYOS ULTRAVIOLETAS	<ul style="list-style-type: none"> » No se producen elementos tóxicos o cancerígenos. » Efectiva reducción de patógenos. » Tecnología simple de fácil manejo. 	<ul style="list-style-type: none"> » La lámina de agua tratada debe ser pequeña (cm). » El agua no debe contener sedimentos. » Necesita mantenimiento intensivo de las lámparas. » No se debe tener flujo turbulento.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2013 la Paz-Bolivia).

2.1.8. Tratamiento avanzado de las aguas residuales.

Si el agua que ha de recibir el vertido requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente va a reutilizarse, es necesario un tratamiento avanzado de las aguas residuales. A menudo se usa el término tratamiento terciario como sinónimo de tratamiento avanzado, pero no son exactamente lo mismo. El tratamiento terciario, o de tercera fase, suele emplearse para eliminar el fósforo, mientras que el tratamiento avanzado podría incluir pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO5 en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema. Es probable que en el futuro se generalice el uso de estos y otros

métodos de tratamiento de los residuos a la vista de los esfuerzos que se están haciendo para conservar el agua mediante su reutilización. (Grupo Vento 2018)

2.2.-MARCO CONCEPTUAL⁴.

- **AGUAS RESIDUALES CRUDAS:** Aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso.
- **AGUAS RESIDUALES TRATADAS:** Aguas procesadas en plantas de tratamiento para satisfacer los requisitos de calidad en relación a la clase de cuerpo receptor a que serán descargadas.
- **AREA 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.
- **CLASIFICACIÓN:** Establecimiento del nivel de calidad existente o el nivel a ser alcanzado y/o mantenido en un cuerpo de agua.
- **CONTAMINACIÓN DE AGUAS:** 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.
- **CUERPO DE AGUA:** Arroyos, ríos, lagos y acuíferos, que conforman el sistema hidrográfico de una zona geográfica.
- **CUERPO RECEPTOR:** Medio donde se descargan aguas residuales crudas o tratadas.
- **DBO5:** Demanda Bioquímica de Oxígeno (en mg/I). 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.
- **DESCARGA:** Vertido de aguas residuales crudas o tratadas en un cuerpo receptor.
- **DQO:** Demanda Química de Oxígeno (en mg/I). 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.

⁴ Toda la información fue obtenida del Reglamento de Contaminación Hídrica.

- **EFLUENTE CONTAMINADO:** Toda descarga líquida que contenga cualquier forma de materia inorgánica y/u orgánica o energía, que no cumpla los límites establecidos en el presente reglamento.
- **EFLUENTE INDUSTRIAL:** Aguas residuales crudas o tratadas provenientes de procesos industriales.
- **EFLUENTES HOSPITALARIOS:** Descargas de aguas residuales crudas o tratadas procedentes de hospitales, clínicas o morgues.
- **EFLUENTE SANITARIO:** Aguas residuales crudas o tratadas provenientes del uso doméstico.
- **FANGOS O LODOS:** Parte sólida que se produce, decanta o sedimenta durante el tratamiento de aguas.
- **LIXIVIADOS:** Líquido resultante del proceso de disolución de los metales, por efecto de la lluvia y agentes químicos y/o biológicos.
- **RECURSO HÍDRICO:** Cuerpo de agua que cumple con los límites establecidos para cualesquiera de las clases A, B, C o D.
- **PREVENCIÓN:** Disposiciones y medidas anticipadas para evitar el deterioro de la calidad del agua.
- **REUSO:** Utilización de aguas residuales tratadas que cumplan la calidad requerida por el presente Reglamento.
- **SISTEMA DE ALCANTARILLADO SEPARADO:** Sistema de redes en que las aguas residuales son colectadas separadamente de las aguas pluviales.
- **SISTEMA DE ALCANTARILLADO UNITARIO:** Aquél en el que las aguas residuales son colectadas juntamente con las aguas pluviales.
- **SÓLIDOS SEDIMENTABLES:** Volumen que ocupan las partículas sólidas contenidas en un volumen definido de agua, decantadas en dos horas; su valor se mide en mililitros por litro (ml/l).
- **SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES:** Peso de las partículas sólidas suspendidas en un volumen de agua, retenidas en papel filtro N° 42.
- **TRATAMIENTO:** Proceso físico, químico y/o biológico que modifica alguna propiedad física, química y/o biológica del agua residual cruda.

2.3.-MARCO LEGAL.

Este proyecto está sustentado mediante normas establecidas relacionadas al saneamiento

2.3.1. Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales (2021).

La nota interna NI/MMAYA/VASPSB/DGAPAS/UDESIGI N° 0287/2021 de 05 de octubre de 2021, el Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico solicita la aprobación de la Guía Técnica para la Selección y Diseño de Líneas de Tratamiento de Aguas residuales y autorización al VAPSB su difusión y socialización y demás documentación; y todo cuanto a ver convino.

En Bolivia, la cobertura media de saneamiento se sitúa en el 62% alcanzando al 69,4% en el área urbana y al 44,8% en el área rural (VAPSB, 2019). En lo referente al número de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) construidas en el país, de acuerdo con los datos del Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (MMAyA, 2017), este número se eleva a 219 instalaciones, de las cuales tan sólo 106 (el 50,7%) presentan un estado “bueno” o “regular” y dan servicio a un total de 3.006.656 habitantes (el 26,6% de la población nacional). La contaminación de los recursos hídricos, a causa de los desechos humanos sin tratar, es uno de los problemas más complejos a los que se enfrenta la gestión de estos recursos, por el elevado costo y el grado de dificultad tecnológica que supone el tratamiento de las aguas residuales para el cumplimiento de la normativa en vigor en Bolivia (Ley 1333 del Medio Ambiente y Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica), que regula el vertido de aguas residuales en cursos de aguas naturales y suelo. El Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia, en el marco de la Agenda Patriótica 2025 y de los compromisos adquiridos para dar cumplimiento a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS, 2016), ha desarrollado la Estrategia Nacional de Tratamiento de Aguas Residuales (ENTAR), dentro de la cual se contempla la necesidad de elaborar una Guía Nacional, que permita la construcción de proyectos sostenibles para el tratamiento de las aguas residuales, que deben estar bien conceptualizados y adecuarse a la realidad del lugar de construcción, principalmente en lo relacionado con sus condiciones climatológicas y fisiográficas. Con el objeto de apoyar efectivamente el proceso de gestión de proyectos y, de esta manera, facilitar su planificación, diseño, ejecución y supervisión para los gobiernos municipales, organizaciones gestoras y administradoras de los servicios de agua y saneamiento,

instituciones locales de desarrollo, empresas consultoras, constructoras y profesionales del sector en general, nace la presente Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

2.3.2. Ley N° 1333 del Medio Ambiente (27/04/1992) Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica

Tiene por objeto la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población.

- **Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica**

Esta disposición legal de la Ley N°1333 de Medio Ambiente (27/04/1992), confirma en lo referente a la prevención y control de la contaminación hídrica, en el marco del desarrollo sustentable. En este reglamento se especifican:

-La clasificación de los cuerpos de aguas.

-Las atribuciones y competencias de las distintas instituciones.

-Los procedimientos técnico-administrativos de: la inspección y vigilancia; los servicios municipales y cooperativas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado; las descargas de efluentes en cuerpos de aguas y de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado.

-El monitoreo, evaluación, prevención y protección de la calidad hídrica: de la prevención y control de la contaminación y conservación de la calidad hídrica; de los sistemas de tratamiento; de la conservación de las aguas subterráneas; del reúso de aguas; de la contaminación de cuencas de curso sucesivo y de las infracciones y sanciones administrativas.

En este reglamento se especifican los límites de calidad de los cuerpos receptores (Anexo A-1) y los límites permisibles para las descargas líquidas (Anexo A.2).

Con relación a las descargas a la red de alcantarillado el reglamento especifica que: “las descargas de aguas residuales crudas o tratadas a los colectores de alcantarillado sanitario serán aceptables si, a juicio del correspondiente Servicio de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado (EPSA), no interfieran los procesos de tratamiento

de la planta ni perjudiquen a los colectores sanitarios, delegando a las mismas EPSA el establecer los procedimientos legales, técnicos y administrativos, para la disposición de aguas residuales provenientes de las industrias a los sistemas de alcantarillado sanitario”.

Respecto al reúso de aguas, este reglamento en su Capítulo V, Art. 67, establece el reúso de aguas residuales crudas o tratadas por terceros, será autorizado por el Prefecto (actualmente Gobernador), cuando el interesado demuestre que estas aguas satisfacen las condiciones de calidad establecidas en Cuadro N° 1 (pág. 35).

Estas condiciones de calidad se especifican en el apartado 4.11 de la presente guía.

En lo referente a los lodos, el reglamento en su Capítulo V, Art. 68, establece que: los fangos o lodos producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales que hayan sido secados en lagunas de evaporación, lechos de secado o por medios mecánicos, serán analizados y en caso de que satisfagan lo establecido para el uso agrícola, deberán ser estabilizados antes de su uso o disposición final, todo bajo control de la Prefectura (actualmente Gobernación).

2.3.3. Guía para la Elaboración de Procedimientos Técnicos y Administrativos para Descargas de Efluentes Industriales Especiales y Lodos al Alcantarillado Sanitario (2015)

Esta guía se desarrolló para ayudar a las EPSA en la elaboración de sus propios Procedimientos Técnicos y Administrativos (PTA) y para que pudiesen ejercer un control sistematizado sobre las descargas industriales, especiales y lodos al alcantarillado sanitario, planta de tratamiento, o en puntos autorizados para dicho efecto.

La guía está orientada a la difusión y aplicación de conceptos técnicos, criterios de cálculo y procedimientos administrativos específicos, para que toda EPSA a nivel nacional pueda elaborar sus propios procedimientos técnicos y administrativos para las Descargas Industriales, Especiales y Lodos al Alcantarillado Sanitario (DIELAS).

El documento pretende servir de referencia para que el contenido de cada PTA sea al menos el mínimo exigible, tanto a las industrias como a las entidades generadoras de descargas especiales o lodos. Sin embargo, es factible que cada EPSA pueda realizar ajustes, o mejoras de la misma, con relación a su entorno y condiciones de prestación del servicio.

2.3.4. Ley N° 2066, Prestación y Utilización de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (11/03/2000).

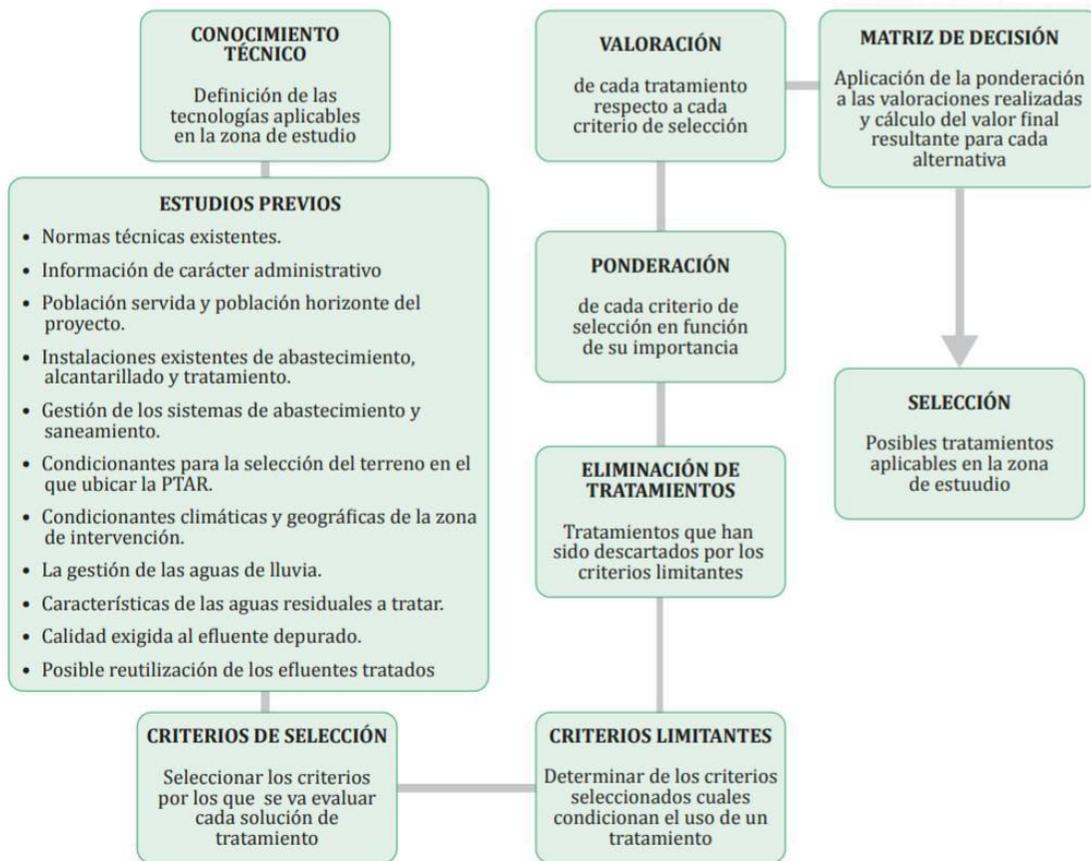
Esta ley, que define los roles institucionales del sector y crea la Superintendencia de Servicios Básicos (reemplazada en el Decreto Supremo 0071 de abril de 2009 por la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico), establece las normas que regulan la prestación y utilización de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario y el marco institucional que los rige, el procedimiento para otorgar concesiones, licencias y registros 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 y sanciones.

CAPÍTULO III

CONSIDERACIONES PARA SELECCIÓN DE UNA PTAR

La “guía técnica para selección de y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales” nos presenta una serie de pasos que debemos seguir, a continuación, se describen los elementos que constituyen un problema de decisión, para posteriormente describir la metodología multicriterio aplicada a la selección de tratamientos de las aguas residuales urbanas.

Fig. 6: Diagrama de la metodología de decisión de propuesta



Fuente: MARN, 2016

3.1. Conocimiento técnico.

Los conocimientos técnicos son vitales para garantizar que las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales sean diseñadas y operadas de manera eficiente, segura y sostenible. Estos conocimientos permiten a los profesionales tomar decisiones informadas, cumplir con regulaciones, optimizar recursos, proteger el medio ambiente y garantizar la calidad del agua tratada. La falta de conocimientos técnicos puede resultar en sistemas ineficientes, costosos y potencialmente peligrosos para la salud pública y el medio ambiente.

Tabla 2: Líneas de tratamiento y sus abreviaturas

Línea de tratamiento	Abreviatura
Pretratamiento + Tanques Imhoff + Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente + Lagunas Facultativas	Línea 1
Pretratamiento + Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente + Lagunas Facultativas	Línea 2
Pretratamiento + Lagunas Anaerobias + Lagunas Facultativas	Línea 3
Pretratamiento + Tanques Imhoff + Humedales Artificiales de Flujo Superficial Horizontal	Línea 4.1
Pretratamiento + Tanques Imhoff + Humedales Artificiales de Flujo Superficial Vertical	Línea 4.2
Pretratamiento + Lombrifiltros	Línea 5
Pretratamiento + Tanques Imhoff + Filtros Percoladores + Sedimentadores Secundarios	Línea 6.1
Pretratamiento + Sedimentadores Primarios + Filtros Percoladores + Sedimentadores Secundarios	Línea 6.2
Pretratamiento + Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente + Filtros Percoladores + Sedimentadores Secundarios	Línea 6.3
Pretratamiento + Tanques Imhoff + Contactores Biológicos Rotativos + Sedimentadores Secundarios	Línea 7.1
Pretratamiento + Sedimentadores Primarios + Contactores Biológicos Rotativos + Sedimentadores Secundarios	Línea 7.2
Pretratamiento + Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente + Contactores Biológicos Rotativos + Sedimentadores Secundarios	Línea 7.3
Pretratamiento + Aireaciones Extendidas + Sedimentadores Secundarios	Línea 8.1
Pretratamiento + Aireaciones Extendidas + Sedimentadores Secundarios + Espesadores de Lodos por Gravedad	Línea 8.2

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

3.2. Estudios previos⁵.

La selección y el diseño de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) vienen condicionados por una serie de factores, que precisan ser conocidos previamente en profundidad, para garantizar que las instalaciones a implementar se adecúan convenientemente a las condiciones reales del entorno y a las características de las aguas a tratar.

3.2.1. Normas técnicas existentes.

La selección y el diseño de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) vienen condicionados por una serie de factores, que precisan ser conocidos previamente en profundidad para garantizar que las instalaciones a implementar se adecúan convenientemente a las condiciones reales del entorno y a las características de las aguas a tratar.

- Ley de Medio Ambiente N° 1333 (27 de abril de 1992).
- Ley N° 031, Ley Marco de Autonomías y Descentralización "Andrés Babiñez" de 19 de Julio de 2010.
- Reglamento Básico de Pre-inversión del Ministerio de Planificación del Desarrollo.
- Reglamento de Presentación de Proyectos de Agua Potable y Saneamiento (RT 001 – RT 002) (septiembre 2004, RM N° 232).
- NB 688. Diseño de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial y Reglamentos Técnicos de Diseño de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial. Viceministerio de Servicios Básicos (junio 2007, RM N° 049).
- NB 689. Instalaciones de Agua - Diseño para Sistemas de Agua Potable y Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable. Viceministerio de Servicios Básicos (diciembre 2007, RM N° 104)
- Guía para la Elaboración de Procedimientos Técnicos y Administrativos para Descargas de Efluentes Industriales, Especiales y Lodos al Alcantarillado Sanitario (AAPS).

⁵ La mayor parte de la información fue sacada de la "guía técnica para selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales".

- Guía Técnica de Diseño y Ejecución de Proyectos de Agua y Saneamiento con Tecnologías Alternativas (diciembre 2010).
- Manuales del Sector de Saneamiento Básico. Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico.
- NB/ISO 5667-10:2019 Calidad del agua – Muestreo – Parte 10: Directrices para el muestreo de aguas residuales (Correspondiente a la norma ISO 5667-10:1992)

3.2.2. Información de carácter administrativo.

Previamente al inicio de la redacción del proyecto de una nueva PTAR, se deberá recopilar toda la información de carácter administrativo y legal, que pueda condicionar la ejecución de las obras.

A este respecto, se deberá tener en cuenta toda la normativa vigente de aplicación, tanto en lo referente a las autorizaciones necesarias para la construcción y operación de las instalaciones de tratamiento y su tramitación ambiental, como a las autorizaciones y normas de calidad a cumplir por los vertidos. Asimismo, se deberá tener en cuenta toda la planificación sectorial y territorial que pueda condicionar las actuaciones de tratamiento de las aguas residuales, destacando los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento y los Planes Territoriales de Desarrollo Integral.

3.2.3. Población servida y población futura.

La determinación de la población servida y de la población horizonte del proyecto constituye un aspecto de importancia capital en el conjunto de la información que debe recopilarse en los estudios previos a llevar a cabo, cuando se plantea una nueva actuación de saneamiento. Siempre que sea posible debe recopilarse información base sobre la población que habita en la localidad o localidades del área de intervención del proyecto, esta información debe abarcar datos sobre la población, tanto en temporada baja como alta.

Para determinar la población futura para el proyecto, es necesario conocer cuál es la posible distribución de la población.

Tabla 3: Métodos para cálculo de la población futura.

Método	Fórmula	Observaciones
Aritmético	$P_f = P_0 \left(1 + \frac{i \cdot t}{100}\right)$	donde: P_f Población futura, en hab P_0 Población inicial, en hab i Índice de crecimiento poblacional anual, en porcentaje t Número de años de estudio o período de diseño, en años L Valor de saturación de la población m Coeficiente a Coeficiente P_0, P_1, P_2 Población correspondiente a los tiempos t_0, t_1 y $t_2 = 2 \cdot t_1$ t_0, t_1, t_2 Tiempo intercensal, en años, correspondiente a la población P_0, P_1, P_2
Geométrico	$P_f = P_0 \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t$	
Exponencial	$P_f = P_0 \cdot e^{\left(\frac{i \cdot t}{100}\right)}$	
Curva logística	$P_f = \frac{L}{1 + m \cdot e^{(a \cdot t)}}$ $L = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}$ $m = \frac{L - P_0}{P_0}$ $a = \frac{1}{t_1} \ln \left[\frac{P_0 (L - P_1)}{P_1 (L - P_0)} \right]$	

Fuente: NB-688

La Norma NB 688 recomienda, en función del tamaño de la población a servir por la nueva PTAR.

Tabla 4: Aplicación de métodos de cálculo para la estimación de la población futura.

Método	Población (hab)			
	Hasta 2 000	De 2 001 a 10 000	De 10 001 a 100 000	> 100 000
Aritmético	X	X		
Geométrico	X	X	X	X
Exponencial		X (2)	X (1)	X
Curva logística				X

Fuente: NB-688

Para la determinación del año horizonte del proyecto, es decir, el año para el que debe preverse el dimensionamiento de la PTAR, en principio, se seguirán las recomendaciones de la Norma NB 688, que establece el año horizonte para las plantas de tratamiento que sirvan a poblaciones menores de 20.000 habitantes (15-20 años) y para poblaciones mayores de 20.000 habitantes, (20-30 años).

Tabla 5: Periodo de diseño (años).

Componentes del sistema	Población menor a 20 000 habitantes	Población mayor a 20 000 habitantes
Interceptores y emisarios	20	30
Plantas de tratamiento	15 a 20	20 a 30
Estaciones de bombeo	20	30
Colectores	20	30
Equipamiento:		
Equipos eléctricos	5 a 10	5 a 10
Equipos de combustión interna	5	5

Fuente: NB-688

2.3.4. Instalaciones existentes de abastecimiento, alcantarillado y tratamiento.

Puesto que las aguas residuales a tratar en la PTAR procederán, en su mayor parte, de las aguas de abastecimiento tras su uso por la población, a la hora de plantearse un nuevo proyecto de tratamiento de las aguas residuales urbanas deben conocerse en profundidad las características de los sistemas de abastecimiento y de alcantarillado existentes en el área de intervención. En el caso del sistema de abastecimiento se analizarán los depósitos de almacenamiento y las redes de distribución, recopilando información sobre su capacidad, su estado de conservación, su nivel de cobertura y las horas y calidad del servicio, dado que todo ello puede condicionar fuertemente las características de las aguas residuales a tratar en la nueva PTAR, e incidir decisivamente en la sostenibilidad de todo el sistema.

- El tipo de alcantarillado sanitario existente (combinado, separado): el tipo de alcantarillado ejerce una gran influencia sobre los caudales y calidades de las aguas residuales a tratar en la PTAR. En el caso de los alcantarillados sanitarios combinados y separados que presenten un elevado número de conexiones erradas, en los momentos de lluvia se producirán fuertes distorsiones en los caudales y características de las aguas residuales que llegan a la PTAR, en comparación con los períodos secos.
- El grado de cobertura de alcantarillado sanitario y pluvial: permite conocer si la red de alcantarillado se extiende por todo el casco urbano al que dará servicio la PTAR o, si por el contrario, aún quedan zonas del mismo en el que no se recogen las aguas residuales generadas por los vecinos.
- El porcentaje de conexión de las viviendas existentes a la red de alcantarillado: permite conocer cuál es la población que realmente está vertiendo sus aguas

residuales a la red de alcantarillado existente. En aquellos casos en los que el saneamiento se construya conjuntamente con la planta de tratamiento, es muy conveniente estimar como se irán produciendo las conexiones de las viviendas a la red. Si las condiciones de funcionamiento de los primeros años de las instalaciones van a estar muy alejadas de las de diseño, será necesario tenerlo en cuenta en aspectos tales como el número de bombas a instalar.

- La previsión de cobertura futura y tasas de conexión hasta el año horizonte del proyecto
- Las conexiones erradas que pueda presentar el alcantarillado: entendidas estas como conexiones domiciliarias de aguas residuales al alcantarillado pluvial, o viceversa, de acuerdo con la definición recogida en la norma NB 688, en el caso de los alcantarillados sanitario separado. El conocer la magnitud de las conexiones erradas permite estimar el grado de dilución y el incremento de caudal que experimentarán las aguas residuales generadas en la población a servir, antes de su llegada a la PTAR.
- Las estaciones de bombeo: el conocimiento de las posibles estaciones de bombeo con las que cuenten las redes de alcantarillado del área de influencia de la PTAR permite evaluar los costos de operación y mantenimiento de estas infraestructuras y determinar si las aguas a tratar precisan ser bombeadas para ser conducidas a la PTAR.

3.2.5. Gestión de los sistemas de abastecimiento y saneamiento.

Es fundamental, antes de proceder a la construcción de una nueva PTAR, asegurar su sostenibilidad a lo largo de toda su vida útil, por lo que en el Informe Técnico de Condiciones Previas (ITCP) del proyecto deben analizarse los siguientes aspectos relacionados con este tema:

- Cuáles serán los costos de construcción, operación y mantenimiento de la línea de tratamiento seleccionada, considerando la vida útil de cada componente, particularmente en el caso de estaciones de bombeo y equipamiento
- Cómo se financiarán estos costos, para lo que debe realizarse un estudio económico-financiero en el que se definan las tarifas/subvenciones necesarias que garanticen el funcionamiento continuo de la instalación de tratamiento. También se deberá

investigar la capacidad económica de la población y su disposición al pago del servicio.

- Cómo se gestionarán los subproductos que se generarán en la instalación de tratamiento, con especial atención a los lodos producidos.
- Cuál es la capacidad de gestión, técnica y económica, de la entidad de la que dependerá la PTAR.
- Se debe consensuar un sistema de gestión que garantice la sostenibilidad del servicio.

3.2.6. Condicionantes para la selección del terreno en el que ubicar la PTAR.

Las características del terreno seleccionado para construir la PTAR y las circunstancias derivadas de su ubicación van a condicionar el proyecto en muchos aspectos como, por ejemplo, las molestias que pueda generar en la población por su cercanía, la sensibilidad ambiental de su entorno y del punto de vertido, la superficie disponible, la topografía, las características geotécnicas, el riesgo de inundación, la accesibilidad o el costo de adquisición, entre otros. Algunas de estas características supondrán un factor limitante en algunos casos y muchas de ellas deberán tenerse en cuenta en la determinación de los costos de inversión y de operación, o en otros factores relevantes como los impactos potenciales que se puedan producir. A continuación, se destacan los factores que más van a condicionar la construcción de las instalaciones y sus costos.

- La superficie disponible para la construcción de la PTAR puede constituir un factor limitante en la consideración de determinados tratamientos, dado que las tecnologías de carácter extensivo tienen mayores requisitos de superficie que las intensivas.
- El costo de los terrenos disponibles para la construcción de la PTAR y la identificación de la necesidad, o no, de realizar expropiaciones o servidumbres, tanto para la propia PTAR, como para la construcción de los emisarios de entrada y salida de la misma. La necesidad de recurrir a expropiaciones o servidumbres es un condicionante que puede alargar en el tiempo el proceso de ejecución de una PTAR.
- La distancia de los terrenos elegidos para la construcción de la PTAR a la red de emisarios existentes y la distancia de estos terrenos hasta los posibles puntos de vertido de las aguas tratadas, pues es un aspecto que influye notablemente el costo final de implementación de la PTAR.

- La topografía del área tributaria, que permitirá determinar la necesidad de recurrir a estaciones de bombeo para llevar las aguas a tratar hasta la PTAR, y/o para evacuar las aguas tratadas hasta el medio receptor.
- La identificación de las vías de acceso a los terrenos seleccionados para la construcción de la PTAR. Para llevar a cabo las necesarias labores de operación y mantenimiento, se precisa el acceso continuo a las instalaciones de tratamiento, por lo que se hacen necesarias vías que permitan este acceso con seguridad y comodidad durante todas las épocas del año. 129 información básica para la redacción de proyectos de Plantas de T
- La identificación de los puntos de conexión a la red eléctrica y a la red de agua potable. Para dotar a las PTAR de la corriente eléctrica necesaria para los propios procesos de depuración, o bien para la iluminación de las instalaciones en horas nocturnas, se precisa conocer los puntos de conexión a la red eléctrica más próximos a los terrenos seleccionados para la implementación de la instalación de tratamiento. Igualmente, es necesario determinar los puntos de conexión a la red de agua potable, para dotar de este servicio necesario a la PTAR. Cuando más lejos se encuentren estos puntos de conexión, más se incrementarán los costos y los posibles efectos ambientales negativos.
- Las características geotécnicas y topográficas de los terrenos seleccionados para la construcción de la PTAR. El conocimiento de estas características es básico a la hora de seleccionar el tipo de tecnología de tratamiento que mejor se adapta a las mismas. Terrenos fáciles de excavar, con suficiente capacidad portante y cuya topografía permita que el agua residual a tratar discurra por gravedad a través de las distintas etapas del proceso de tratamiento, son los que presentarán unas características más favorables para acoger una instalación de tratamiento.
- La determinación del nivel freático. Las condiciones estacionales del nivel freático (época de lluvia y estiaje), en época de lluvias, el nivel freático determina la profundidad de suelo no saturado para pozos de infiltración, el tipo de tratamiento, el tipo de impermeabilizante a emplear e incluso facilidades en la construcción.
- La determinación de los niveles esperados de crecida. La realización de los pertinentes estudios de inundabilidad evitará sorpresas desagradables posteriores, que

son relativamente frecuentes, dado que para que las aguas a tratar discurren por gravedad hasta las PTAR, en ocasiones estas se colocan en zonas afectadas por las crecidas de las masas de agua. Asimismo, debe considerarse la gestión de riesgos de la PTAR, según lo indica el Reglamento de Preinversión vigente.

- Las posibles afecciones ambientales en el entorno. Entre los aspectos relacionados con las posibles afecciones que la construcción de una nueva PTAR pueda ejercer sobre el entorno en que se ubique, cabe destacar:
- La cercanía de los terrenos seleccionados para la construcción de la PTAR a zonas habitadas o a espacios públicos, al objeto de minimizar los posibles impactos negativos relacionados con olores, ruidos y el propio impacto visual, que la construcción del propio sistema de tratamiento pueda acarrear. Deben adecuarse los tratamientos de depuración al entorno, respetándolo.

La posible ubicación de los terrenos elegidos para la construcción de la PTAR en zonas catalogadas como protegidas. En todos los casos, adicionalmente a la evaluación medioambiental establecida en la normativa vigente, se deberá analizar con mayor énfasis el grado de protección medioambiental establecido para las masas de agua en las que vaya a realizarse el vertido de la zona protegida.

3.2.7. Condiciones climáticas y geográficas de la zona de intervención.

Las características climáticas de la zona elegida para la construcción de la futura PTAR ejercen una notable influencia sobre el comportamiento de las diferentes tecnologías de tratamiento disponibles, y pueden llegar a ser un factor limitante para la construcción de algunas de ellas. Esto justifica la importancia de la recopilación, con carácter previo, de la información de las características climatológicas del área de intervención

- La temperatura se constituye en el factor medioambiental que ejerce una mayor influencia en el comportamiento de las diferentes líneas de tratamiento, llegando a convertirse en un factor limitante para aquellas que se basan en procesos anaerobios, por debajo de los 15 °C de las aguas a tratar. En el resto de casos, la temperatura influye directamente en el dimensionamiento de los distintos procesos, repercutiendo en la superficie requerida y, por tanto, en los costos de construcción y de operación y mantenimiento.

- La pluviometría tiene su principal influencia en la alteración de los caudales y concentraciones de las aguas residuales a tratar, en el caso de redes de alcantarillado sanitario combinado o de las de carácter separado que presenten un elevado número de conexiones erradas.
- La influencia de la altitud sobre el comportamiento de las diferentes líneas de tratamiento aún no se conoce con exactitud, y tan sólo en el caso de las Aireaciones Extendidas se dispone de fórmulas para determinar la influencia de este parámetro a la hora de determinar la potencia necesaria de los equipos de aireación. En el caso concreto de esta tecnología, los consumos de energía eléctrica de los equipos de aireación se incrementan notablemente con la altitud del emplazamiento de la PTAR, con la consiguiente elevación de los costos de operación y mantenimiento.

Tabla 6: Características climáticas y altitudes de la zona ecológica boliviana.

Zonas ecológicas	Gradiente altitudinal (m.s.n.m.)	Temperatura			Precipitación media (mm/a)
		Mínima (°C)	Media (°C)	Máxima (°C)	
Altiplano	3.200	-5,6	8,5	18,1	385
Valles	800 - 3.200	2,5	18,6	26,5	857
Llanos	< 800	14,5	25,5	31,2	1.456

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

3.2.8. La gestión de las aguas de lluvia.

En los sistemas de alcantarillado sanitario, y en los de carácter separado en mal estado o con un gran número de conexiones erradas, las aguas de lluvia recogidas en los momentos de alta precipitación originan serios problemas en la operatividad normal de las PTAR, dado que incrementan de forma importante, y súbita, los caudales de aguas a tratar que llegan a las mismas. Además, estas aguas, en estos momentos de lluvia, arrastran una gran cantidad de arenas y otro tipo de sólidos que con el tiempo se han ido depositando en la solera de los colectores y emisarios. A todo ello hay que añadir, que se ha comprobado, que las aguas de lluvia que se recogen en los primeros 20-30 minutos de un periodo de precipitación se encuentran tan contaminadas, o más, que las propias aguas residuales de tipo medio que

habitualmente ingresan a las PTAR, debido al efecto de lavado que estas primeras aguas de lluvias ejercen sobre vías, edificios, vehículos, etc.

3.2.9. Características de las aguas residuales a tratar.

Las PTAR deben dimensionarse para que sean capaces de tratar el caudal y la carga contaminante que se generan en la población (poblaciones) a las que prestan servicio, alcanzado los niveles de calidad de vertido que exija la normativa de aplicación. Para ello se hace preciso, en los estudios previos para la redacción del proyecto de una nueva planta de tratamiento, cuantificar los caudales y características de las aguas a tratar, sus oscilaciones diarias y estacionales y sus posibles perspectivas de crecimiento. Debe tenerse en cuenta, que las aguas residuales a tratar en la futura PTAR pueden tener diferentes orígenes (doméstico, industrial, ganadero, pluvial, etc.). De todos estos posibles orígenes, el doméstico siempre estará presente y el resto lo estará en mayor o menor medida, en función de las propias características de la población servida (actividades industriales y agroindustriales) y del tipo y estado de la red de alcantarillado.

Si se trata de construir una nueva PTAR, y ya se cuenta con el emisario (emisarios) que transportará las aguas residuales hasta la futura planta de tratamiento, será necesario proceder a la realización de las correspondientes campañas de aforo y muestreo, al objeto de poder disponer de la información necesaria para el correcto dimensionamiento de la nueva planta. En la determinación de los caudales y cargas a tratar en las PTAR, debe tenerse también en cuenta los posibles retornos de la Línea de Lodos (sobrenadantes de espesadores, lixiviados de la deshidratación de lodos) y de los tratamientos de desinfección (agua del lavado de los filtros), así como los posibles vertidos de sistemas de recolección de lodos fecales de fosas sépticas y de otros sistemas de tratamiento individual que existen en la zona tributaria (sistemas regulados por la autoridad competente).

Tabla 7: Características de las aguas residuales urbanas.

	Contaminación fuerte	Contaminación media	Contaminación débil
Sólidos en suspensión (mg/L)	350	220	100
DBO ₅ (mg/L)	400	220	110
DQO (mg/L)	1.000	500	250
COT (mg/L)	290	160	80
N _T (mg N/L)	85	40	20
N _{orgánico} (mg N/L)	35	15	8
N _{amoniaco} (mg N/L)	50	25	12
P _T (mg P/L)	15	8	4
P _{orgánico} (mg P/L)	5	3	1
P _{inorgánico} (mg P/L)	10	5	3
Coliformes totales (NMP/100 mL)	10 ⁷ - 10 ⁹	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁶ - 10 ⁷
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	10 ⁶ - 10 ⁸	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁵ - 10 ⁶

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

Para saber los parámetros del agua residual del lugar en estudio, este debe contar con sistema de alcantarillado, para así tomar las muestras correspondientes. En caso de aun no contar con alcantarillado, la guía técnica proporciona una tabla parametrizada de dichos parámetros en base a la población y la zona ecológica.

3.2.10. Calidad exigida al efluente depurado.

La calidad del efluente, que generalmente viene determinada por la normativa vigente y se establece por las autoridades competentes en la autorización de la descarga, es un aspecto básico porque la línea de tratamiento seleccionada debe tener capacidad para alcanzar dicha calidad, partiendo de las características del agua de entrada. Sería un factor impuesto por los objetivos del proyecto que, a su vez, vienen condicionados por el destino de las aguas tratadas y la normativa que regula estos posibles destinos.

Este factor tiene, por tanto, un carácter limitante en todos los casos y por tanto condiciona incluso la selección de alternativas viables. Aquellas líneas de tratamiento que no son capaces de alcanzar los rendimientos necesarios para todos los parámetros que incluye la normativa

correspondiente, no pueden considerarse como soluciones viables y deben ser descartadas. (AECID 2022:75)

Los requisitos exigibles en Bolivia a los efluentes tratados en las PTAR se recogen en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH), que reglamenta la Ley de Medio Ambiente N° 1333 de 27 de abril de 1992, en lo referente a la prevención y control de la contaminación hídrica en el marco del Desarrollo Sostenible. En este Reglamento, en el Cuadro N° A-1, se muestran los Valores Máximos admisibles de parámetros en Cuerpos Receptores. Este cuadro contempla 80 parámetros, para los que se especifican los valores máximos de acuerdo a la clasificación establecida de los cuerpos de agua según su aptitud de uso: clases A, B, C y D, de mayor a menor calidad. Debe hacerse constar que se trata de valores de inmisión, medidos, por tanto, en los cuerpos receptores.

Tabla 8: Valores admisibles (clase D) según el cuadro N° A-1 del RMCH.

Parámetro	Valor máximo
DBO ₅ (mg/L)	<30
DQO (mg/L)	<60
Amoniaco (mg NH ₃ /L)	4
Nitrógeno total (mg N/L)	12
Nitrato (mg NO ₃ /L)	50,0
Nitrito (mg N/L)	1,0
Fosfato total (mg PO ₄ /L)	1,0
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	<5.000 y < 50.000 en el 80% de las muestras

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

Por otro lado, el Artículo 72 del RMCH, recoge que “en tanto sean definidas las Clases a las que hacen referencia los Art. 4, 5, 6 y 7 del presente reglamento, regirán los parámetros y sus respectivos valores límite, incluidos en el Anexo A-2. Una vez determinada la Clase de un determinado cuerpo de agua, se aplicará los criterios de evaluación de impacto ambiental y de adecuación ambiental, en base a los límites establecidos en el Cuadro A-1 -Anexo A- del presente reglamento”.

El Anexo A-2 recoge los límites permisibles para 25 parámetros, de los que los habituales en el diseño de PTAR se muestran en la Tabla 5. Debe hacerse constar que en este caso se trata de valores de emisión, es decir, medidos a la salida de las PTAR.

Tabla 9: Límites permisibles para descargas líquidas según el anexo A-2 del RMCH.

Parámetro	DIARIO	MES
Sólidos en suspensión (mg/L)	60,0	
DBO ₅ (mg/L)	80,0	
DQO (mg/L)	250,0	
Amonio (mg N/L)	4,0	2,0
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1.000	

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales

3.2.11. Posible reutilización de los efluentes tratados.

El reúso de los efluentes depurados puede constituir un objetivo en sí mismo en el planeamiento de las nuevas PTAR a construir. Por ello, se recomienda estudiar en cada caso esta posibilidad, analizando las posibles demandas en el área de influencia de la PTAR, los riesgos potenciales y la viabilidad técnico-económica de implantar un sistema de reúso (realización de un estudio de costo-beneficio). Si se decide reusar el efluente de la nueva PTAR a construir, deben establecerse las características exigidas para el efluente regenerado, en función del uso o los usos a que se vaya a destinar. En este caso, el sistema de depuración debe incorporar los tratamientos necesarios para permitir la regeneración del efluente. Por lo tanto, el proyecto de la PTAR debe definir:

El RMCH recoge, en su Cuadro N° 1, la clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso. Estos usos son:

- USO 1: para abastecimiento doméstico de agua potable después de: a. Sólo una desinfección y ningún tratamiento (Clase A). b. Tratamiento solamente físico y desinfección (Clase B) c. Tratamiento físico-químico completo: coagulación, floculación, filtración y desinfección (Clase C). d. Almacenamiento prolongado o pre sedimentación, seguidos de tratamiento, al igual que c) (Clase D).
- USO 2: para recreación de contacto primario: natación, esquí, inmersión (Clases A, B y C).
- USO 3: para protección de los recursos hidrobiológicos (Clases A, B y C)
- USO 4: para riego de hortalizas consumidas crudas y frutas de cáscara delgada, que sean ingeridas crudas sin remoción de ella (Clases A y B).

- USO 5: para abastecimiento industrial (Clases A, B, C y D).
- USO 6: para la cría natural y/o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana (Clases A, B y C).
- USO 7: para abrevadero de animales (Clases B y C).
- USO 8: para la navegación (Clases B, C y D).

Tabla 10: Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso.

ORDEN	USOS	CLASE A	CLASE B	CLASE C	CLASE D
1	Para abastecimiento doméstico de agua potable después de: a) sólo una desinfección y ningún tratamiento. b) Tratamiento solamente físico y desinfección c) Tratamiento físico – químico, completo: coagulación, floculación, filtración y desinfección. d) Almacenamiento prolongado o presedimentación, seguidos de tratamiento, al igual que c).	SI No necesario No necesario	NO SI No necesario No necesario	NO NO SI No necesario	NO NO NO SI
2	Para recreación de contacto primario: natación, Esquí, inmersión.	SI		SI	NO
3	Para protección de los recursos hidrobiológicos	SI	SI	SI	NO
4	Para riego de hortalizas consumidas crudas y frutas de cáscaras delgada, que sean ingeridas crudas sin remoción de ella.	SI	SI	NO	NO
5	Para abastecimiento industrial	SI	SI	SI	SI
6	Para la cría natural y/o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana	SI	SI	SI	NO
7	Para abrevadero de animales	NO(*)	SI	SI	NO
8	Para la navegación (**)	NO(**)	SI	SI	SI

Fuente: Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica.

3.3. Criterios de selección.

Los criterios de selección recogen los aspectos que condicionan el tratamiento de las aguas residuales y, por tanto, afectan la toma de decisiones en la selección de la Línea de Tratamiento.

3.3.1 Eficacia de remoción.

En lo referente a la calidad exigida a los efluentes tratados, esta constituye un criterio de selección limitante, pues tan sólo serán de aplicación aquellas líneas de tratamiento que cumplan con los requisitos de vertido exigidos en cada situación concreta. Así, en el caso de que por las características del medio receptor se exigiese la eliminación de nutrientes en las aguas tratadas, se limitaría el estudio a las tecnologías capaces de alcanzar los rendimientos de eliminación requeridos para estos contaminantes.

- La calidad exigida a los efluentes tratados.
- La adaptación de la línea de tratamiento al tipo de contaminación de las aguas residuales a tratar.
- El nivel de concentración de materia orgánica en las aguas residuales a tratar.
- La tolerancia de la línea de tratamiento para hacer frente a las variaciones de caudal y carga que experimentan las aguas residuales a tratar, para poder seguir cumpliendo en todo momento con las exigencias de la normativa de vertidos.

Tabla 11: Porcentajes de eliminación de contaminantes para las diferentes líneas de tratamiento.

Línea de tratamiento	SS (%)	DBO ₅ (%)	DQO (%)	N _T (%)	P _T (%)	Coliformes fecales (u. log.)
Línea 1	70 - 80	75 - 85	70 - 80	10 - 25	10 - 15	2 - 3
Línea 2	70 - 80	80 - 90	75 - 85	10 - 25	10 - 15	2 - 3
Línea 3	70 - 80	75 - 85	70 - 80	20 - 30	10 - 15	2 - 3
Línea 4.1	90 - 95	90 - 95	80 - 90	20 - 35	20 - 35	1 - 2
Línea 4.2	90 - 95	90 - 95	80 - 90	20 - 35	20 - 35	1 - 2
Línea 5	85 - 95	85 - 95	80 - 90	15 - 20	10 - 30	1 - 2
Línea 6.1	85 - 95	85 - 90	80 - 85	20 - 35	20 - 30	1
Línea 6.2	85 - 95	85 - 90	80 - 85	20 - 35	20 - 30	1
Línea 6.3	85 - 95	85 - 90	80 - 85	20 - 35	10 - 20	1
Línea 7.1	85 - 95	85 - 90	80 - 85	20 - 35	20 - 30	1
Línea 7.2	85 - 95	85 - 90	80 - 85	20 - 35	20 - 30	1
Línea 7.3	85 - 95	85 - 90	80 - 85	20 - 35	10 - 20	1
Línea 8.1	85 - 95	85 - 95	80 - 90	80 - 85	20 - 30	1
Línea 8.2	85 - 95	85 - 95	80 - 90	80 - 85	20 - 30	1

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales

En lo referente al comportamiento de las líneas de tratamiento en función del nivel de concentración de materia orgánica de las aguas residuales, de forma generalizada, las tecnologías de carácter extensivo se comportan mejor para el tratamiento de aguas residuales diluidas que las de carácter intensivo y, dentro de estas, las de biomasa adherida presentan un mejor comportamiento que las de biomasa en suspensión.

Tabla 12: Comportamiento de las líneas de tratamiento en función del nivel de concentración de las aguas residuales a tratar.

Tipo de agua residual	Línea de tratamiento		
	Muy adecuada	Adecuada	Menos adecuada
Contaminación fuerte (500-700 mg/L de DBO ₅)	Línea 8.1 / Línea 8.2 / Línea 2 / Línea 6.3 / Línea 7.3	Línea 4.2 / Línea 5 / Línea 1 / Línea 6.1 / Línea 6.2 / Línea 7.1 / Línea 7.2	Línea 3 / Línea 4.1
Contaminación media (300-500 mg/L de DBO ₅)	Todos las líneas de tratamiento son adecuadas		
Contaminación débil (< 150 mg/L de DBO ₅)	Línea 3 / Línea 4.1 / Línea 4.2 / Línea 5 / Línea 6.1 / Línea 6.2 / Línea 7.1 / Línea 7.2	Línea 1	Línea 8.1 / Línea 8.2 / Línea 2 / Línea 6.3 / Línea 7.3

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales

Por último, en la referente a la tolerancia de las líneas de tratamiento para hacer frente a las variaciones de caudal y carga que experimentan las aguas residuales, existen líneas que toleran mejor que otras estas variaciones.

Tabla 13: Tolerancia de las líneas de tratamiento a las variaciones de caudal y carga de las aguas a tratar.

	Respuesta a variaciones de caudal	Respuesta a variaciones de carga
Muy buena	Línea 3 / Línea 4.1	Línea 8.1 / Línea 8.2 / Línea 3 / Línea 2 / Línea 6.3 / Línea 7.3
Buena	Línea 4.2 / Línea 8.1 / Línea 8.2	Línea 6.1 / Línea 6.2 / Línea 1 / Línea 7.1 / Línea 7.2
Regular	Línea 6.1 ¹ / Línea 6.2 ¹ / Línea 1 / Línea 5 / Línea 7.1 / Línea 7.2 / Línea 2 / Línea 6.3 ¹ / Línea 7.3	Línea 4.1 / Línea 4.2 / Línea 5

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

3.3.2. Terrenos disponibles.

La selección del terreno en el que se construirá la futura PTAR constituye un aspecto de suma importancia, dado que una buena elección del terreno lleva aparejada una disminución de los costos de inversión y, especialmente, de los de operación. Influyendo en ello, tanto la superficie disponible de terreno, como sus características constructivas.

En lo referente a la superficie disponible, esta puede constituir un factor limitante para la selección de una línea de tratamiento u otra, pues la escasa disponibilidad de terreno y/o su elevado costo, condicionan la factibilidad de la construcción de tecnologías de tratamiento de carácter extensivo.

En lo referente a las características constructivas de los terrenos disponibles para la construcción de la PTAR, la topografía, la geotecnia y la profundidad del nivel freático, pueden llegar a ser criterios limitantes para la selección de una u otra línea de tratamiento. Si bien, las posibles deficiencias del terreno, en lo concerniente a sus características constructivas, en determinadas situaciones pueden tener solución incrementando los costos de construcción de la PTAR, en determinados casos estos incrementos de costos pueden ser tan elevados que invaliden la opción de algunas de las líneas de tratamiento.

Tabla 14: Estimación de la superficie necesaria para las diferentes líneas de tratamiento consideradas.

Línea de tratamiento	Zona ecológica	Partidas	Habitantes					
			1.000 habitantes	2.000 habitantes	5.000 habitantes	10.000 habitantes	25.000 habitantes	50.000 habitantes
			Requisitos de superficie (m ² /habitante)					
Línea 1	Valles	Línea de agua	2,44	1,96	-	-	-	-
		Línea de lodos	0,19	0,22	-	-	-	-
		Desinfección	2,06	1,80	-	-	-	-
		Superficie total	4,69	3,98	-	-	-	-
	Llanos	Línea de agua	1,90	1,51	-	-	-	-
		Línea de lodos	0,19	0,22	-	-	-	-
Desinfección		1,56	1,36	-	-	-	-	
Superficie total	3,65	3,09	-	-	-	-		
Línea 2	Valles	Línea de agua	2,64	2,36	1,95	1,80	1,70	1,96
		Línea de lodos	0,09	0,09	0,09	0,09	0,12	0,14
		Desinfección	2,06	1,80	1,57	1,53	1,63	1,91
		Superficie total	4,79	4,25	3,61	3,42	3,45	4,01
	Llanos	Línea de agua	1,88	1,65	1,37	1,33	1,33	1,50
		Línea de lodos	0,09	0,09	0,09	0,09	0,12	0,14
Desinfección		1,56	1,36	1,14	1,12	1,09	1,29	
Superficie total	3,53	3,10	2,60	2,54	2,54	2,93		
Línea 3	Altiplano	Línea de agua	4,10	4,43	5,05	5,40	5,04	5,68
		Línea de lodos	0,11	0,12	0,12	0,16	0,17	0,19
		Desinfección	1,84	1,76	1,59	1,70	1,61	1,73
		Superficie total	6,05	6,31	6,76	7,26	6,82	7,60
	Valles	Línea de agua	3,27	3,27	2,99	3,02	3,18	3,45
		Línea de lodos	0,14	0,15	0,16	0,18	0,17	0,21
		Desinfección	1,18	0,99	0,84	0,82	0,88	1,06
	Superficie total	4,59	4,41	3,99	4,02	4,23	4,72	
	Llanos	Línea de agua	1,72	1,61	1,39	1,33	1,45	1,48
Línea de lodos		0,14	0,15	0,16	0,18	0,17	0,21	
Desinfección		0,97	0,80	0,65	0,63	0,62	0,74	
Superficie total	2,83	2,56	2,20	2,14	2,24	2,43		
Línea 4.1	Altiplano	Línea de agua	1,86	2,06	2,27	-	-	-
		Línea de lodos	0,11	0,12	0,13	-	-	-
		Desinfección	0,091	0,050	0,024	-	-	-
		Superficie total	2,06	2,23	2,41	-	-	-
	Valles	Línea de agua	1,90	2,03	2,04	-	-	-
		Línea de lodos	0,14	0,15	0,16	-	-	-
		Desinfección	0,096	0,053	0,026	-	-	-
	Superficie total	2,14	2,23	2,23	-	-	-	
	Llanos	Línea de agua	1,46	1,69	1,66	-	-	-
Línea de lodos		0,14	0,15	0,16	-	-	-	
Desinfección		0,097	0,055	0,027	-	-	-	
Superficie total	1,70	1,90	1,85	-	-	-		

Línea de tratamiento	Zona ecológica	Partidas	Habitantes					
			1.000 habitantes	2.000 habitantes	5.000 habitantes	10.000 habitantes	25.000 habitantes	50.000 habitantes
			Requisitos de superficie (m ² /habitante)					
Línea 4.2	Altiplano	Línea de agua	1,18	1,45	1,52	-	-	-
		Línea de lodos	0,11	0,12	0,13	-	-	-
		Desinfección	0,091	0,050	0,024	-	-	-
		Superficie total	1,38	1,62	1,67	-	-	-
	Valles	Línea de agua	1,15	1,18	1,27	-	-	-
		Línea de lodos	0,14	0,15	0,16	-	-	-
		Desinfección	0,096	0,053	0,026	-	-	-
		Superficie total	1,39	1,38	1,46	-	-	-
	Llanos	Línea de agua	0,90	0,92	0,85	-	-	-
Línea de lodos		0,14	0,15	0,16	-	-	-	
Desinfección		0,097	0,055	0,027	-	-	-	
Superficie total		1,14	1,13	1,04	-	-	-	
Línea 5	Altiplano	Línea de agua	0,67	0,55	0,45	-	-	-
		Línea de lodos	-	-	-	-	-	-
		Desinfección	0,091	0,050	0,024	-	-	-
		Superficie total	0,76	0,60	0,47	-	-	-
	Valles	Línea de agua	0,81	0,65	0,52	-	-	-
		Línea de lodos	-	-	-	-	-	-
		Desinfección	0,096	0,053	0,026	-	-	-
		Superficie total	0,91	0,70	0,55	-	-	-
	Llanos	Línea de agua	0,79	0,65	0,52	-	-	-
Línea de lodos		-	-	-	-	-	-	
Desinfección		0,097	0,055	0,027	-	-	-	
Superficie total		0,89	0,71	0,55	-	-	-	
Líneas 6.1 y 6.2 (soporte plástico)	Altiplano	Línea de agua	0,50	0,34	0,21	0,23	0,14	0,12
		Línea de lodos	0,17	0,21	0,22	0,24	0,19	0,23
		Desinfección	0,091	0,050	0,024	0,015	0,008	0,007
		Superficie total	0,76	0,60	0,45	0,49	0,34	0,36
Líneas 6.1 y 6.2 (soporte áridos)	Altiplano	Línea de agua	0,60	0,43	0,29	0,32	0,21	0,18
		Línea de lodos	0,17	0,21	0,22	0,24	0,19	0,23
		Desinfección	0,091	0,050	0,024	0,015	0,008	0,007
		Superficie total	0,86	0,69	0,53	0,58	0,48	0,42
Línea 6.3 (soporte áridos)	Valles	Línea de agua	0,45	0,28	0,16	0,12	0,11	0,09
		Línea de lodos	0,11	0,11	0,11	0,12	0,15	0,15
		Desinfección	0,096	0,053	0,026	0,016	0,009	0,007
		Superficie total	0,66	0,44	0,30	0,26	0,27	0,25
	Llanos	Línea de agua	0,42	0,26	0,15	0,11	0,11	0,09
		Línea de lodos	0,11	0,11	0,11	0,12	0,15	0,15
		Desinfección	0,097	0,055	0,027	0,017	0,010	0,008
		Superficie total	0,63	0,43	0,29	0,25	0,27	0,25

Línea de tratamiento	Zona ecológica	Partidas	Habitantes					
			1.000 habitantes	2.000 habitantes	5.000 habitantes	10.000 habitantes	25.000 habitantes	50.000 habitantes
			Requisitos de superficie (m ² /habitante)					
Línea 6.3 (soporte áridos)	Valles	Línea de agua	0,51	0,34	0,21	0,16	0,12	0,13
		Línea de lodos	0,11	0,11	0,11	0,12	0,15	0,15
		Desinfección	0,096	0,053	0,026	0,016	0,009	0,007
		Superficie total	0,72	0,50	0,35	0,30	0,28	0,29
	Llanos	Línea de agua	0,44	0,28	0,16	0,11	0,11	0,09
		Línea de lodos	0,11	0,11	0,11	0,12	0,15	0,15
Desinfección		0,097	0,055	0,027	0,017	0,010	0,008	
	Superficie total	0,65	0,45	0,30	0,25	0,27	0,25	
Líneas 7.1 y 7.2	Altiplano	Línea de agua	0,47	0,30	0,19	0,15	0,11	0,12
		Línea de lodos	0,17	0,21	0,22	0,24	0,19	0,23
		Desinfección	0,091	0,050	0,024	0,015	0,008	0,007
		Superficie total	0,73	0,56	0,43	0,41	0,31	0,36
Línea 7.3	Valles	Línea de agua	0,47	0,29	0,16	0,12	0,10	0,09
		Línea de lodos	0,11	0,11	0,11	0,12	0,15	0,15
		Desinfección	0,096	0,053	0,026	0,016	0,009	0,007
		Superficie total	0,68	0,45	0,30	0,26	0,26	0,25
	Llanos	Línea de agua	0,49	0,28	0,15	0,11	0,10	0,09
		Línea de lodos	0,11	0,11	0,11	0,12	0,15	0,15
Desinfección		0,097	0,055	0,027	0,017	0,010	0,008	
	Superficie total	0,70	0,45	0,29	0,25	0,26	0,25	
Línea 8.1	Altiplano	Línea de agua	0,52	0,38	0,26	0,22	-	-
		Línea de lodos	0,17	0,21	0,22	0,24	-	-
		Desinfección	0,091	0,050	0,024	0,015	-	-
		Superficie total	0,78	0,64	0,50	0,48	-	-
	Valles	Línea de agua	0,52	0,36	0,23	0,18	-	-
		Línea de lodos	0,23	0,26	0,26	0,29	-	-
		Desinfección	0,096	0,053	0,026	0,016	-	-
		Superficie total	0,94	0,81	0,66	0,63	-	-
	Llanos	Línea de agua	0,50	0,35	0,22	0,18	-	-
		Línea de lodos	0,23	0,26	0,26	0,29	-	-
		Desinfección	0,097	0,055	0,027	0,017	-	-
		Superficie total	0,83	0,67	0,51	0,49	-	-
Línea 8.2	Altiplano	Línea de agua	-	-	-	-	0,18	0,17
		Línea de lodos	-	-	-	-	0,15	0,15
		Desinfección	-	-	-	-	0,008	0,007
		Superficie total	-	-	-	-	0,34	0,33
	Valles	Línea de agua	-	-	-	-	0,14	0,13
		Línea de lodos	-	-	-	-	0,16	0,17
		Desinfección	-	-	-	-	0,009	0,007
		Superficie total	-	-	-	-	0,31	0,31
	Llanos	Línea de agua	-	-	-	-	0,13	0,13
		Línea de lodos	-	-	-	-	0,16	0,17
		Desinfección	-	-	-	-	0,010	0,008
		Superficie total	-	-	-	-	0,30	0,31

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

3.3.3. Aceptación social.

Los proyectos públicos, y sobre todo aquellos con una fuerte componente ambiental (caso de la construcción de una PTAR), requieren de un proceso de participación pública. Esta participación resulta de gran utilidad desde varias perspectivas, dado que se obtiene un mejor conocimiento del sector, se adquiere un mayor compromiso de las partes interesadas, se dota al proceso de mayor transparencia, se contribuye a la resolución de conflictos y se genera un mayor grado de conocimiento y concienciación.

- Aceptación por parte de la población. La población donde se va a implantar la depuradora debe conocer el proyecto y las alternativas que se están planteando, con el fin de que esté informada y pueda sensibilizarse y concienciarse de la necesidad de dichas infraestructuras. En este proceso de participación pública, la población afectada debe tener la posibilidad de manifestar su opinión y sus intereses.
- Aceptación por parte de la entidad que va a gestionar el sistema de tratamiento. También, es muy importante conocer y evaluar adecuadamente las opiniones de los responsables de la entidad que vaya a gestionar el sistema de depuración, pudiendo estos llegar a manifestar su rechazo ante determinadas tecnologías, por lo que este factor podría llegar, en casos extremos, a ser limitante, o al menos obligar a tenerse también en consideración en el proceso de selección.

3.3.4. Características ambientales.

La temperatura se constituye en el factor medioambiental que ejerce una mayor influencia en el comportamiento de las diferentes líneas de tratamiento, llegando a convertirse en un factor limitante para aquellas que se basan en procesos anaerobios, por debajo de los 15 °C de las aguas a tratar. En el resto de casos, la temperatura influye directamente en el dimensionamiento de los distintos procesos, repercutiendo en la superficie requerida y, por tanto, en los costos de construcción y de operación y mantenimiento. Esta influencia se puede observar, de un modo orientativo, en las comparativas realizadas por tecnología y piso ecológico

La pluviometría tiene su principal influencia en la alteración de los caudales y concentraciones de las aguas residuales a tratar, en el caso de redes de alcantarillado

sanitario combinado o de las de carácter separado que presenten un elevado número de conexiones erradas.

La influencia de la altitud sobre el comportamiento de las diferentes líneas de tratamiento aún no se conoce con exactitud, y tan sólo en el caso de las Aireaciones Extendidas se dispone de fórmulas para determinar la influencia de este parámetro a la hora de determinar la potencia necesaria de los equipos de aireación. En el caso concreto de esta tecnología, los consumos de energía eléctrica de los equipos de aireación se incrementan notablemente con la altitud del emplazamiento de la PTAR, con la consiguiente elevación de los costos de operación y mantenimiento.

3.3.5. Impactos ambientales.

Dentro de estos impactos debe analizarse: la producción de malos olores, la emisión de gases de efecto invernadero, la generación de ruidos, así como el posible impacto visual que la construcción de una nueva PTAR puede conllevar.

La producción de malos olores puede darse en todas las líneas de tratamiento en la obra de llegada (bien porque las aguas ingresen a la PTAR con un elevado grado de septicidad, o porque porten vertidos industriales), y en el pretratamiento (por una mala gestión de los residuos que se generan en esta etapa).

Tabla 15: Riesgo de emisión de malos olores en las diferentes líneas de tratamiento.

Riesgo de emisión de malos olores	Línea de tratamiento
Alto	Línea 1 / Línea 2 / Línea 6.3 / Línea 7.3 / Línea 3
Medio	Línea 7.1 / Línea 7.2 / Línea 6.1 / Línea 6.2 / Línea 4.1 / Línea 4.2 / Línea 5
Bajo	Línea 8.1 / Línea 8.2

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

- En las PTAR la generación de ruidos se asocia al funcionamiento de los equipos electromecánicos (turbinas, soplantes, bombas, etc.), que precisan para su operación. Por ello, las líneas de tratamiento que pueden funcionar sin estos equipos, o con requisitos muy bajos para las potencias instaladas, ejercerán un impacto sonoro nulo, o muy reducido en su entorno.

Al igual que en el caso de los olores, la importancia de la generación de ruidos dependerá de lo cerca que se encuentren las zonas habitadas del lugar en el que se vaya a implantar la PTAR. En casos especialmente críticos al respecto, se podría plantear el aislamiento acústico de determinadas zonas de la planta de tratamiento para reducir los impactos sonoros. Este aspecto debe tenerse también en cuenta en los requerimientos de salud y seguridad para los propios trabajadores de la PTAR.

Tabla 16: Riesgo de emisión de ruidos en las diferentes líneas de tratamiento.

Riesgo de emisión de ruidos	Línea de tratamiento
Alto	Línea 8.1 / Línea 8.2
Medio	Línea 7.1 / Línea 7.2 / Línea 6.1 / Línea 6.2 / Líneas 7.3 / Línea 6.3 / Línea 5
Bajo	Línea 1 ¹ / Línea 2 / Línea 4.2 ¹ / Línea 4.1. / Línea 3

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

- En entornos de elevado valor medioambiental o paisajístico, el impacto visual que conlleva la construcción de una nueva PTAR deberá también analizarse. En este sentido las líneas de tratamiento basadas en Tecnologías Extensivas (Lagunas de Estabilización, Humedales Artificiales) suelen presentar una mejor integración ambiental y un impacto visual positivo. El impacto visual del resto de los tratamientos vendrá condicionado por la posibilidad de que pueden disponerse enterrados o semienterrados, en lugar de elevados sobre el suelo.

Tabla 17: Grado de integración ambiental de las diferentes líneas de tratamiento.

Grado de integración paisajística	Línea de tratamiento
Buena	Línea 3 / Línea 4.1 / Línea 4.2 / Línea 5 ¹
Moderada	Línea 8.1 / Línea 8.2 / Línea 7.1 / Línea 7.2 / Línea 7.3 / Línea 1 / Línea 2 ²
Complicada	Línea 6.1 / Línea 6.2 / Línea 6.3

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

3.3.6. Generación de lodos.

La generación de lodos en las distintas líneas de tratamiento debe analizarse, tanto desde el punto de vista de la cantidad que se genera de estos subproductos, como desde el grado de estabilidad que se alcanza en los mismos. La cantidad de lodos generados en el proceso de depuración va a tener una repercusión directa en los costos del transporte de estos subproductos hasta el lugar de su disposición final. Por su parte, el grado de estabilidad que presenten los lodos condiciona las posibilidades de su valorización.

Tabla 18: Generación de lodos en las diferentes líneas de tratamiento.

Línea de tratamiento	Zona ecológica	Habitantes					
		1.000 habitantes	2.000 habitantes	5.000 habitantes	10.000 habitantes	25.000 habitantes	50.000 habitantes
		Generación de lodos (m ³ /año)					
Línea 1	Valles y Llanos	25	60	-	-	-	-
Línea 2	Valles y Llanos	10	24	63	135	447	1.004
Línea 3	Altiplano	7	15	48	112	295	669
	Valles y Llanos	9	22	59	125	329	736
Línea 4.1	Altiplano	13	33	92	-	-	-
	Valles y Llanos	18	43	113	-	-	-
Línea 4.2	Altiplano	13	33	92	-	-	-
	Valles y Llanos	18	43	113	-	-	-
Línea 5 ¹	Altiplano	29	75	229	-	-	-
	Valles	43	100	286	-	-	-
	Llanos	41	100	281	-	-	-
Líneas 6.1 y 6.2	Altiplano	23	58	162	378	1.019	2.342
Línea 6.3	Valles y Llanos	13	30	78	168	535	1.198
Líneas 7.1 y 7.2	Altiplano	23	58	162	378	1.019	2.342
Línea 7.3	Valles y Llanos	13	30	78	168	535	1.198
Líneas 8.1 y 8,2	Altiplano	24	61	170	398	1.043	2.366
	Valles y Llanos	33	80	209	445	1.162	2.604

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

La frecuencia y el mecanismo de retirada de lodos pueden ser factores importantes a tener en cuenta en el proceso de selección. Por ejemplo, en el caso de las Lagunas de Estabilización, en las que la extracción de lodos se lleva a cada varios años, esto podría llegar a suponer un impedimento, puesto que es más fácil colocar, para una aplicación al terreno, poco lodo extraído con mucha frecuencia, que mucho lodo extraído con poca frecuencia. Además, si no se dispone de bombas para la extracción de los lodos acumulados en el fondo de las lagunas, su retirada va a conllevar la complicación añadida de tener que parar la laguna un tiempo, circunstancia que tendrá que preverse a la hora del diseño de la PTAR.

3.3.7. Operación y mantenimiento.

En este criterio de selección deben analizarse en profundidad tanto los requerimientos de personal, con la cualificación técnica suficiente para afrontar las labores de operación y mantenimiento que requiera la instalación de tratamiento para su correcto funcionamiento, como la facilidad para disponer de las piezas y equipos de repuesto cuando sea preciso, así como del servicio técnico en aquellas tecnologías que lo requieran.

En lo que atañe a los requerimientos de personal cualificado, estos, y las horas de dedicación de este personal, irán en consonancia con el grado de complejidad de la línea de tratamiento que se implante, siendo bajos en el caso de las tecnologías de carácter extensivo, e incrementándose en las intensivas, al contar estas con equipos electromecánicos para su funcionamiento. La complejidad de cada tratamiento, asociada a las labores de operación y mantenimiento y a la necesidad de disponer del personal adecuado, es un factor clave en el proceso de selección del tratamiento más adecuado. Además, no debe olvidarse que esta cualificación y dedicación repercuten directamente en los costos de operación y mantenimiento. La importancia de este criterio dependerá de la capacidad técnica y del tipo de personal de que disponga la entidad que va a operar el sistema. Si la operación la va a llevar una entidad con experiencia al respecto, existe una mayor garantía de que la operación de cualquier tipo de tecnología se va a llevar a cabo adecuadamente.

Tabla 19: Clasificación de las diferentes líneas de tratamiento en función de la complejidad de operación y mantenimiento.

Complejidad	Líneas de tratamiento
Muy baja	Línea 3/Línea 1/ Línea 4.1
Baja	Línea 4.2/Línea 5
Media	Línea 2 / Línea 6.1 / Línea 6.2 / Línea 7.1 / Línea 7.2 / Línea 6.3 / Línea 7.3
Alta	Línea 8.1 / Línea 8.2

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

3.3.8. Costos de construcción y de operación y mantenimiento.

En muchas ocasiones, en la inversión inicial se cuenta con subvenciones y apoyo financiero, algo que no suele pasar para la operación y mantenimiento de la PTAR, y es este otro motivo por el que estos costos adquieren más relevancia que los de construcción. Como consecuencia de esto es necesario, de cara al análisis de costos, que se conozca la capacidad económica y de gestión del prestador del servicio, la capacidad de pago de la población y la existencia o no de mecanismos tarifarios, u otros, para financiar la operación del saneamiento de las aguas residuales. Dentro de estos criterios de decisión debe analizarse también la disponibilidad presupuestaria para afrontar la ejecución del proyecto constructivo de la PTAR.

Tabla 20: Costos de construcción de las distintas líneas de tratamiento.

Líneas de tratamiento	Zonas ecológicas	Unidades	Habitantes					
			1.000	2.000	5.000	10.000	25.000	50.000
			Costos de construcción (Bs/hab)					
Línea 1	Valles	Línea de agua	1.287	1.105	-	-	-	-
		Línea de lodos	363	375	-	-	-	-
		Desinfección	368	282	-	-	-	-
		Costo total de construcción	2.018	1.762	-	-	-	-
	Llanos	Línea de agua	1.159	1.000	-	-	-	-
		Línea de lodos	363	375	-	-	-	-
Desinfección		319	241	-	-	-	-	
Costo total de construcción	1.841	1.616	-	-	-	-		
Línea 2	Valles	Línea de agua	1.058	844	672	591	587	644
		Línea de lodos	190	177	157	152	191	213
		Desinfección	368	282	214	188	180	218
		Costo total de construcción	1.616	1.303	1.043	931	958	1.075
	Llanos	Línea de agua	878	698	540	481	486	514
		Línea de lodos	190	177	157	152	191	213
Desinfección		319	241	163	145	130	143	
Costo total de construcción	1.387	1.116	860	778	807	870		
Línea 3	Altiplano	Línea de agua	832	766	704	705	713	748
		Línea de lodos	221	219	210	236	241	269
		Desinfección	351	286	218	202	171	172
		Costo total de construcción	1.404	1.271	1.132	1.143	1.125	1.189
	Valles	Línea de agua	705	600	477	439	463	466
		Línea de lodos	280	271	259	260	266	296
		Desinfección	252	183	130	107	96	118
	Costo total de construcción	1.237	1.054	866	806	825	880	
	Llanos	Línea de agua	457	353	254	218	252	232
Línea de lodos		280	271	259	260	266	296	
Desinfección		230	167	107	90	75	79	
Costo total de construcción		967	791	620	568	593	607	

Líneas de tratamiento	Zonas ecológicas	Unidades	Habitantes					
			1.000	2.000	5.000	10.000	25.000	50.000
			Costos de construcción (Bs/hab)					
Línea 4.1	Altiplano	Línea de agua	828	663	535	-	-	-
		Línea de lodos	255	247	237	-	-	-
		Desinfección sin filtrado	41	26	17	-	-	-
		Desinfección con filtrado	66	48	35	-	-	-
		Costo total de construcción	1.124	936	789	-	-	-
	Valles	Línea de agua	783	600	458	-	-	-
		Línea de lodos	321	304	294	-	-	-
		Desinfección sin filtrado	46	31	19	-	-	-
		Desinfección con filtrado	77	58	43	-	-	-
Costo total de construcción	1.150	935	771	-	-	-		
Llanos	Línea de agua	670	504	371	-	-	-	
	Línea de lodos	321	304	294	-	-	-	
	Desinfección sin filtrado	47	32	20	-	-	-	
	Desinfección con filtrado	76	59	45	-	-	-	
	Costo total de construcción	1.038	840	685	-	-	-	
Línea 4.2	Altiplano	Línea de agua	722	560	415	-	-	-
		Línea de lodos	255	247	237	-	-	-
		Desinfección sin filtrado	41	26	17	-	-	-
		Desinfección con filtrado	66	48	35	-	-	-
		Costo total de construcción	1.018	833	669	-	-	-
	Valles	Línea de agua	684	486	350	-	-	-
		Línea de lodos	321	304	294	-	-	-
		Desinfección sin filtrado	46	31	19	-	-	-
		Desinfección con filtrado	77	58	43	-	-	-
Costo total de construcción	1.051	821	663	-	-	-		
Llanos	Línea de agua	605	413	273	-	-	-	
	Línea de lodos	321	304	294	-	-	-	
	Desinfección sin filtrado	47	32	20	-	-	-	
	Desinfección con filtrado	76	59	45	-	-	-	
	Costo total de construcción	973	749	587	-	-	-	
Línea 5	Altiplano	Línea de agua	1.537	1.336	1.167	-	-	-
		Línea de lodos	-	-	-	-	-	-
		Desinfección sin filtrado	41	26	17	-	-	-
		Desinfección con filtrado	66	48	35	-	-	-
		Costo total de construcción	1.578	1.362	1.184	-	-	-
	Valles	Línea de agua	1.891	1.607	1.378	-	-	-
		Línea de lodos	-	-	-	-	-	-
		Desinfección sin filtrado	46	31	19	-	-	-
		Desinfección con filtrado	77	58	43	-	-	-
Costo total de construcción	1.937	1.638	1.397	-	-	-		
Llanos	Línea de agua	1.827	1.601	1.358	-	-	-	
	Línea de lodos	-	-	-	-	-	-	
	Desinfección sin filtrado	47	32	20	-	-	-	
	Desinfección con filtrado	76	59	45	-	-	-	
	Costo total de construcción	1.874	1.633	1.378	-	-	-	

Líneas de tratamiento	Zonas ecológicas	Unidades	Habitantes					
			1.000	2.000	5.000	10.000	25.000	50.000
			Costos de construcción (Bs/hab)					
Líneas 6.1 y 6.2 (soporte plástico)	Altiplano	Línea de agua	1.661	1.313	928	823	589	581
		Línea de lodos	336	365	366	408	227	257
		Desinfección sin filtrado	41	26	17	13	12	12
		Desinfección con filtrado	66	48	35	34	33	39
		Costo total de construcción	2.038	1.704	1.311	1.244	828	850
Líneas 6.1 y 6.2 (soporte áridos)	Altiplano	Línea de agua	1.715	1.374	979	877	638	637
		Línea de lodos	336	365	366	408	257	277
		Desinfección sin filtrado	41	26	17	13	12	12
		Desinfección con filtrado	66	48	35	34	33	39
		Costo total de construcción	2.092	1.765	1.362	1.298	907	926
Línea 6.3 (soporte plástico)	Valles	Línea de agua	1.499	1.105	797	652	625	641
		Línea de lodos	221	208	187	188	229	252
		Desinfección sin filtrado	46	31	19	16	14	15
		Desinfección con filtrado	77	58	43	41	40	47
		Costo total de construcción	1.766	1.344	1.003	856	868	908
	Llanos	Línea de agua	1.347	995	695	568	540	533
		Línea de lodos	221	208	187	188	229	252
		Desinfección sin filtrado	47	32	20	20	16	17
		Desinfección con filtrado	77	59	45	43	43	47
		Costo total de construcción	1.615	1.235	902	776	785	802
Línea 6.3 (soporte áridos)	Valles	Línea de agua	1.578	1.176	851	699	663	683
		Línea de lodos	221	208	187	189	229	252
		Desinfección sin filtrado	46	31	19	16	14	15
		Desinfección con filtrado	77	58	43	41	40	47
		Costo total de construcción	1.845	1.415	1.057	960	906	950
	Llanos	Línea de agua	1.356	1.005	702	574	544	536
		Línea de lodos	221	208	187	189	229	252
		Desinfección sin filtrado	47	32	20	20	16	17
		Desinfección con filtrado	77	59	45	43	43	47
		Costo total de construcción	1.624	1.245	909	783	789	805
Líneas 7.1 y 7.2	Altiplano	Línea de agua	1.578	1.399	1.129	1.037	894	925
		Línea de lodos	336	365	366	408	257	277
		Desinfección sin filtrado	41	26	17	13	12	12
		Desinfección con filtrado	66	48	35	34	33	39
		Costo total de construcción	1.955	1.790	1.512	1.458	1.163	1.214
Línea 7.3	Valles	Línea de agua	1.461	1.087	834	711	720	741
		Línea de lodos	221	208	187	189	229	252
		Desinfección sin filtrado	46	31	19	16	14	15
		Desinfección con filtrado	77	58	43	41	40	47
		Costo total de construcción	1.728	1.326	1.040	916	963	1.008
	Llanos	Línea de agua	1.394	1.035	778	670	672	673
		Línea de lodos	221	208	187	189	229	252
		Desinfección sin filtrado	47	32	20	20	16	17
		Desinfección con filtrado	77	59	45	43	43	47
		Costo total de construcción	1.662	1.275	985	879	917	942

Líneas de tratamiento	Zonas ecológicas	Unidades	Habitantes					
			1.000	2.000	5.000	10.000	25.000	50.000
			Costos de construcción (Bs/hab)					
Líneas 8.1 y 8.2	Altiplano	Línea de agua	2.004	1.478	1.032	950	776	695
		Línea de lodos	333	361	362	403	251	268
		Desinfección sin filtrado	41	26	17	13	12	12
		Desinfección con filtrado	66	48	35	34	33	39
		Costo total de construcción	2.500	2.009	1.576	1.566	1.039	975
	Valles	Línea de agua	2.021	1.437	951	825	656	565
		Línea de lodos	429	450	430	451	275	294
		Desinfección sin filtrado	46	31	19	16	14	15
		Desinfección con filtrado	77	58	43	41	40	47
		Costo total de construcción	2.496	1.918	1.400	1.292	945	874
	Llanos	Línea de agua	1.843	1.282	825	713	558	465
		Línea de lodos	429	450	430	451	275	294
		Desinfección sin filtrado	47	32	20	20	16	17
		Desinfección con filtrado	77	59	45	43	43	47
		Costo total de construcción	2.319	1.764	1.275	1.184	849	776

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales

- Costos de Operación y Mantenimiento.

En lo concerniente a la disponibilidad presupuestaria para hacer frente a la operación y mantenimiento de la PTAR, debe tenerse en cuenta que estos costos también se ven condicionados por las propias circunstancias locales (es preciso o no, un bombeo para conducir las aguas a la estación de tratamiento; de qué forma se gestionan los lodos en exceso generados en el proceso depurador, etc.)

Tabla 21: Costos de operación y mantenimiento de las distintas líneas de tratamiento.

Líneas de tratamiento	Zonas ecológicas	Unidades	Habitantes					
			1.000	2.000	5.000	10.000	25.000	50.000
			Costos de operación y mantenimiento (Bs/hab/año)					
Línea 1	Valles	Costo total de O&M	73,00	39,83	-	-	-	-
	Llanos	Costo total de O&M	72,48	39,51	-	-	-	-
Línea 2	Valles	Costo total de O&M	87,71	45,59	23,73	19,49	15,06	11,57
	Llanos	Costo total de O&M	88,12	45,79	23,72	19,47	15,12	11,36
Línea 3	Altiplano	Costo total de O&M	72,95	38,51	19,64	12,01	12,06	10,56
	Valles	Costo total de O&M	72,43	37,80	18,60	10,74	9,48	8,06
	Llanos	Costo total de O&M	71,19	36,56	17,48	9,63	9,85	8,07

Líneas de tratamiento	Zonas ecológicas	Unidades	Habitantes					
			1.000	2.000	5.000	10.000	25.000	50.000
			Costos de operación y mantenimiento (Bs/hab/año)					
Línea 4.1	Altiplano	Líneas de agua y lodos	70,46	37,10	18,88	-	-	-
		Desinfección sin filtrado	4,21	5,27	6,36	-	-	-
		Desinfección con filtrado	2,96	3,57	4,42	-	-	-
		Costo total de O&M	74,68	42,37	25,24	-	-	-
	Valles	Líneas de agua y lodos	70,57	37,12	18,78	-	-	-
		Desinfección sin filtrado	7,08	8,14	9,23	-	-	-
		Desinfección con filtrado	4,95	5,67	6,41	-	-	-
		Costo total de O&M	77,65	45,26	28,01	-	-	-
	Llanos	Líneas de agua y lodos	70,01	36,66	18,36	-	-	-
Desinfección sin filtrado		7,66	9,29	10,38	-	-	-	
Desinfección con filtrado		5,34	6,47	7,21	-	-	-	
Costo total de O&M		77,67	45,95	28,74	-	-	-	
Línea 4.2	Altiplano	Líneas de agua y lodos	69,93	36,59	18,28	-	-	-
		Desinfección sin filtrado	4,21	5,27	6,36	-	-	-
		Desinfección con filtrado	2,96	3,57	4,42	-	-	-
		Costo total de O&M	74,14	41,86	24,64	-	-	-
	Valles	Líneas de agua y lodos	70,08	36,55	18,24	-	-	-
		Desinfección sin filtrado	7,08	8,14	9,23	-	-	-
		Desinfección con filtrado	4,95	5,67	6,41	-	-	-
		Costo total de O&M	77,16	44,69	27,47	-	-	-
	Llanos	Líneas de agua y lodos	69,69	36,20	17,87	-	-	-
Desinfección sin filtrado		7,66	9,29	10,38	-	-	-	
Desinfección con filtrado		5,34	6,47	7,21	-	-	-	
Costo total de O&M		77,35	45,49	28,25	-	-	-	
Línea 5	Altiplano	Líneas de agua y lodos	88,92	52,88	32,81	-	-	-
		Desinfección sin filtrado	4,21	5,27	6,36	-	-	-
		Desinfección con filtrado	2,96	3,57	4,42	-	-	-
		Costo total de O&M	93,13	58,15	39,17	-	-	-
	Valles	Líneas de agua y lodos	91,33	54,89	34,52	-	-	-
		Desinfección sin filtrado	7,08	8,14	9,23	-	-	-
		Desinfección con filtrado	4,95	5,67	6,41	-	-	-
		Costo total de O&M	98,41	63,03	43,75	-	-	-
	Llanos	Líneas de agua y lodos	93,31	57,06	35,98	-	-	-
Desinfección sin filtrado		7,66	9,29	10,38	-	-	-	
Desinfección con filtrado		5,34	6,47	7,21	-	-	-	
Costo total de O&M		100,97	66,35	46,36	-	-	-	
Líneas 6.1 y 6.2 (soporte plástico)	Altiplano	Línea de agua	103,81	57,50	32,17	27,81	22,98	20,13
		Desinfección sin filtrado	4,21	5,27	6,36	7,49	9,21	12,65
		Desinfección con filtrado	2,96	3,57	4,42	5,20	6,38	8,77
		Costo total de O&M	108,02	62,77	38,53	35,30	32,19	32,78
Líneas 6.1 y 6.2 (soporte áridos)	Altiplano	Línea de agua y lodos	105,27	58,54	33,63	28,17	21,89	19,71
		Desinfección sin filtrado	4,21	5,27	6,36	7,49	9,21	12,65
		Desinfección con filtrado	2,96	3,57	4,42	5,20	6,38	8,77
		Costo total de O&M	109,48	63,81	33,99	35,66	31,10	32,36

Líneas de tratamiento	Zonas ecológicas	Unidades	Habitantes					
			1.000	2.000	5.000	10.000	25.000	50.000
			Costos de operación y mantenimiento (Bs/hab/año)					
Línea 6.3 (soporte plástico)	Valles	Líneas de agua y lodos	100,90	54,05	28,98	23,70	18,63	15,03
		Desinfección sin filtrado	7,08	8,14	9,23	10,37	12,08	15,53
		Desinfección con filtrado	4,95	5,67	6,41	7,19	8,38	10,77
		Costo total de O&M	107,98	62,19	38,21	34,07	30,71	30,56
	Llanos	Líneas de agua y lodos	100,17	53,65	28,63	23,57	18,51	14,78
		Desinfección sin filtrado	7,66	9,29	10,38	12,09	13,90	17,25
Desinfección con filtrado		5,34	6,47	7,21	8,40	9,58	11,98	
Costo total de O&M	107,83	62,94	39,01	35,66	32,41	32,03		
Línea 6.3 (soporte áridos)	Valles	Líneas de agua y lodos	102,12	54,96	29,48	23,99	18,99	15,25
		Desinfección sin filtrado	7,08	8,14	9,23	10,37	12,08	15,53
		Desinfección con filtrado	4,95	5,67	6,41	7,19	8,38	10,77
		Costo total de O&M	109,20	63,10	38,71	34,36	31,07	30,78
	Llanos	Líneas de agua y lodos	100,94	54,15	28,82	23,56	18,64	14,74
		Desinfección sin filtrado	7,66	9,29	10,38	12,09	13,90	17,25
Desinfección con filtrado		5,34	6,47	7,21	8,40	9,58	11,98	
Costo total de O&M	108,60	63,44	39,20	35,65	32,54	31,99		
Líneas 7.1 y 7.2	Altiplano	Líneas de agua y lodos	121,15	76,08	49,03	44,98	33,69	31,14
		Desinfección sin filtrado	4,21	5,27	6,36	7,49	9,21	12,65
		Desinfección con filtrado	2,96	3,57	4,42	5,20	6,38	8,77
		Costo total de O&M	125,36	81,35	55,39	52,47	42,90	43,79
Línea 7.3	Valles	Líneas de agua y lodos	106,27	63,24	37,80	31,71	26,05	23,24
		Desinfección sin filtrado	7,08	8,14	9,23	10,37	12,08	15,53
		Desinfección con filtrado	4,95	5,67	6,41	7,19	8,38	10,77
		Costo total de O&M	113,35	71,38	47,03	42,08	38,13	38,77
	Llanos	Líneas de agua y lodos	106,00	63,00	37,69	33,50	27,76	23,36
		Desinfección sin filtrado	7,66	9,29	10,38	12,09	13,90	17,25
Desinfección con filtrado		5,34	6,47	7,21	8,40	9,58	11,98	
Costo total de O&M	113,66	72,29	48,07	45,59	41,66	40,61		
Líneas 8.1 y 8.2	Altiplano	Líneas de agua y lodos	154,80	108,41	96,80	85,67	83,38	85,87
		Desinfección sin filtrado	4,21	5,27	6,36	7,49	9,21	12,65
		Desinfección con filtrado	2,96	3,57	4,42	5,20	6,38	8,77
		Desinfección efluentes nitrificados	2,33	2,85	3,41	4,00	4,91	6,75
	Costo total de O&M	157,13	111,26	100,21	89,67	88,29	92,62	
	Valles	Líneas de agua y lodos	145,81	94,12	78,02	60,27	56,40	54,79
		Desinfección sin filtrado	7,08	8,14	9,23	10,37	12,08	15,53
		Desinfección con filtrado	4,95	5,67	6,41	7,19	8,38	10,77
		Desinfección efluentes nitrificados	3,86	4,38	4,94	5,54	6,45	8,28
Costo total de O&M		149,67	98,50	82,96	65,81	62,85	63,07	
Llanos	Líneas de agua y lodos	136,82	83,62	67,25	49,14	44,89	41,89	
	Desinfección sin filtrado	7,66	9,29	10,38	12,09	13,90	17,25	
	Desinfección con filtrado	5,34	6,47	7,21	8,40	9,58	11,98	
	Desinfección efluentes nitrificados	4,17	5,00	5,56	6,46	7,37	9,20	
	Costo total de O&M	140,99	88,62	72,81	55,60	52,26	51,09	

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales

3.4. Criterios limitantes.

Una vez establecidos los criterios de selección, deben evaluarse aquellos, que para la situación concreta que se analiza, son de carácter limitante para alguna de las alternativas de tratamiento elegidas en la 'Selección Preliminar'. Una vez se hayan evaluado los criterios limitantes, aquellas Líneas de Tratamiento que no cumplan los mismos se eliminan del proceso de selección.

- **Calidad del efluente depurado:** el cumplimiento de la normativa boliviana de vertidos de aguas residuales tratadas a los cuerpos receptores constituye, en sí misma, un criterio limitante. Cumplido este requisito, se puede valorar la calidad de los efluentes obtenidos en cada línea de tratamiento, en lo referente a su capacidad de eliminar nutrientes, nitrificar, o eliminar patógenos, en aquellos casos en que se vierta a zonas sensibles, zonas con valor piscícola, zonas próximas a captaciones de agua potable, o cuando se reúsen las aguas tratadas.
- **Terrenos disponibles para la construcción de la PTAR:** la superficie de terreno disponible para la ubicación de la planta de tratamiento puede ser un factor limitante, e impedir la construcción de tratamientos que presenten elevados requisitos de superficie por habitante servido (tratamientos de carácter extensivo). De existir terreno suficiente, también podría ser limitante el coste de los mismos, en caso de precios muy elevados, si bien, este aspecto debería recogerse en el apartado de costos de construcción. También, las propias características de los terrenos disponibles (topografía, geotecnia, nivel freático, etc.), pueden limitar o condicionar la implementación de algunos tratamientos. En general, los problemas derivados de las características del terreno repercuten negativamente en mayores costes de construcción, al complicar las soluciones constructivas. En algunos casos extremos, podrían eliminarse aquellas alternativas cuya adecuación al tipo de terreno existente sea más problemática.
- **Características ambientales de la zona de intervención:** dentro de estas características destaca la influencia de la temperatura sobre los procesos biológicos de depuración, llegando a constituir las bajas temperaturas (por debajo de los 15 °C en las aguas a tratar), un factor limitante para la construcción de los tratamientos que se basan en

procesos anaerobios, caso de los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA) y de los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA).

- Impactos medioambientales: los olores o los ruidos pueden ser limitantes en zonas residenciales o turísticas, pero en general son criterios a valorar entre las distintas alternativas, teniendo en cuenta que en muchos casos estos problemas pueden mitigarse a través de medidas preventivas, como el confinamiento de espacios, la desodorización de los gases malolientes, o la aplicación de sistemas antiruidos.
- Operación y mantenimiento: los relacionados con la operación y el mantenimiento pueden ser limitantes en el caso de poblaciones pequeñas que no disponen de recursos, ni de personal cualificado y precisan de tecnologías de baja complejidad técnica y de mantenimiento sencillo. En general es un criterio importante a valorar entre las distintas alternativas.
- Costos de construcción y de operación y mantenimiento: la disponibilidad económica para hacer frente a los costos de construcción y de operación y mantenimiento de determinados tratamientos en un entorno socioeconómico determinado, puede constituirse en otro criterio de carácter limitante. Así, en entornos con recursos económicos y técnicos limitados para afrontar la construcción y la operación y mantenimiento de una PTAR, ciertas alternativas, más sofisticadas, quedan descartadas desde el inicio. No es posible hacer un catálogo completo de los criterios limitantes, siendo misión de los técnicos evaluadores establecer estas limitaciones para cada caso concreto. Siempre que se den circunstancias evidentes, aplicando el sentido común, se puede reducir rápidamente el número de alternativas y de criterios de selección a considerar, simplificando así el proceso de selección.

3.5. Eliminación de tratamientos

Teniendo en cuenta los cálculos anteriores, en este apartado se descartan las líneas de tratamiento que no van acorde de los datos previamente solicitados.

3.6. La ponderación de los criterios de selección

Cada criterio de selección se debe ponderar con un peso, que dependiendo de la importancia relativa que tenga en relación con los demás, será mayor o menor. Esta ponderación dependerá fundamentalmente de las circunstancias concretas que rodeen al proyecto, por lo

que variará según el caso, y se podrá llevar a cabo de mejor o peor forma dependiendo de la profundidad con que se hayan realizado los estudios previos. El sistema de ponderación es potestativo del evaluador, pero siempre deberá ser explicado para que todas las entidades que intervienen en el proyecto puedan conocer su justificación.

- Establecimiento de un peso para cada criterio, como un porcentaje de un total de 100.

Tabla 22: Ponderación de criterios de selección.

Nivel	Peso
Muy importante	4
Importante	3
Media importancia	2
Poco importante	1

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales

3.7. Valoración de cada alternativa respecto a la selección.

Una vez que se han limitado las alternativas apropiadas de acuerdo con los criterios limitantes, cada una de las alternativas válidas debe evaluarse teniendo en cuenta el resto de criterios de selección, lo que permitirá posteriormente compararlas entre sí. Algunos de los criterios limitantes también pueden participar en el proceso de selección, como podría ser el caso de la calidad de los efluentes tratados, que podría ser limitante de acuerdo con la normativa de vertido vigente, pero también podría ser valorable, puesto que una mejor calidad puede ser un aspecto a valorar positivamente en la selección del tratamiento de depuración.

Estas valoraciones están sujetas a variaciones, por un lado, porque existe cierto grado de subjetividad en el evaluador y, por otro, porque en algunos casos influyen las circunstancias locales. Por ello, la valoración establecida dependerá mucho del criterio del técnico responsable de la selección, que deberá justificar en todo caso los valores adoptados. Para esta justificación podrían utilizarse las tablas de carácter genérico que se incluyen en este capítulo, pero teniendo en cuenta las circunstancias locales.

3.8. Matriz de decisión.

Finalmente, se suman todas las valoraciones dadas a cada alternativa, ponderando cada factor del sumatorio por su peso correspondiente. La fórmula a aplicar para valorar cuantitativamente cada posible alternativa, es la siguiente:

$$V_{A1} = \sum P(f_i) * V_{A1}(f_i) = P(f_1) * V_{A1}(f_1) + P(f_2) * V_{A1}(f_2) + \dots + P(f_n) * V_{A1}(f_n)$$

$$V_{A2} = \sum P(f_i) * V_{A2}(f_i) = P(f_1) * V_{A2}(f_1) + P(f_2) * V_{A2}(f_2) + \dots + P(f_n) * V_{A2}(f_n)$$

VA: valoración global dada a una tecnología determinada (A).

P(fi): ponderación dada al criterio de selección (fi), que dependerá de las circunstancias concretas que rodean al proyecto.

VA(fi): valoración dada a una tecnología determinada (A) respecto a un factor (i).

Al final del proceso, se generan tablas resumen para cada criterio de selección, en las que se muestran las valoraciones establecidas para cada alternativa respecto a ese criterio (Tabla 12.18), y una tabla global con todas las alternativas, en la que aparece la valoración global de cada una de ellas, lo que permite compararlas entre sí de forma simple, mostrando, además, cuáles son los factores que más han condicionado la selección final.

Tabla 23: Tabla de cada criterio de selección.

Alternativas	Valoración	Ponderación	Total (V*P)
Alternativa A ₁	V _{A1} (fi)	P(fi)	V _{A1} (fi)* P(fi)
Alternativa A ₂	V _{A2} (fi)	P(fi)	V _{A2} (fi)* P(fi)
Alternativa A ₃	V _{A3} (fi)	P(fi)	V _{A3} (fi)* P(fi)
...
TOTAL			

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales

Tabla 24: Tabla resumen de selección de alternativas.

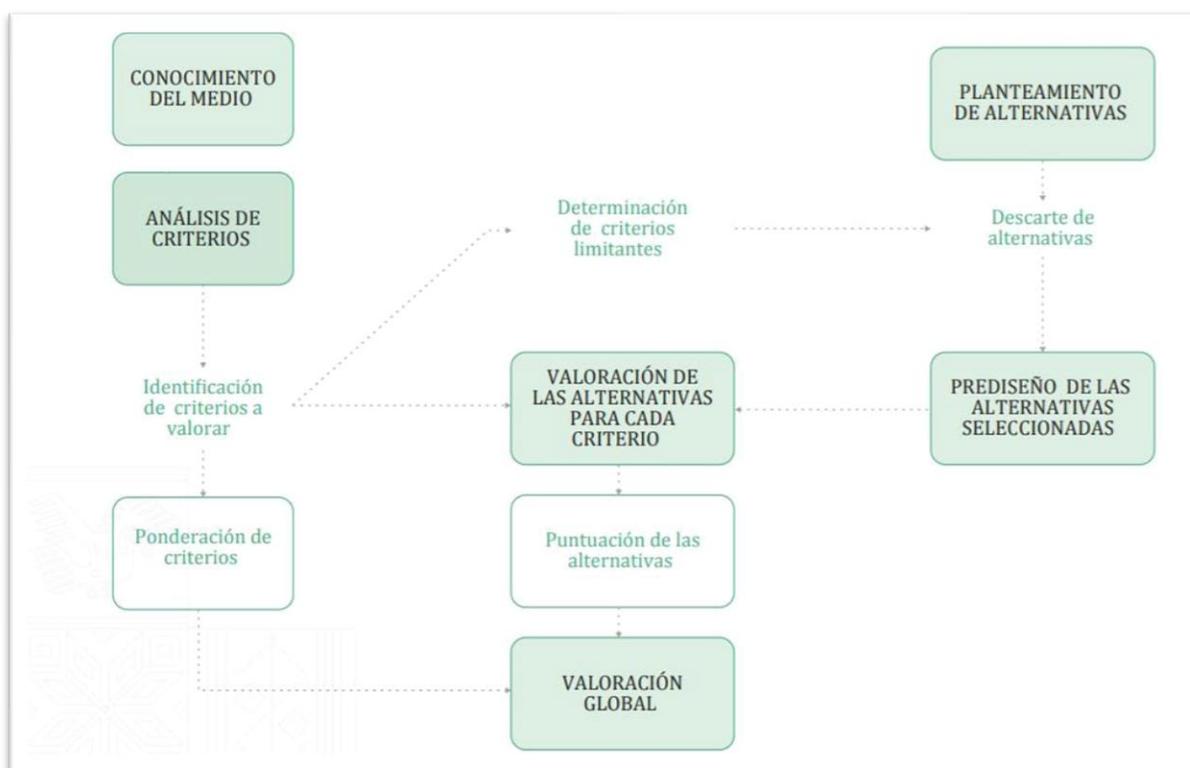
Tabla resumen comparativa entre las distintas alternativas						
Criterios de selección	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	...
A. EFICACIA DE REMOCIÓN						
A.1. Calidad exigida a los efluentes tratados						
A.2. Tipo de contaminación de las aguas residuales a tratar.						
A.3. Tolerancia a las variaciones de caudal y carga						
B. TERRENOS DISPONIBLES						
B.1. Superficie disponible						
B.2. Características constructivas de los terreno						
C. ACEPTACIÓN SOCIAL						
C.1. Aceptación por parte de la población						
C.2. Aceptación por parte de la entidad explotadora						
D. CARACTERÍSTICAS MEDIOAMBIENTALES						
D.1. Temperatura						
D.2. Pluviometría						
D.3. Altitud						
E. IMPACTOS AMBIENTALES						
E.1. Producción de malos olores						
E.2. Generación de gases de efecto invernadero						
E.3. Generación de ruidos						
E.4. Impacto visual						
F. GENERACIÓN DE LODOS						
F.1. Cantidad de lodos generados						
F.2. Estabilidad de los lodos generados						
G. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO						
G.1. Requerimientos de personal cualificado						
G.2. Disponibilidad de repuestos y de servicio técnico						
H. COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO						
H.1. Costos de construcción						
H.2. Costos de operación y mantenimiento						
TOTAL						

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales

3.9. Selección final.

Después de llevar a cabo todo el proceso de selección, no tiene por qué existir una única alternativa como solución (aquella que alcance una mayor puntuación). Si dos o más alternativas tienen valoraciones finales semejantes, a partir de la comparación de los aspectos en que más se diferencien y, en especial de las preferencias del operador, se podrá tomar la decisión definitiva. Para finalizar, y a modo de resumen, se adjunta un esquema del proceso de análisis y selección de alternativas, basado en las matrices de selección, aplicado en proyectos de tratamientos de aguas residuales (López, 2019)

Fig. 7: Esquema del proceso de matrices de selección aplicado en proyectos de depuración de aguas residuales.



Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

APLICACIÓN PRÁCTICA CON DATOS DE LA COMUNIDAD DE YUNCHARA

La finalidad de este capítulo es dar validez al presente proyecto de grado con la demostración práctica con datos reales recolectados de la comunidad de Yunchará.

4.1. Estudios Previos.

4.1.1. Ubicación.

El Municipio de Yunchará, de acuerdo a la división política y administrativa del territorio departamental; corresponde a la segunda Sección Municipal de la Provincia Avilés, Geográficamente se encuentra ubicada entre las siguientes coordenadas geográficas paralelas: 21° 28' 45" y 22° 51' de Latitud Sur y 64° 56' 30" y 65° 25' de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich.

4.1.2. Población futura.

Actualmente según Censo de población y Vivienda 2012, la población existente en el municipio es de 5.490 habitantes, con un incremento anual de 317 personas, con una tasa intercensal de 0.53%; La composición de la población por sexo es 49.7% hombres y 50.3% mujeres. (INE 2012)

- Los datos utilizados están de acuerdo al censo del 2012 realizado por la INE.

Población actual. - 5490 hab.

- Índice de crecimiento.

Fig. 8: Aplicación de métodos para poblaciones futuras.

NOTA

El Método aritmético supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la migración.

El Método geométrico es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades.

El Método exponencial requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y poseen áreas de expansión.

El Método de la curva logística admite que el crecimiento de la población obedece a una relación matemática del tipo curva logística, en el cual la población crece de forma asintótica en función del tiempo para un valor de saturación (L). La curva logística tiene tres (3) tramos distintos: El primero corresponde a un crecimiento acelerado, el segundo a un crecimiento retardado y el último a un crecimiento tendiente a la estabilización. Entre los dos (2) primeros tramos existe un punto de inflexión.

Fuente: NB-688

- Índice de crecimiento 1992.- 0.18 %
- Índice de crecimiento 2001. - 0.29 %
- Índice de crecimiento 2012.- 0.55 %

Aplicando el promedio de los índices de crecimiento:

$$Promedio = \frac{0.18 + 0.29 + 0.55}{3}$$

$$Promedio\ de\ indices = 0.34\ %$$

- Periodo de Diseño según tabla 5, de la NB-688
Periodo de diseño. - 20 años
- Con los datos obtenidos y con la tabla 3 de métodos de cálculo para poblaciones futuras de la NB-688 y con el promedio de índices indicado en la figura 8.

-Método Exponencial.

$$P_f = P_o * e^{\left(\frac{i*t}{100}\right)}$$

$$P_f = 5490 * e^{\left(\frac{0.0034*20}{100}\right)}$$

$$P_f = 5853\ hab.$$

Población Futura.

$$Ph = 5853\ habitantes.$$

4.1.3.- Instalaciones existentes.

Según datos que se tiene de la construcción del alcantarillado en la población de Yunchará data de la gestión de 1987 con el financiamiento del FPS, según los archivos de la Asociación se tiene 178 conexiones entre propietarios de domicilios, instituciones públicas y privadas que cuentan con el servicio de alcantarillado mismo que fue corroborado con un estudio de UNICEF quien hizo un estudio en la gestión 2012 donde se refiere que solo ascienden a un 7% de los habitantes de Yunchará que cuentan con el servicio de alcantarillado, cabe mencionar a la fecha ya con 32 años cuyas tuberías son de cemento.

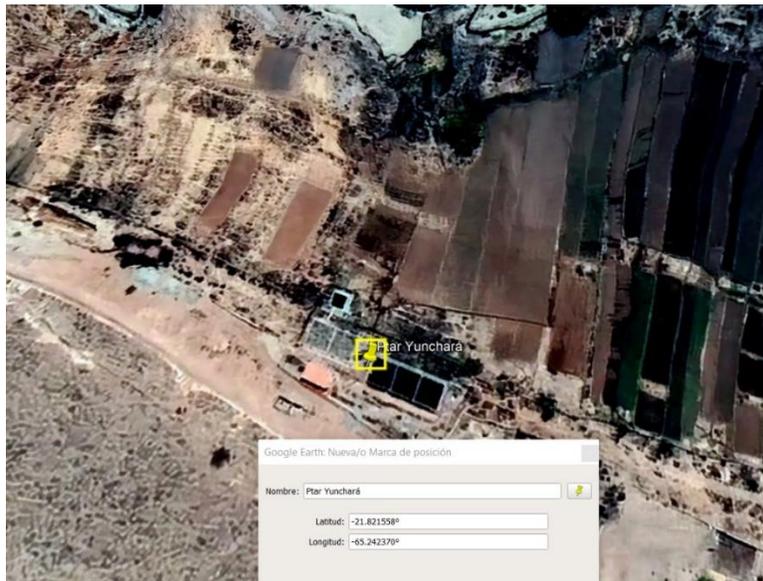
Los colectores secundarios y principales son de tuberías de hormigón, los diámetros fueron colocados de 4" en tramos de arranque y de 4" en tramos principales y las descargas.

Por las características fisiográficas del relieve topográfico de la población de Yunchara, la red de alcantarillado existente fue desarrollada siguiendo esta configuración, se deberá notar sin embargo que las zonas que no cuentan con redes de alcantarillado, es porque no existen viviendas, por lo que las redes proyectadas deberán ser implementadas por fases según se vayan poblando y asentando los propietarios⁶.

4.1.4.-Area de terreno disponible.

El terreno dispuesto para la construcción de la PTAR es uno de los criterios limitantes más importantes, en este caso según los estudios de suelo y cercanía al río de Yunchará se dispone de un terreno alejado de la ciudad, cerca del río Yunchará el cual cuenta con un área de 2740 m².

Fig. 9: Ubicación de PTAR Yunchará.



Fuente: Programa Google Earth.

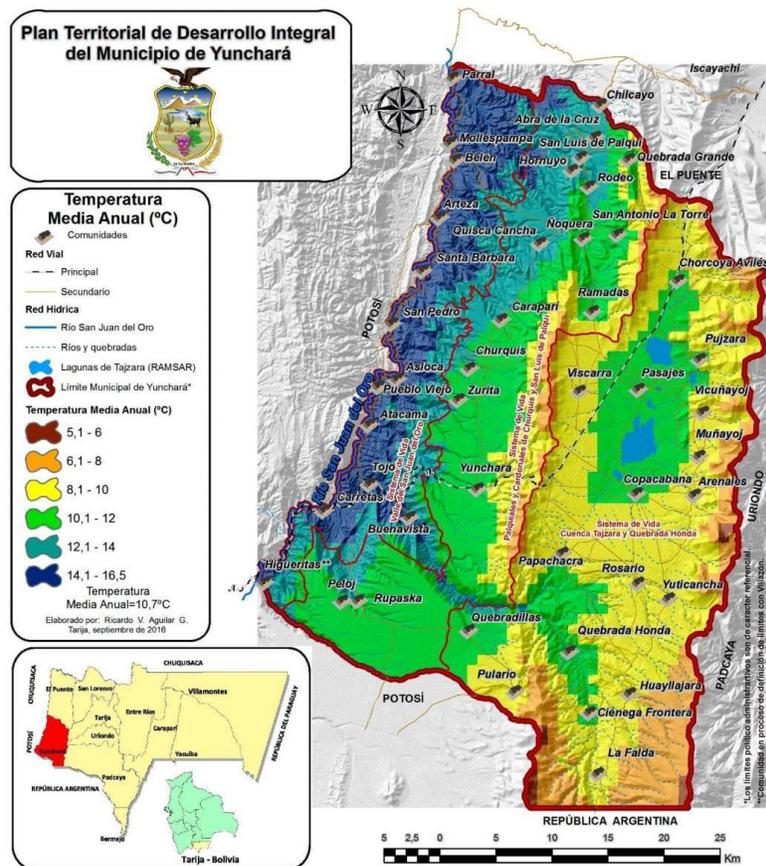
⁶ Información obtenida de “memoria de diseño de PTAR Yunchara”.

4.1.5. Condiciones climáticas y geográficas⁷.

4.1.5.1. Condiciones Climáticas.

El territorio del Municipio de Yunchará presenta varios tipos climáticos determinados por la orografía y la altitud sobre el nivel del mar principalmente. En general, el verano se caracteriza principalmente por una temperatura y humedad relativa baja y masas de aire inestables, produciéndose precipitaciones aisladas de moderada intensidad y corta duración. Por otro lado, el invierno se caracteriza por temperaturas y humedad relativa generalmente bajas con ausencia de precipitaciones.

Fig. 10: Temperatura media anual de la comunidad de Yunchará.



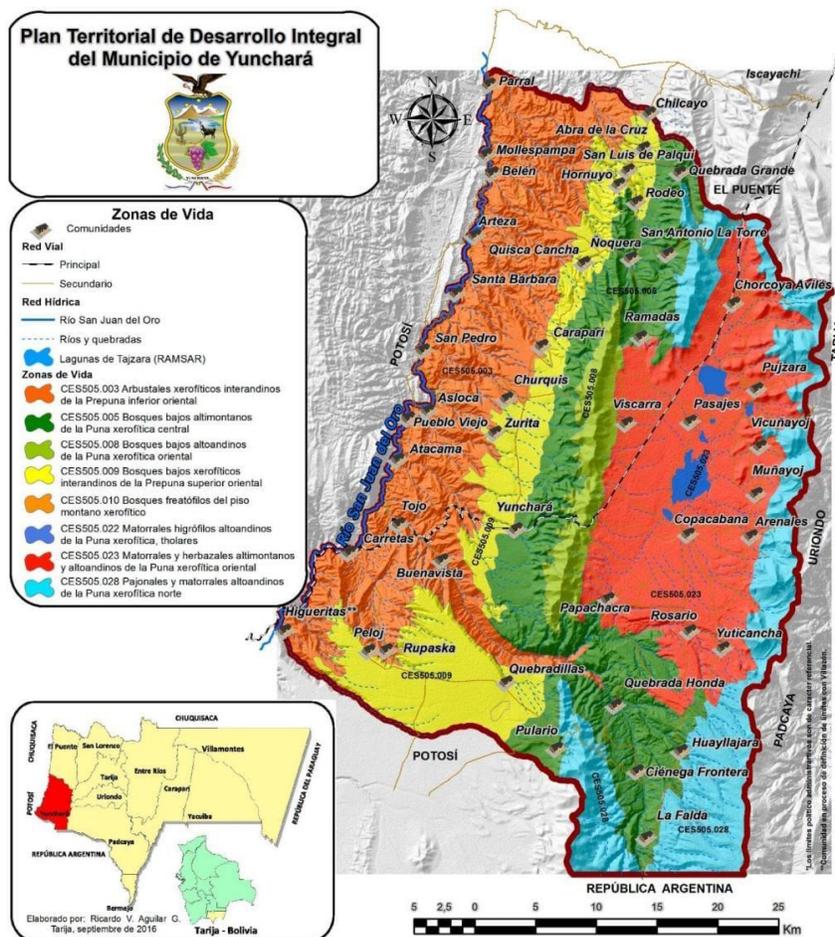
Fuente: PROMETA, 2014. Plan de Adaptación al Cambio Climático del Municipio de Yunchará.

⁷ Toda la información fue obtenida del “Plan Territorial de Desarrollo Integral” del Gobierno Autónomo Municipal de Yunchará.

4.1.5.2. Condiciones Geográficas,

La población de Yunchará, caracterizada por tener un clima templado-frío de acuerdo a lo establecido por el piso ecológico de **Altiplano**: Clasificación semiárido y/o subhúmedo y templado

Fig. 11: Pisos Ecológicos del Municipio de Yunchará.

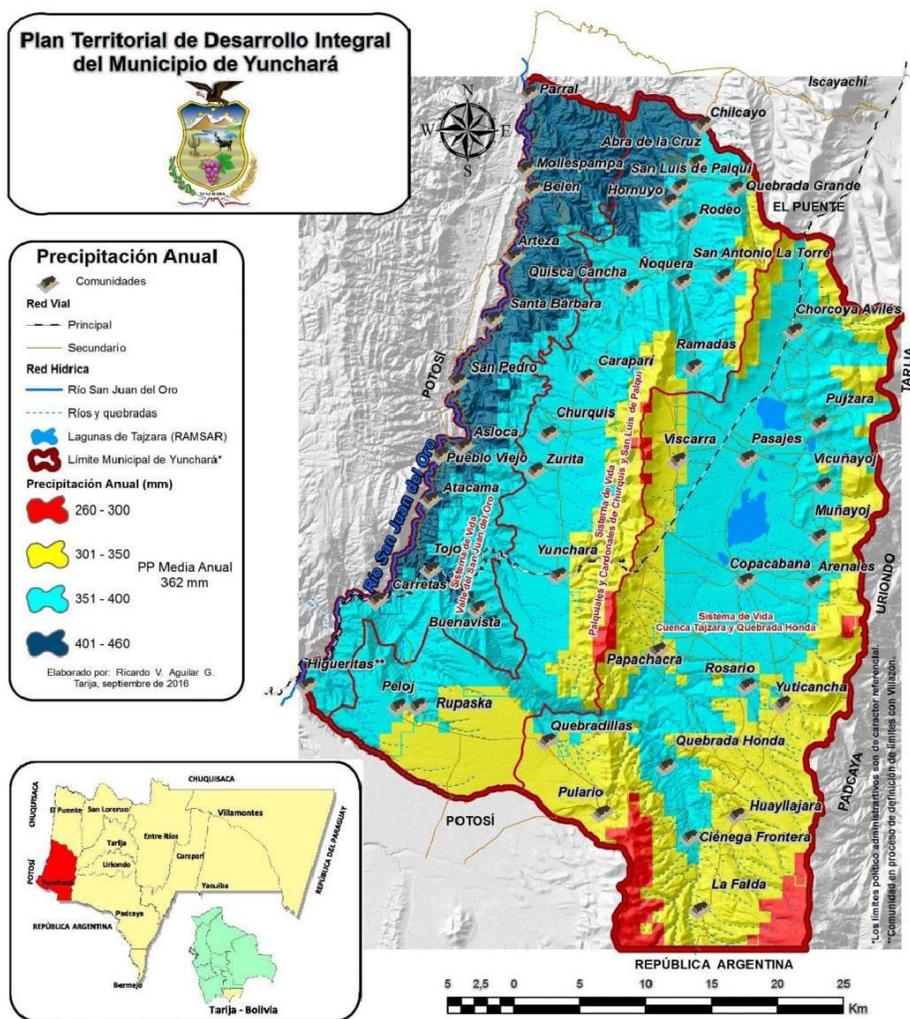


Fuente: PROMETA, 2014. Plan de Adaptación al Cambio Climático del Municipio de Yunchará.

4.1.6. Gestión de las aguas de lluvia.

La precipitación anual en el municipio alcanza los 362 mm con variación entre 260 a 460 mm. La temperatura media anual oscila entre los 5 y 16,5 °C con una media anual de 10,7 °C. Las temperaturas mínima media anual y máxima media anual del municipio están en el orden de los 1,2 °C y 20,3 respectivamente.

Fig. 12: Precipitación Anual en el municipio de Yunchará.



Fuente: PROMETA, 2014. Plan de Adaptación al Cambio Climático del Municipio de Yunchará.

4.1.7. Características del Agua residual.

Gracias al estudio previo realizado en la comunidad de Yunchará para una PTAR, se tiene datos básicos de laboratorio de los siguientes parámetros, para los otros datos se tomara en cuenta los valores referenciales propuestos por las tablas de la guía. (Anexo A).

Tabla 25: Parámetros del Afluyente

Parametros	Unidad	Metodo	Resultado
Coliformes Totales	NMP/100 ml	Tubos Multiples	4,30E+07
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	Tubos Multiples	4,30E+07
DBO5	mg/l	Electrodo Selectivo-Oximetro	250,00
DQO	mg/l	Oxidacion-Reflujo Cerrado	549,02
Sol. Suspendidos Totales	mg/l	Gravimetro	150,00

Fuente: Elaboración propia.

4.1.7.1. Caudal

Para el caudal utilizamos la tabla de la guía, donde necesariamente debemos hacer una interpolación según la población que tenemos:

- Población: 5853 Habitantes.
- Piso ecológico: Altiplano.

Tabla 26: Aportes unitarios por zona ecológica.

Zona ecológica	Población (habitantes)					
	1.000	2.000	5.000	10.000	25.000	50.000
	Dotaciones (L/hab/d)					
Altiplano	35	45	55	65	80	110
Valles	60	70	80	90	105	135
Llanos	65	80	90	105	120	150

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

- Interpolando tenemos el valor de: 57
-Multiplicando por el número de habitantes:

$$81.7 \text{ L/Hab/d} * 5853 \text{ hab} = 333621 \text{ L/d}$$

$$\text{Caudal medio} = 333.621 \text{ m}^3/\text{d}$$

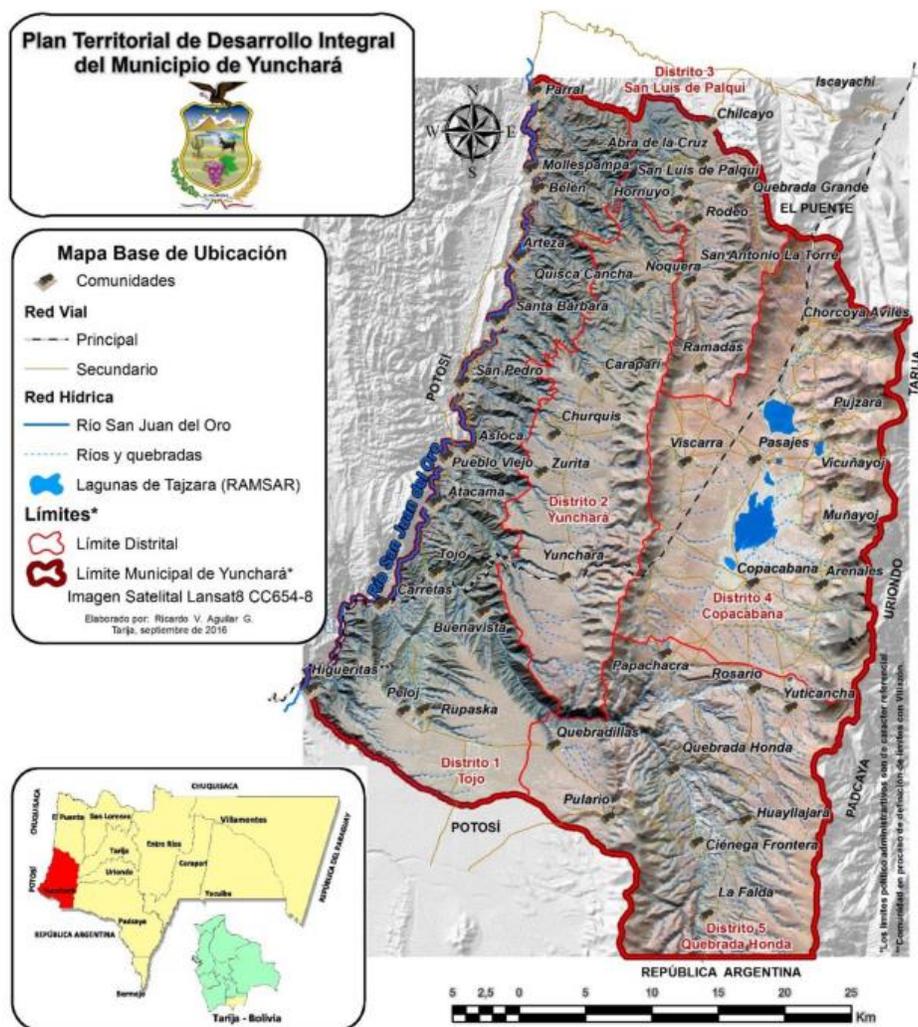
4.1.8. Calidad exigida al efluente.

4.1.8.1. Recursos hídricos.

Los Recursos Hídricos de El Municipio se encuentra surcado por numerosos Ríos que pertenecen a dos cuencas: del Río San Juan Del Oro y la cuenca endorreica o cerrada de Tajzara. A éstas dos cuencas mayores ingresan varias cuencas menores constituidas por Ríos de caudal limitado y otras fuentes de carácter temporal, especialmente quebradas.

El río al que llegara el efluente de la planta, es el río Yunchará el cual desemboca a la sub cuenca de San Juan del Oro, el cual será categorizado según la ley N° 1333.

Fig. 13: Mapa de quebradas y río principal del municipio de Yunchará.



Fuente: PROMETA, 2014. Plan de Adaptación al Cambio Climático del Municipio de Yunchará.

4.1.8.2. Calidad del efluente.

Teniendo en cuenta que el efluente descarga a una cuenca sin caracterización, según el reglamento en materia de contaminación hídrica, el efluente está en la obligación de cumplir con los límites permisibles del anexo 2.

Tabla 27: Anexo A-2 Límites permisibles para descargas

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
Fierro	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 en Materia de Contaminación Hídrica.

Esos son todos los datos necesarios que requiere el proyectista, el siguiente desarrollo de la selección se detallara en la sección de anexos (Anexo B) donde se explicara paso por paso el funcionamiento de la página web y su posterior validez.

4.2. Criterios de Selección.

Para el ejemplo teniendo en cuenta las características tanto geográficas como sociales se eligieron los siguientes criterios:

- Eficacia de remoción.
- Impactos Ambientales.
- Operación y mantenimiento.
- Costos de construcción y operación y mantenimiento.

4.2.1. Eficacia de remoción.

En lo referente a la calidad exigida a los efluentes tratados, esta constituye un criterio de selección limitante, pues tan sólo serán de aplicación aquellas líneas de tratamiento que cumplan con los requisitos de vertido exigidos en cada situación concreta. Así, en el caso de que por las características del medio receptor se exigiese la eliminación de nutrientes en las aguas tratadas, se limitaría el estudio a las tecnologías capaces de alcanzar los rendimientos de eliminación requeridos para estos contaminantes.

Y tiene los siguientes sub parámetros:

- La calidad exigida a los efluentes tratados.
- La adaptación de la línea de tratamiento al tipo de contaminación de las aguas residuales a tratar.
- El nivel de concentración de materia orgánica en las aguas residuales a tratar.
- La tolerancia de la línea de tratamiento para hacer frente a las variaciones de caudal y carga que experimentan las aguas residuales a tratar, para poder seguir cumpliendo en todo momento con las exigencias de la normativa de vertidos.

4.2.2. Impactos ambientales.

Dentro de estos impactos debe analizarse: la producción de malos olores, la emisión de gases de efecto invernadero, la generación de ruidos, así como el posible impacto visual que la construcción de una nueva PTAR puede conllevar.

Y tiene los siguientes sub parámetros:

- Producción de malos olores.

- Generación de gases de efecto invernadero.
- Generación de ruidos.
- Impacto Visual.

4.2.3. Operación y Mantenimiento.

En este criterio de selección deben analizarse en profundidad tanto los requerimientos de personal, con la cualificación técnica suficiente para afrontar las labores de operación y mantenimiento que requiera la instalación de tratamiento para su correcto funcionamiento, como la facilidad para disponer de las piezas y equipos de repuesto cuando sea preciso, así como del servicio técnico en aquellas tecnologías que lo requieran.

Y tiene los siguientes sub parámetros:

- Requerimientos de personal calificado.
- Disponibilidad de repuestos y de servicio técnico.

4.2.4. Costos de construcción y de operación y de mantenimiento.

En el apartado de costos deben contemplarse los costos de construcción y los de operación y mantenimiento, dándole una mayor importancia a estos últimos, dado que la amortización de los costos de construcción representa un valor relativamente bajo frente a los gastos de operación y mantenimiento (que perduran durante toda la vida útil de la planta de tratamiento), y que son estos costos los que provocan que muchas PTAR se encuentren fuera de servicio, o en un estado de operación deficiente.

En muchas ocasiones, en la inversión inicial se cuenta con subvenciones y apoyo financiero, algo que no suele pasar para la operación y mantenimiento de la PTAR, y es este otro motivo por el que estos costos adquieren más relevancia que los de construcción. Como consecuencia de esto es necesario, de cara al análisis de costos, que se conozca la capacidad económica y de gestión del prestador del servicio, la capacidad de pago de la población y la existencia o no de mecanismos tarifarios, u otros, para financiar la operación del saneamiento de las aguas residuales.

Y tiene los siguientes sub parámetros:

- Costos de construcción.
- Costos de operación y mantenimiento.

4.3. Ponderación de los criterios de selección.

Cada criterio de selección se debe ponderar con un peso, que dependiendo de la importancia relativa que tenga en relación con los demás, será mayor o menor. Esta ponderación dependerá fundamentalmente de las circunstancias concretas que rodeen al proyecto, por lo que variará según el caso, y se podrá llevar a cabo de mejor o peor forma dependiendo de la profundidad con que se hayan realizado los estudios previos.

La ponderación se realiza asignando un peso a cada criterio, considerando una clasificación de importancia de acuerdo a los siguientes niveles:

Tabla 28: Ponderación de alternativas.

Nivel	Peso
Muy importante	4
Importante	3
Media importancia	2
Poco importante	1

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

4.3.1. Ponderación eficacia de remoción.

Teniendo en cuenta que el efluente ira directo al rio Yunchará el cual desemboca a la sub cuenca de San Juan del Oro, el cual no tiene calificación. Se debe cumplir la calidad exigida por el anexo 2 del reglamento de contaminación hídrica. Pero como se vio previamente, los parámetros están dentro de los permitidos con lo cual se puede puntuar de manera relativamente baja estos criterios.

Fig. 14: Ponderación eficacia de remoción.

A. Eficacia de remoción	
A.1. Calidad exigida a los efluentes tratados	2
A.2. Tipo de contaminación de las aguas residuales a tratar	2
A.3. Tolerancia a las variaciones de caudal y carga	1

Fuente: Página web de selección de líneas de tratamiento.

4.3.2. Ponderación impactos ambientales.

Para la ponderación de estos criterios se debe tener en cuenta el terreno seleccionado previamente, el cual para el ejemplo está ubicado a 1 km de la comunidad, con lo cual al no interferir con el diario vivir de los habitantes también se puede puntuar de manera baja estos criterios.

Fig. 15: Ponderación de impactos ambientales.

E. Impactos medioambientales	
E.1. Producción de malos olores	2
E.2. Generación de gases de efecto invernadero	2
E.3. Generación de ruidos	2
E.4. Impacto visual	1

Fuente: Página web de selección de líneas de tratamiento.

4.3.3. Ponderación operación y mantenimiento.

Esta ponderación es muy importante porque hace énfasis en el nivel de complejidad que tendrá la línea de tratamiento y su posterior mantenimiento a lo largo de su vida útil.

Para la ponderación de este criterio se toma en cuenta que la comunidad de Yunchará es una comunidad relativamente pequeña, que cuenta con los servicios básicos, pero se encuentra lejos de la ciudad al igual que la población cuenta con la educación básica, por lo cual se deberá puntuar estos criterios con puntajes altos resaltando su importancia.

Fig. 16: Ponderación de operación y mantenimiento.

G. Operación y mantenimiento	
G.1. Requerimientos de personal cualificado	4
G.2. Disponibilidad de repuestos y de servicio técnico	4

Fuente: Página web de selección de líneas de tratamiento.

4.3.4. Ponderación de costos construcción y de operación y mantenimiento.

Teniendo en cuenta que la operación y el mantenimiento se enfoca directamente en el dinero que será empleado en la línea de tratamiento, es uno de los criterios más importantes a tratar.

Para la ponderación de este criterio se toma en cuenta que la comunidad de Yunchará no cuenta con presupuesto elevado, por lo cual se deberá puntuar estos criterios con puntajes altos resaltando su importancia.

Fig. 17: Ponderación de costos de construcción, mantenimiento y operación.

H. Costos de construcción y de operación y mantenimiento	
H.1. Costos de construcción	4
H.2. Costos de operación y mantenimiento	4

Fuente: Página web de selección de líneas de tratamiento.

4.4. Valoración de cada alternativa respecto al criterio de selección.

Cada criterio de selección se debe ponderar con un peso, que dependiendo de la importancia relativa que tenga en relación con los demás, será mayor o menor. Esta valoración se realiza de forma cuantitativa, estableciendo una escala arbitraria, de 1 a 5, donde:

- 5 mayor valoración.
- 1 menor valoración.

Después de relacionar las líneas que más se adecuan a los datos y características de la comunidad, las líneas que se valorarán serán las líneas:

- Línea 6.1: TI + FP
- Línea 7.1: TI + CBR

Estas líneas serán valoradas según sus características, ventajas y desventajas que presenten los siguientes criterios.

4.4.1 Valoración del criterio eficiencia de remoción.

4.4.1.1. Valoración de la calidad exigida a los efluentes tratados.

Se debe valorar cada alternativa en comparación con las demás, en relación a la calidad exigida del efluente, para lo cual se debe comparar las 2 tablas siguientes:

Tabla 29: Porcentaje de eliminación de contaminantes de las líneas.

Línea de tratamiento	SS (%)	DBO ₅ (%)	DQO (%)	N _T (%)	P _T (%)	Coliformes fecales (u. log.)
Línea 1	70 - 80	75 - 85	70 - 80	10 - 25	10 - 15	2 - 3
Línea 2	70 - 80	80 - 90	75 - 85	10 - 25	10 - 15	2 - 3
Línea 3	70 - 80	75 - 85	70 - 80	20 - 30	10 - 15	2 - 3
Línea 4.1	90 - 95	90 - 95	80 - 90	20 - 35	20 - 35	1 - 2
Línea 4.2	90 - 95	90 - 95	80 - 90	20 - 35	20 - 35	1 - 2
Línea 5	85 - 95	85 - 95	80 - 90	15 - 20	10 - 30	1 - 2
Línea 6.1	85 - 95	85 - 90	80 - 85	20 - 35	20 - 30	1
Línea 6.2	85 - 95	85 - 90	80 - 85	20 - 35	20 - 30	1
Línea 6.3	85 - 95	85 - 90	80 - 85	20 - 35	10 - 20	1
Línea 7.1	85 - 95	85 - 90	80 - 85	20 - 35	20 - 30	1
Línea 7.2	85 - 95	85 - 90	80 - 85	20 - 35	20 - 30	1
Línea 7.3	85 - 95	85 - 90	80 - 85	20 - 35	10 - 20	1
Línea 8.1	85 - 95	85 - 95	80 - 90	80 - 85	20 - 30	1
Línea 8.2	85 - 95	85 - 95	80 - 90	80 - 85	20 - 30	1

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

Según los límites permisibles del anexo A-2 del reglamento de contaminación hídrica, estos serían las eficiencias de las líneas:

Fig. 18: Eficiencias necesarias según los límites permisibles del anexo A-2.

Parámetro	Valor Ingresado	Max. Admisible (Diario)	Rendimiento (%)
Sólidos en suspensión	150	60	60.00%
DBO5	250	80	68.00%
DQO	549	250	54.46%
Coliformes	43000000	1000	100.00%

Fuente: Página web de selección de líneas de tratamiento.

Como se ve en las 2 tablas, las 2 líneas cumplen con la eficiencia requerida, con lo cual las dos líneas deben tener una valoración alta.

Fig. 19: Valoración de la calidad exigida a los efluentes tratados.

Alternativa	Resumen	Valoración	Ponderación	Total (V*P)
Línea 6.1		5	2	10
Línea 7.1		5	2	10

Fuente: Página web de selección de líneas de tratamiento.

4.4.1.2. Valoración del tipo de contaminación de las aguas a tratar.

Se debe valorar cada alternativa en comparación con las demás, en relación a su desempeño con el tipo de agua residual a tratar.

Para dar una valoración precisa, la guía nos proporciona la siguiente tabla:

Tabla 30: Comportamiento de las líneas con respecto al nivel de concentración de contaminación.

Tipo de agua residual	Línea de tratamiento		
	Muy adecuada	Adecuada	Menos adecuada
Contaminación fuerte (500-700 mg/L de DBO ₅)	Línea 8.1 / Línea 8.2 / Línea 2 / Línea 6.3 / Línea 7.3	Línea 4.2 / Línea 5 / Línea 1 / Línea 6.1 / Línea 6.2 / Línea 7.1 / Línea 7.2	Línea 3 / Línea 4.1
Contaminación media (300-500 mg/L de DBO ₅)	Todos las líneas de tratamiento son adecuadas		
Contaminación débil (< 150 mg/L de DBO ₅)	Línea 3 / Línea 4.1 / Línea 4.2 / Línea 5 / Línea 6.1 / Línea 6.2 / Línea 7.1 / Línea 7.2	Línea 1	Línea 8.1 / Línea 8.2 / Línea 2 / Línea 6.3 / Línea 7.3

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

Teniendo una DBO de 250 y según la tabla 31, se concluye que las líneas 6.1 y 7.1 son muy adecuadas con lo cual las 2 líneas tendrán una valoración de 5 puntos.

Fig. 20: Valoración del tipo de contaminación de las aguas a tratar.

Alternativa	Resumen	Valoración	Ponderación	Total (V*P)
Línea 6.1		5	2	10
Línea 7.1		5	2	10

Fuente: Página web de selección de líneas de tratamiento.

4.4.1.3. Valoración de la tolerancia a las variaciones de caudal y carga.

Se debe valorar cada alternativa en comparación con las demás, en relación su tolerancia a las variaciones de caudal y de carga contaminante.

Para dar una valoración precisa, la guía nos proporciona la siguiente tabla.

Tabla 31: Tolerancia de las líneas de tratamiento a variaciones de caudal y carga.

	Respuesta a variaciones de caudal	Respuesta a variaciones de carga
Muy buena	Línea 3 / Línea 4.1	Línea 8.1 / Línea 8.2 / Línea 3 / Línea 2 / Línea 6.3 / Línea 7.3
Buena	Línea 4.2 / Línea 8.1 / Línea 8.2	Línea 6.1 / Línea 6.2 / Línea 1 / Línea 7.1 / Línea 7.2
Regular	Línea 6.1 ¹ / Línea 6.2 ¹ / Línea 1 / Línea 5 / Línea 7.1 / Línea 7.2 / Línea 2 / Línea 6.3 ¹ / Línea 7.3	Línea 4.1 / Línea 4.2 / Línea 5

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

Según la tabla las líneas 6.1 y 7.1 tienen una tolerancia regular y buena con lo cual la valoración que se les dará será una media de 3 para cada una.

Fig. 21: Valoración de la tolerancia de las variaciones de caudal y carga.

Alternativa	Resumen	Valoración	Ponderación	Total (V*P)
Línea 6.1		3	1	3
Línea 7.1		3	1	3

Fuente: Página web de selección de líneas de tratamiento.

4.4.2. Valoración del criterio de impactos ambientales.

4.4.2.1. Valoración de la producción de malos olores.

Se debe valorar cada alternativa en comparación con las demás, en relación al riesgo de emisión de malos olores. Con lo cual la guía nos brinda una tabla para una valoración precisa.

Tabla 32: Riesgo de emisión de malos olores.

Riesgo de emisión de malos olores	Línea de tratamiento
Alto	Línea 1 / Línea 2 / Línea 6.3 / Línea 7.3 / Línea 3
Medio	Línea 7.1 / Línea 7.2 / Línea 6.1 / Línea 6.2 / Línea 4.1 / Línea 4.2 / Línea 5
Bajo	Línea 8.1 / Línea 8.2

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

Según la tabla las líneas 6.1 y 7.1 se encuentran en la casilla de medio con lo cual su valoración será de 3.

Fig. 22: Valoración de producción de malos olores.

Alternativa	Resumen	Valoración	Ponderación	Total (V*P)
Línea 6.1		3	2	6
Línea 7.1		3	2	6

Fuente: Página web de selección de líneas de tratamiento.

4.4.2.2. Valoración de los gases de efecto invernadero.

Se debe valorar cada alternativa en comparación con las demás, en relación a la emisión de gases de efecto Invernadero. Como referencia considere que las Líneas de Tratamiento que cuentan con procesos anaerobios, generan biogás, si este biogás no se recoge, se emiten a la atmósfera gases de efecto invernadero (metano y dióxido de carbono).

- Para la línea 6.1 su tecnología principal son los filtros percoladores con lo cual no emite muchos gases de efecto invernadero, teniendo en cuenta eso su valoración será de 4.

- Para la línea 7.1 su tecnología principal es los contactores biológicos rotativos los cuales emiten cierta cantidad de gases de efecto invernadero, teniendo en cuenta eso su valoración será de 2.

Fig. 23: Valoración de los gases de efecto invernadero.

Alternativa	Resumen	Valoración	Ponderación	Total (V*P)
Línea 6.1		4	2	8
Línea 7.1		2	2	4

Fuente: Página web de selección de líneas de tratamiento.

4.4.2.3. Valoración de la generación de ruido.

Se debe valorar cada alternativa en comparación con las demás, en relación al riesgo de generación de ruidos. Para una valoración precisa la guía nos presenta la siguiente tabla.

Tabla 33: Riesgo de emisión de ruidos.

Riesgo de emisión de ruidos	Línea de tratamiento
Alto	Línea 8.1 / Línea 8.2
Medio	Línea 7.1 / Línea 7.2 / Línea 6.1 / Línea 6.2 / Líneas 7.3 / Línea 6.3 / Línea 5
Bajo	Línea 1 ¹ / Línea 2 / Línea 4.2 ¹ / Línea 4.1. / Línea 3

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

Teniendo en cuenta que las líneas 6.1 y 7.1 recaen sobre la clasificación de medio, se dará una valoración de 3 a las 2 líneas.

Fig. 24: Valoración de generación de ruidos.

Alternativa	Resumen	Valoración	Ponderación	Total (V*P)
Línea 6.1		3	2	6
Línea 7.1		3	2	6

Fuente: Página web de selección de líneas de tratamiento.

4.4.2.4. Valoración del impacto ambiental.

Se debe valorar cada alternativa en comparación con las demás, en relación al impacto visual en entornos de valor medio ambiental o paisajístico. Para una valoración precisa la guía nos proporciona la siguiente tabla.

Tabla 34: Grado de integración paisajista.

Grado de integración paisajística	Línea de tratamiento
Buena	Línea 3 / Línea 4.1 / Línea 4.2 / Línea 5 ¹
Moderada	Línea 8.1 / Línea 8.2 / Línea 7.1 / Línea 7.2 / Línea 7.3 / Línea 1 / Línea 2 ²
Complicada	Línea 6.1 / Línea 6.2 / Línea 6.3

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

- Como se puede observar en la tabla la línea 6.1 tiene un grado complicado con lo cual su valoración será de 1.
- Como se puede observar en la tabla la línea 7.1 tiene un grado moderado con lo cual su valoración será de 3.

Fig. 25: Valoración de impacto ambiental.

Alternativa	Resumen	Valoración	Ponderación	Total (V*P)
Línea 6.1		1	1	1
Línea 7.1		3	1	3

Fuente: Página web de selección de líneas de tratamiento.

4.4.3. Valoración del criterio operación y mantenimiento.

4.4.3.1. Valoración del requerimiento de personal calificado.

Se debe valorar cada alternativa en comparación con las demás, en relación al Grado de Complejidad de las labores de operación y mantenimiento. Para una valoración precisa la guía nos proporciona la siguiente tabla.

Tabla 35: Complejidad de operación y mantenimiento de las líneas.

Complejidad	Líneas de tratamiento
Muy baja	Línea 3/Línea 1/ Línea 4.1
Baja	Línea 4.2/Línea 5
Media	Línea 2 / Línea 6.1 / Línea 6.2 / Línea 7.1 / Línea 7.2 / Línea 6.3 / Línea 7.3
Alta	Línea 8.1 / Línea 8.2

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

Como se puede observar en la tabla, las líneas 6.1 y 7.1 tienen un grado medio de operación y mantenimiento con lo cual su valoración será de 3.

Fig. 26: Valoración de requerimiento de personal calificado.

Alternativa	Resumen	Valoración	Ponderación	Total (V*P)
Línea 6.1		3	4	12
Línea 7.1		3	4	12

Fuente: Página web de selección de líneas de tratamiento.

4.4.3.2. Valoración de la disponibilidad de repuestos y servicios técnicos.

Se debe valorar cada alternativa en comparación con las demás, en relación a la disponibilidad de equipos, repuestos y el servicio técnico. Para dicha valoración se hizo la investigación correspondiente.

Tabla 36: Disponibilidad de repuestos para las líneas de tratamiento en Bolivia.

ORIENTACION PARA LA VALORACION
Tratamientos tipo: Lagunas de Estabilización, Humedales Artificiales de Flujo Superficial , requieren menos repuestos, su equipo es de fácil reparación a nivel local. No precisan de un servicio técnico externo permanente.
Tratamiento tipo Filtro percolador , precedidos de Tanque Imhoff o de RAFA , precisa repuestos sencillos que se encuentran en Bolivia. Destaca los repuestos de los bombes de recirculación y trasiego de lodos, de los que existen suministradores de garantía en el país. No precisa de un servicio técnico externo
Tratamientos tipo: CBR y Aireación Extendida presentan mayores problemas en este aspecto. Para el primero todos los componentes que forman los rotores deben importarse en caso de avería. Para la Aireación Extendida es necesario asegurarse de que se cuenta en el país con un adecuado servicio técnico postventa de equipos singulares (elementos de control del proceso, difusores, compresores, etc.).

Fuente: MMAyA 2021.

- Como se puede observar en la tabla la línea 6.1 que tiene como tecnología principal los filtros percoladores, los repuestos si existen en Bolivia con lo cual es accesible a adquirirlos, con lo cual su valoración será de 4.
- Como se puede observar en la tabla la línea 7.1 que tiene por tecnología principal los contactores biológicos rotativos, se presentan mayores problemas para encontrar sus repuestos, con lo cual su valoración será de 2.

Fig. 27: Valoración del requerimiento de repuestos técnicos y repuestos.

Alternativa	Resumen	Valoración	Ponderación	Total (V*P)
Línea 6.1		4	4	16
Línea 7.1		2	4	8

Fuente: Página web de selección de líneas de tratamiento.

4.4.4. Valoración del criterio de costos de construcción, operación y mantenimiento.

4.4.4.1. Valoración del costo de construcción.

Para esta valoración la página web realiza de forma automática la valoración de los costos de construcción para cada línea de tratamiento, y luego calcula el porcentaje de costo medio, para lo cual la guía nos proporciona la siguiente tabla.

Tabla 37. Valoración de construcción.

Complejidad	Valoración
Menor que el costo medio: >20%	Muy alta
Menor que el costo medio: entre 5 y 15%	Alta
Costo intermedio: 5% arriba o abajo	Media
Mayor que el costo medio: entre 5 y 15%	Baja
Mayor que el costo medio: >20%	Muy baja

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

Por consiguiente, la página web califica automáticamente según el porcentaje obtenido.

Fig. 28: Valoración del costo de construcción.

Alternativa	Resumen	Valoración	Ponderación	Total (V*P)
Línea 6.1		4	4	16
Línea 7.1		2	4	8

Fuente: Página web de selección de líneas de tratamiento.

4.4.4.2. Valoración de costo de operación y mantenimiento.

Para esta valoración la página web realiza de forma automática la valoración de los costos de operación y mantenimiento para cada línea de tratamiento, y luego calcula el porcentaje de costo medio, para lo cual la guía nos proporciona la siguiente tabla.

Tabla 38: Valoración de costos de operación y mantenimiento.

Complejidad	Valoración
Menor que el costo medio: >20%	Muy alta
Menor que el costo medio: entre 5 y 15%	Alta
Costo intermedio: 5% arriba o abajo	Media
Mayor que el costo medio: entre 5 y 15%	Baja
Mayor que el costo medio: >20%	Muy baja

Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

Por consiguiente, la página web califica automáticamente según el porcentaje obtenido.

Fig. 29: valoración del costo de operación y mantenimiento.

Alternativa	Resumen	Valoración	Ponderación	Total (V*P)
Línea 6.1		4	4	16
Línea 7.1		2	4	8

Fuente: Página web de selección de líneas de tratamiento.

4.5. Matriz de decisión.

Teniendo definidos los valores y ponderaciones de cada criterio, la página multiplica automáticamente los valores y los suma mostrando la línea de tratamiento que mejor se adecua a nuestras necesidades.

Por lo cual solo queda seleccionar la línea con mayor puntuación.

Fig. 30: Matriz de selección final.

MATRIZ DE DECISIÓN	Línea 6.1	Línea 7.1
CRITERIOS DE SELECCIÓN	Línea 6.1	Línea 7.1
A. EFICACIA DE REMOCIÓN		
A.1. Calidad exigida a los efluentes tratados	10	10
A.2. Tipo de contaminación de las aguas residuales a tratar	10	10
A.3. Tolerancia a las variaciones de caudal y carga	3	3
E. IMPACTOS AMBIENTALES		
E.1. Producción de malos olores	6	6
E.2. Generación de gases de efecto invernadero	8	4
E.3. Generación de ruidos	6	6
E.4. Impacto visual	1	3
G. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		
G.1. Requerimientos de personal cualificado	12	12
G.2. Disponibilidad de repuestos y de servicio técnico	16	8
H. COSTOS		
H.1. Costos de construcción	16	8
H.2. Costos de operación y mantenimiento	16	8
PUNTUACIÓN TOTAL	104	78
SELECCIONAR LÍNEA	<input checked="" type="checkbox"/> Línea 6.1	<input type="checkbox"/> Línea 7.1

Fuente: Página web de selección de líneas de tratamiento.

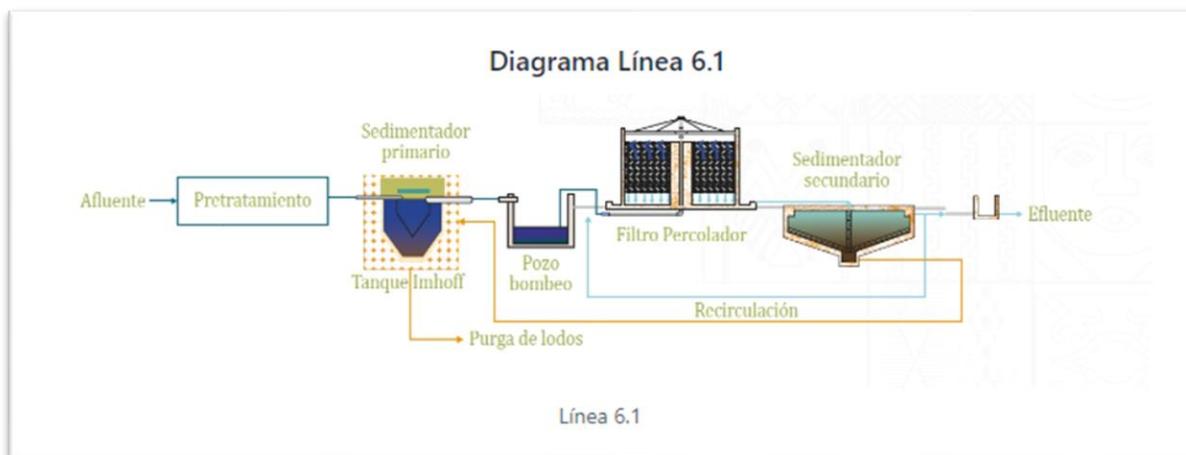
4.6. Selección final

Con la línea con mayor puntuación seleccionada, se concluye que la línea 6.1 es la que más se adecua a las necesidades. Para lo cual la página nos muestra los datos más resaltantes como el presupuesto de construcción y el área de terreno necesario, así también una gráfica de la línea de tratamiento.

Fig. 31: Datos más resaltantes de la línea seleccionada.

Línea	Descripción	Línea Agua	Línea Lodos
Línea 6.1	Pretratamiento + Tanques Imhoff + Filtros Percoladores + Sedimentadores Secundarios	TI + FP	LS
Superficie necesaria (m2)			
2674 m2			
Costo de construcción estimado (Bs)		Costo anual estimado de O&M (Bs)	
Bs 7.606.382,00		Bs 222.291,00	

Fig. 32: Diagrama de línea de tratamiento seleccionada.



Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

CAPÍTULO V

DISEÑO Y DESARROLLO DE LA PAGINA WEB

Con el procedimiento indicado en la guía técnica de selección y diseño de líneas de tratamiento de agua residual, se procedió al diseño y desarrollo de la página web.

Desarrollo web es un término que define la creación de sitios web para Internet o una intranet. Para conseguirlo se hace uso de tecnologías de software del lado del servidor y del cliente que involucran una combinación de procesos de base de datos con el uso de un navegador web a fin de realizar determinadas tareas o mostrar información” (Rdesing 2016).

Para la creación de esta página se utilizaron muchas herramientas y componentes, así mismo una metodología utilizada en el área de la informática.

5.1. Herramientas utilizadas en el sistema.

En este apartado se nombrarán todas las herramientas/programas que se utilizaron para la creación de la página web.

5.1.1. Visual Studio Code.

IDE de Visual Studio es una plataforma de lanzamiento creativa que puede utilizar para editar, depurar y compilar código y, finalmente, publicar una aplicación. Además del editor y depurador estándar que ofrecen la mayoría de IDE, Visual Studio incluye compiladores, herramientas de completado de código, diseñadores gráficos y muchas más funciones para mejorar el proceso de desarrollo de software. (Microsft, 2022)

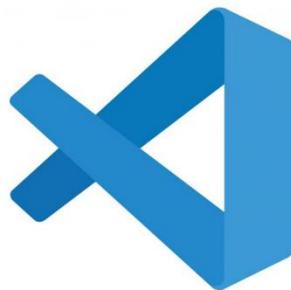


Ilustración 1: Logo Visual Studio Code.

5.1.2. React.

React es un framework de JavaScript utilizado para construir interfaces de usuario interactivas y dinámicas. Su estructura modular permite desarrollar aplicaciones web escalables y de alto rendimiento

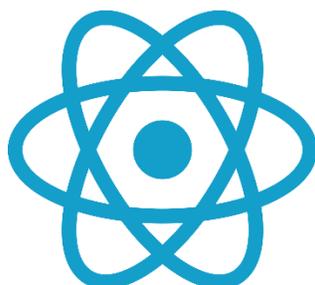


Ilustración 2: Logo React

5.1.3. JavaScript.

JavaScript es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado y orientado a objetos, utilizado principalmente en el desarrollo web, pensado para agregar potencial de interacción y dinamismo a las páginas web. Proporciona una amplia gama de funcionalidades, como manipulación del DOM (Document Object Model) para interactuar con elementos de una página web, manejo de eventos, comunicación con servidores a través de AJAX, creación de animaciones, validación de formularios y mucho más. Es un lenguaje flexible y dinámico que permite a los desarrolladores crear experiencias interactivas y ricas en contenido.



Ilustración 3: Logo JavaScript

5.1.4. Tailwind.

Tailwind CSS es un marco de diseño de utilidad de bajo nivel que permite crear interfaces de usuario estilizadas de manera eficiente. Su enfoque basado en clases facilita la creación de diseños personalizados y consistentes.



Ilustración 4: Logo Tailwind.

5.1.5. Firebase.

Firebase es una plataforma en la nube que proporciona una variedad de servicios para el desarrollo de aplicaciones web y móviles. En este caso, se utiliza como backend para el almacenamiento de datos y la gestión de usuarios.



Ilustración 5: Logo Firebase.

5.1.6. Navegador Microsoft Edge.

Está basada en Chromium, un sistema open source desarrollado por Google. En este sentido, verás que muchas de las funciones y su interfaz son muy similares a las de Chrome o Mozilla, aunque también presenta otras exclusivas, como la integración del asistente personal Microsoft Cortana de control de voz.



Ilustración 6: Logo Navegador Microsoft Edge.

5.2. Metodología utilizada.

En el área de informática es muy importante seguir una metodología según el requerimiento que exijan los usuarios a quienes está destinada la página web.

5.2.1. Metodología RUP.

La metodología RUP consiste en una estructura de trabajo de proceso con el objetivo del producto y por tanto basada en el modelo Unified Modeling Language (UML), cuando se habla de programación orientada a objetos.

El UML compone un lenguaje para definir una secuencia de artefactos y ayudar en la ejecución de las tareas del sistema a desarrollar, a través de diferentes tipos de diagramas.

Todas las técnicas y prácticas utilizadas en el modelo RUP están probadas en la industria del software y la gestión de proyectos.

Aunque RUP se utiliza para proyectos complejos y con equipos extensos, permite realizar actividades y artefactos de acuerdo con la elección del equipo y se puede adaptar para agilizar el proceso.

5.2.2. Fases de la metodología RUP.

La metodología RUP se divide en 4 fases.

Fase de inicio: Se define el alcance del proyecto con los clientes, se identifican los riesgos asociados al proyecto, se elabora el plan de las fases y el de la iteración posterior, se detalla de manera general la arquitectura del software.

Fase de Elaboración: Se diseña la solución preliminar, se selecciona los casos de uso que permiten definir la arquitectura base del sistema y se desarrollara el primer análisis del dominio del problema.

Fase de desarrollo o construcción: La función de esta fase es completar la funcionalidad del sistema, se clarifican los requisitos pendientes, se administran los cambios de acuerdo a las evaluaciones realizadas por los usuarios, y se realizan las mejoras para el proyecto (implementación).

Fase de transición: Fase de cierre, el propósito es asegurar que le software esté disponible para los usuarios finales, se ajustan los errores y defectos encontrados en las pruebas de aceptación, se capacitan a los usuarios y se provee el soporte necesario.

Planear las 4 fases incluye: Asignación de tiempo, Hitos Principales, Iteraciones por Fases, Plan de proyecto (fin del proyecto y pruebas). (Ortega, s.f.)

Fig. 33: Fases de la metodología



Fuente: Ortega, s.f.

5.3. Conceptos de diseño y desarrollo de la página web.

Se conoce como desarrollo web al proceso de crear y mantener un sitio web que sea funcional en internet, a través de diferentes lenguajes de programación, según el modelo y la parte de la página que corresponda. Cada sitio tiene una URL única que lo distingue de los demás en la red informática mundial.

Un sitio web puede clasificarse de diferentes formas. Para cuestiones de desarrollo web principalmente se divide en dos partes.

- Frontend. Es la parte que interactúa con el usuario, tanto en imagen como en función. Por ello está íntimamente relacionada con la experiencia del usuario (UX) y la interfaz de usuario (IU).
- Backend. Se refiere a la parte que está en contacto directo con el servidor; es donde se aplica el código de programación para crear la estructura. Permanece en un segundo plano a cargo de la accesibilidad, actualización, bases de datos y cambios del sitio.

5.3.1. Diseño de la página web.

El diseño web está relacionado con el frontend, pues se encarga de definir la apariencia estética del sitio web.

Los diseñadores web se enfocan en crear la apariencia y la experiencia del usuario en el sitio, utilizando una paleta de colores y herramientas como. En específico, se centran en aspectos como la imagen, gama de colores, cómo se verá el contenido, incluyendo texto, videos, fotografías, iconos, botones, menús, barras y demás elementos. Su objetivo es que el sitio sea fácil de entender y usar.

5.3.2. Desarrollo de la página web.

El desarrollo web va de la mano del backend. Se asegura de que el código que sostiene la estructura sea funcional y a su vez lógico. También se hace cargo de la gestión de contenido y la base de datos de la web.

Se refiere a la parte técnica de la construcción del sitio web. Los desarrolladores web se enfocan en la codificación y programación del sitio web utilizando lenguajes como HTML, CSS, JavaScript y otros. Su objetivo es que el sitio responda correctamente a las interacciones que realice el usuario en él y concretar un stack tecnológico adecuado.

5.4. Proceso de desarrollo de la página web.

5.4.1. Diseño y Estructura de la Interfaz.

Se define la estructura y el diseño de la interfaz de usuario utilizando React y Tailwind CSS. Se crean componentes modulares y estilizados para garantizar una experiencia de usuario atractiva y coherente.

5.4.2. Implementación de la Lógica de Selección.

Se utiliza JavaScript para implementar la lógica de selección de líneas de tratamiento. Esto incluye la definición de algoritmos y procesos para ayudar a los usuarios a elegir la línea de tratamiento más adecuada según sus necesidades.

5.4.3. Integración con Firebase.

Se integra Firebase en la aplicación para el almacenamiento de datos y la gestión de usuarios. Se utilizan las herramientas proporcionadas por Firebase, como Firestore para la base de datos y Firebase Authentication para la autenticación de usuarios.

5.5. Composición de la página web.

La página web desarrollada es una herramienta sofisticada la cual requirió mucho tiempo de realización.

Con el fin de que la interfaz sea amigable con el usuario, la página web no tiene muchos apartados y se limita a cumplir con lo propuesto en el objetivo principal y objetivos específicos del presente proyecto de grado.

5.5.1. Inicio de Sesión.

Con el fin de conocer y recopilar los datos de todos los usuarios se implementó el apartado de inicio de sesión, donde todos los que deseen utilizar la página web puedan registrarse y tener su propio dominio donde tengan sus propios reportes guardados y datos anteriores.

5.5.2. Página de inicio.

Esta es la ventana de bienvenida de la página, donde su función es solo recibir a los usuarios y mostrar el índice de todos los demás apartados.

5.5.3. Selección de Líneas de Tratamiento.

Esta es la ventana más importante de la página web, en este apartado el usuario puede empezar con la selección de las líneas de tratamiento, esta ventana cuenta con 9 sub-ventanas las cuales están basados en los 9 pasos propuestos por la guía

-Conocimientos técnicos.

-Estudios previos.

-Criterios de selección.

-Eliminación de tratamientos.

-Ponderación de los criterios de selección

-Valoración de cada alternativa.

-Matriz de decisión.

-Selección final.

En cada apartado de esta ventana el proyectista deberá ir avanzando según los datos previos que tenga para la selección y su conocimiento en plantas de agua residual.

5.5.4. Reportes.

Esta es una de las ventanas más importantes, ya que gracias a la base de datos tenemos la facilidad de guardar toda la selección previa, así como los datos y parámetros subidos a la página web anteriormente.

En esta ventana se puede volver a revisar trabajos de elecciones anteriores que fueron previamente guardadas, sin la necesidad de buscar o guardar en otros lugares.

5.5.5. Biblioteca.

Esta ventana tiene la finalidad de proporcionar bibliografía básica con respecto a las plantas de tratamiento de agua residual y similares.

Esto con el fin de facilitar a los usuarios información útil para llevar a cabo el proceso de selección de manera eficaz.

5.5.6. Calculadora de eficiencias.

Esta es otra herramienta propuesta para facilitar la combinación de otras tecnologías que no están estipuladas en la guía, esta ventana se creó con los distintos rendimientos de cada una de las tecnologías que están propuestas en la guía con el fin de calcular el rendimiento de la línea propuesta según los datos de los parámetros previamente introducidos.

5.6. Acerca de la página web.

Una vez finalizado el diseño, desarrollo y validación de la página web. Se habilitó el dominio en la red para su posterior utilización.

<https://lineadeseleccionptar.web.app>

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La página web desarrollada es una herramienta que ayuda y proporciona criterios de selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, según los lineamientos que proporciona el MMAYA y las normativas existentes.
- Los resultados obtenidos a partir de la aplicación práctica con datos reales en la página web demuestran su funcionalidad y utilidad en el proceso de selección de líneas de tratamiento de agua residual. Esto se evidencia en la capacidad de la plataforma para ofrecer recomendaciones precisas y personalizadas basadas en los datos proporcionados por el proyectista.
- Con la implementación de herramientas extras como la calculadora de eficiencias y la biblioteca de normas y reglamentos existentes de plantas de tratamiento de agua residual, se contribuye al conocimiento y facilidad de manera extra para los usuarios que utilizan la página web.
- Gracias a la facilidad tecnológica, todos los datos del proyectista así también los intentos que realiza en la página web quedan guardados en un dominio, en el cual el usuario tiene la facilidad y alcance de revisarlos cuando desee.
- Al facilitar la selección y diseño adecuado de líneas de tratamiento de agua residual, la página web puede contribuir de manera significativa a la preservación del medio ambiente al promocionar prácticas sostenibles en el manejo de recursos hídricos.
- La página web al estar basado en la guía técnica de selección y diseño de líneas de tratamiento de agua residual realizada por el Ministerio de Medio ambiente y Agua presenta un potencial significativo de escalabilidad, lo que significa que puede adaptarse y expandirse para abordar una variedad más amplia de desafíos relacionados con el tratamiento de aguas residuales y cumplir con lo exigido por las normativas bolivianas. Esto la convierte en una herramienta versátil y de largo alcance para profesionales e investigadores en el campo.
- La creación de la página web resalta la importancia de la innovación tecnológica en la resolución de problemas ambientales y de ingeniería civil. Al aprovechar las capacidades de las tecnologías digitales, podemos desarrollar soluciones más

eficientes y efectivas para desafíos complejos como el tratamiento de aguas residuales.

6.2. Recomendaciones.

- Los usuarios que utilicen la página web deben tener conocimiento previo sobre la selección de plantas de tratamiento, para un mejor criterio se recomienda leer todos los tomos de la “Guía técnica para selección y diseño de líneas de tratamiento de agua residual” y bibliografía referente al tema.
- Si bien la página web facilita los datos de los parámetros del efluente según las tablas de la guía al usuario en caso de que este no cuente con ellas, se recomienda que el proyectista realice los laboratorios correspondientes para tener resultados más precisos y tener una selección precisa de la línea deseada.
- Se recomienda hacer un estudio a profundidad de la zona o población en donde se requiere realizar la PTAR, ya que tales datos serán muy importantes para realizar una selección de la línea deseada.
- Se debe tomar en cuenta los criterios limitantes a la hora de la selección de la línea deseada, ya que según las prioridades que se deseen dar a ciertos criterios, la selección final será muy diferente a lo recomendada.
- Es fundamental realizar una validación continua de la página web mediante la recopilación de datos adicionales y la retroalimentación de usuarios reales. Esto garantizará que la plataforma se mantenga actualizada y que sus recomendaciones sean consistentes con las últimas prácticas y regulaciones en el campo del tratamiento de aguas residuales.