

CAPÍTULO I

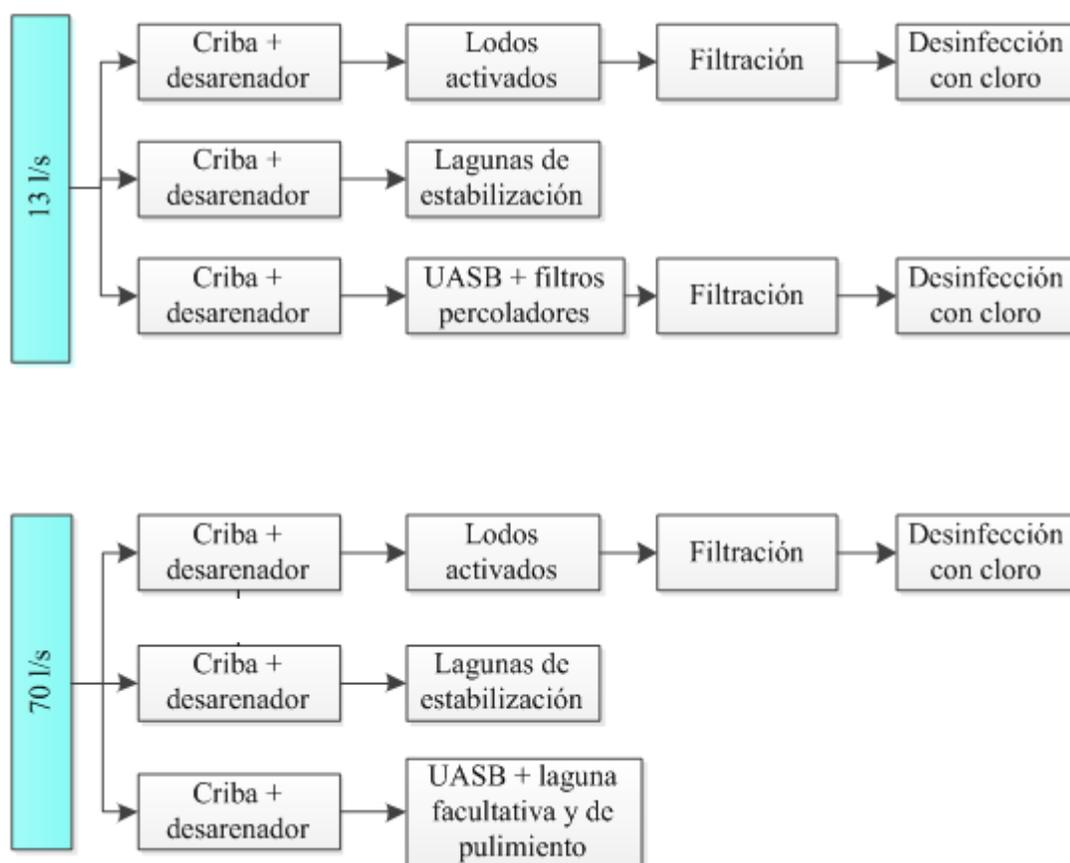
DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

I. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

1.1 IDENTIFICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

1.1.1 Tecnologías existentes para el tratamiento de aguas residuales

Los componentes individuales de tratamiento se clasifican en operaciones físicas unitarias, procesos químicos o biológicos unitarios. Estas operaciones y procesos unitarios se combinan en los sistemas de depuración de aguas residuales, dando lugar a un tren de tratamiento, para un mejor estudio se integraron trenes de tratamiento en base a los caudales de aguas residuales como se muestra en la Figura 1-1.



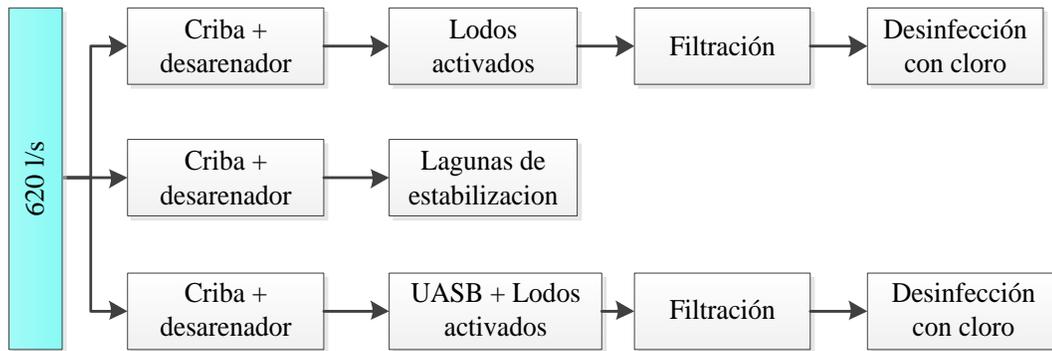


Figura 1-1. Configuración de Trenes de Tratamiento Representativos en Latinoamérica. Adaptado de Noyola, Morgan y Güereca (2013)

1.1.2 Modelo del proceso tecnológico empleado en la PTAR de Caraparí.

Las lagunas de estabilización operan con concentraciones reducidas de biomasa que ejercen su acción a lo largo de periodos prolongados. La eliminación de la materia orgánica en las lagunas de estabilización es el resultado de una serie compleja de procesos físicos, químicos y biológicos (Noyola, 2013). Para tener un tratamiento completo dentro de la PTAR de Caraparí se combina la tecnología de lagunas de estabilización con otros tratamientos como ser el cribado, desarenado, desgrasado y digestiones en reactores UASB; dependiendo de los requerimientos según las características de las aguas residuales.

A continuación se muestra un diagrama de flujo del tratamiento de aguas residuales en reactor UASB combinado con laguna facultativa que es muy semejante al sistema de tecnologías de tratamiento empleado en la PTAR de Caraparí.

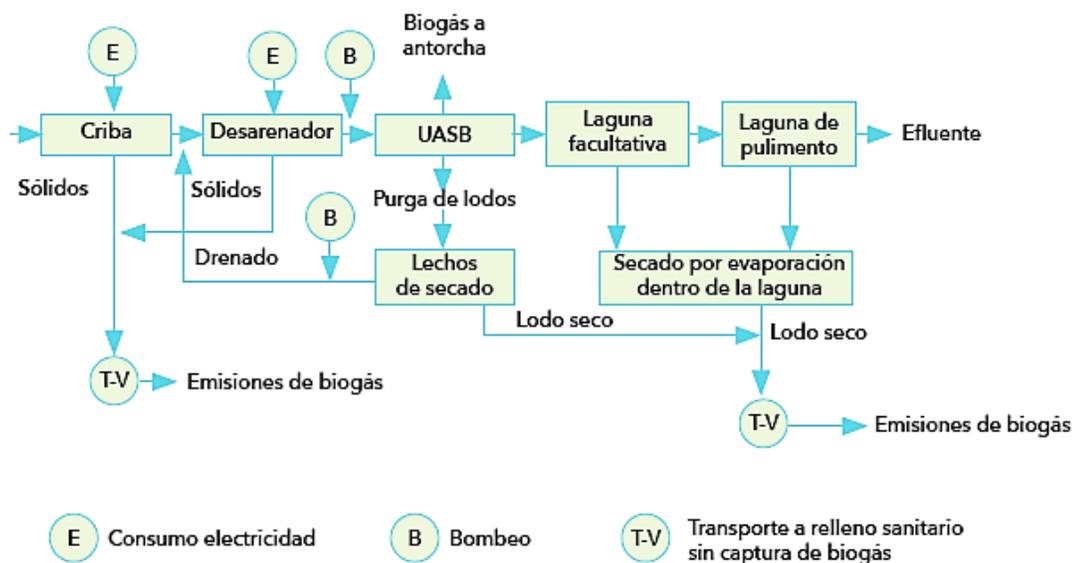


Figura 1-2. Diagrama de Flujo de UASB + Lagunas de Facultativa y de Pulimento. Noyola (2013).

Como se expone en la Figura 1-1, este escenario (Figura 1-2) pertenece a un caudal de 70 l/s, es una combinación de un UASB con recuperación y quema de metano y un sistema lagunar (laguna Facultativa y maduración). El diseño de las lagunas contempla el secado de lodos dentro de las propias lagunas por evaporación después de periodos variables en función del tipo de laguna mientras que los lodos del UASB son llevados a lechos de secado. Ambos lodos son dispuestos en relleno sanitario sin captura de biogás. (Noyola, 2013)

1.2 MATERIA PRIMA

El agua, es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en su forma gaseosa denominada vapor. Se encuentra en la naturaleza en estado más o menos puro formando parte de ríos, lagos y mares; ocupa las tres cuartas partes del planeta Tierra. (Arce, 2013)

1.2.1 Fuentes de Agua

El total del agua presente en el planeta, en todas sus formas, se denomina hidrósfera. El agua cubre 3/4 partes (71 %) de la superficie de la Tierra. Se puede encontrar esta sustancia en prácticamente cualquier lugar de la biósfera y en tres estados de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso. (Arce, 2013)

Las fuentes potencialmente utilizables de agua están constituidas por:

- Aguas superficiales (ríos, quebradas, lagos naturales y artificiales).
- Aguas subterráneas (vertientes y pozos).
- Aguas de lluvia.

1.2.2 Aguas Residuales

Las aguas residuales son la combinación de los residuos líquidos contaminados procedentes tanto de residencias como de industrias. En general las aguas residuales se clasifican así: agua residual doméstica, lluvias, industriales y agrícolas.

El agua utilizada retorna a las fuentes hídricas como aguas residuales sin tratar en la mayoría de los casos generando así contaminación y disminuyendo la calidad de vida de las comunidades con sus consiguientes impactos económicos, sociales y ambientales. (Ortega, 2016)

1.2.3 Aguas Residuales urbanas o domésticas

Son las provenientes de las actividades domésticas de la vida diaria como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza. Estos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas. Su composición varía según los hábitos de la población que los genera. (Ortega, 2016)

1.2.4 Características de las aguas residuales domésticas

Las características más importantes de las aguas residuales domésticas definidas por Ortega (2016) son:

Color: suele presentar coloración beige clara, pasando a ser de color gris.

Olor: presenta un olor desagradable esto se debe se debe principalmente a la presencia de determinadas sustancias producidas por la descomposición anaerobia de la materia orgánica: ácido sulfhídrico, indol, escatoles, mercaptanos y otras sustancias volátiles.

Temperatura: el afluente de la PTAR presenta una temperatura de 22,5 a 23 °C.

Sólidos: de forma genérica, los sólidos son todos aquellos elementos o compuestos presentes en el agua residual urbana que no son agua.

Las características químicas de las aguas residuales urbanas vienen definidas por sus componentes orgánicos, inorgánicos y gaseosos.

Las características biológicas 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.

1.2.5 Principales contaminantes y parámetros a controlar en aguas residuales

Los principales compuestos a controlar y eliminar de las aguas residuales urbanas según (Montes, 2015) pueden resumirse en los siguientes:

Objetos gruesos: trozos de madera, trapos, plásticos, etc., que son arrojados a la red de alcantarillado.

Arenas: bajo esta denominación se engloban las arenas propiamente dichas, gravas y partículas más o menos grandes de origen mineral u orgánico.

Grasas y aceites: sustancias que al no mezclarse con el agua permanecen en su superficie dando lugar a natas. Su procedencia es tanto doméstica como industrial.

Sustancias con requerimientos de oxígeno: materia orgánica y compuestos inorgánicos que se oxidan fácilmente, lo que provoca un consumo del oxígeno del medio al que se vierten.

Nutrientes (Nitrógeno y Fósforo): su presencia en las aguas es debida principalmente a los detergentes y a los fertilizantes. También las heces humanas aportan nitrógeno orgánico. El nitrógeno, fósforo y carbono son nutrientes esenciales para el crecimiento de los organismos. Cuando se vierten al medio acuático, pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Si se vierten al terreno en cantidades excesivas pueden provocar la contaminación del agua subterránea.

Agentes patógenos: organismos presentes en mayor o menor cantidad en las aguas residuales y que pueden producir o transmitir enfermedades (virus, bacterias, protozoos, hongos, etc.).

Contaminantes emergentes o prioritarios: los hábitos de consumo de la sociedad actual generan una serie de contaminantes que no existían. Estas sustancias aparecen añadidas a productos de cuidado personal, de limpieza doméstica, farmacéuticos, etc.

1.2.6 Caracterización de aguas residuales

Para caracterizar las aguas residuales se emplean un conjunto de parámetros que permiten cuantificar los contaminantes anteriormente definidos. Los parámetros de uso más habitual según (Montes, 2015) son los siguientes:

Sólidos en Suspensión: sólidos que no pasan a través de una membrana filtrante de un tamaño determinado (0,45 micras). Dentro de los sólidos en suspensión se encuentran los sólidos sedimentables, que decantan por su propio peso y los no sedimentables.

Aceites y Grasas: el contenido en aceites y grasas presentes en un agua residual se determina mediante su extracción previa con un disolvente apropiado, la posterior evaporación del disolvente y el pesaje del residuo obtenido.

Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5): cantidad de oxígeno disuelto (mg O₂/l) necesario para oxidar biológicamente la materia orgánica de las aguas residuales. En el transcurso de los cinco días de duración del ensayo se consume aproximadamente el 70 % de las sustancias biodegradables.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): cantidad de oxígeno (mg O₂/l) necesaria para oxidar los componentes del agua recurriendo a reacciones químicas.

Nitrógeno: se presenta en las aguas residuales en forma de amoníaco fundamentalmente y, en menor medida, como nitratos y nitritos. Para su determinación se recurre a métodos espectrofotométricos.

Fósforo: en las aguas residuales aparece principalmente como fosfatos orgánicos y polifosfatos. Para su determinación se emplean métodos espectrofotométricos.

Organismos patógenos: como organismos indicadores de contaminación fecal. Se utilizan normalmente los Coliformes (Totales y Fecales).

1.2.6.1 Caracterización de las aguas residuales domésticas de Caraparí

Para caracterizar las aguas residuales se hicieron los análisis de laboratorio respectivos, tomando una muestra significativa de aguas residuales domésticas que llegan a la PTAR. Se analizó los parámetros más significativos; DQO, DBO₅, Coliformes, sólidos en suspensión, Temperatura y pH; Estos dos últimos deben ser medidos in situ. A continuación se presentan los resultados de los análisis, caracterizando así la composición físico química y microbiológica del afluente de la PTAR.

Tabla I-1

Características Físico Químicas de las Aguas Residuales que Ingresan a la PTAR de Caraparí (Afluente)

Parámetros	unidad	Resultados	Límites permisibles para descargas líquidas ley 1333
DBO ₅	mg/l	248	80
DQO	mg/l	474	250
Nitrógeno total	mg/l	574,13	4,0
Fósforo total	mg/l	33,29	2,0
Temperatura	°C	23.7	±5°C
PH		7,54	6,9
Sólidos suspendidos	mg/l	157	60

Nota. Los resultados corresponden únicamente a la muestra extraída de la PTAR de Caraparí mediante técnica de muestra compuesta. Adaptado de Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo [CEANID] de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (2018)

Tabla I-2

Características Microbiológicas de las Aguas Residuales que Ingresan a la PTAR de Caraparí (Afluente)

Parámetros	unidad	Resultados	Límites permisibles para descargas líquidas ley 1333
Coliformes totales	NMP/100ml	4,6E+07	1000
Coliformes fecales	NMP/100ml	2,4E+07	1000

Nota. Los resultados corresponden únicamente a la muestra extraída de la PTAR de Caraparí mediante técnica de muestra simple. Adaptado de Laboratorio de control de calidad de aguas [COSAAALT-LTDA](2018)

1.2 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

El municipio de Caraparí es la Segunda Sección de la provincia Gran Chaco del departamento de Tarija, limita:

- Al Norte con el Municipio de Villamontes (Tercera Sección de la Provincia Gran Chaco).
- Al Sur con el Municipio de Bermejo (Segunda Sección de la Provincia Arce).
- Al Oeste con el Municipio de Entre Ríos (Provincia O'Connor).
- Al Este con el Municipio de Yacuiba (Primera Sección de la Provincia Gran Chaco) y la República de Argentina.

Las altitudes de la región oscilan desde los 2.125 msnm en las cumbres más altas del cerro Alto Caucota hacia el Oeste, los 1.866 msnm en la serranía Aguaragüe hacia el Este, hasta menos de 500 msnm en las partes más bajas ubicadas en las riberas del Río Pilcomayo, hacia el Norte. Los asentamientos humanos se encuentran por debajo de los 1.000 msnm.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se encuentra en el municipio de Caraparí, Ubicada en la zona sur de Caraparí, al final de la Calle 25 de mayo y orillas del Río Caraparí; sus coordenadas geográficas son: Latitud 21°49'41" y Longitud 63°45'0".



Figura 1-3. Localización de la PTAR de Caraparí. Google GeoPosicion (2018)

1.3 DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Caraparí cuenta con:

- Canal de entrada y sistema de bypass
- Rejilla gruesa de 5 cm y fina de 2,5 cm
- Desarenador
- Desgrasador o decantador

- Reactor UASB y filtros anaeróbicos
- Tanque de aireación
- Laguna facultativa
- Humedal artificial
- Lechos de secado para lodos

Que se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

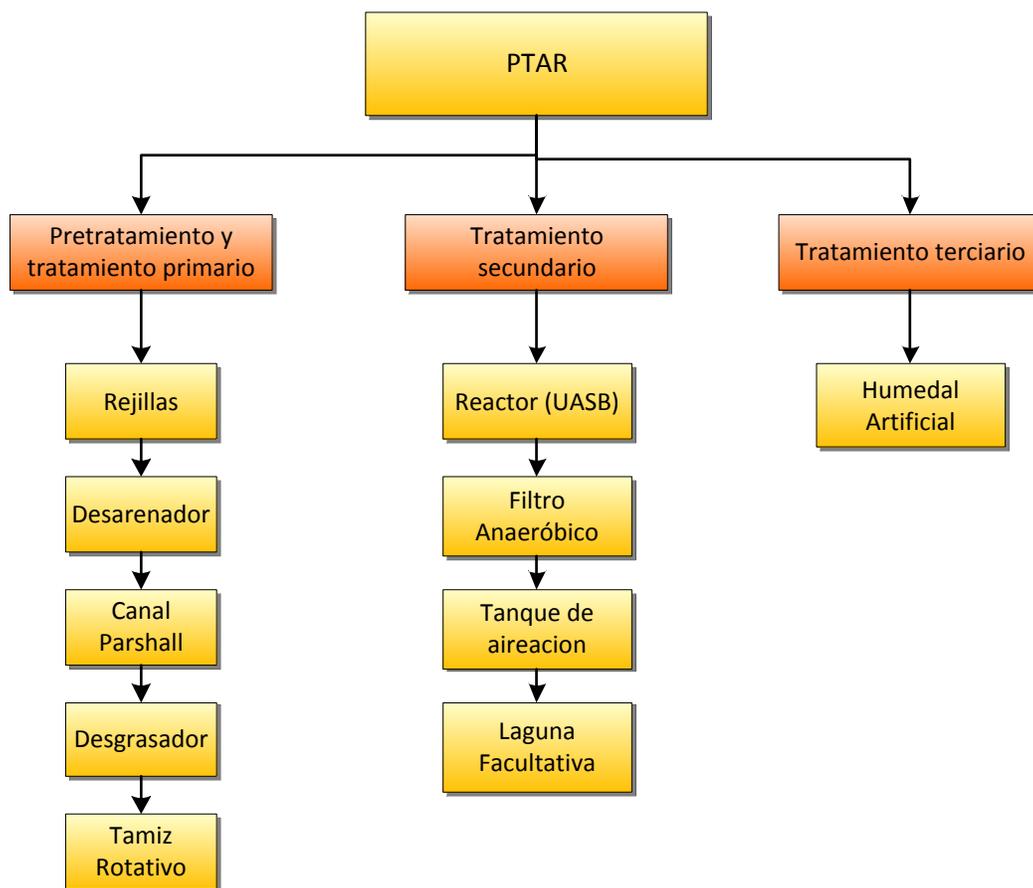


Figura 1-4. Diagrama de Bloques, Distribución de la PTAR de Caraparí. Elaboración propia

1.3.1 Planos de las distintas unidades de tratamiento de la PTAR de Caraparí

Para un mejor estudio se presenta primero el plano general de la PTAR, luego los planos de cada una de las etapas, donde muestra a detalle su diseño.

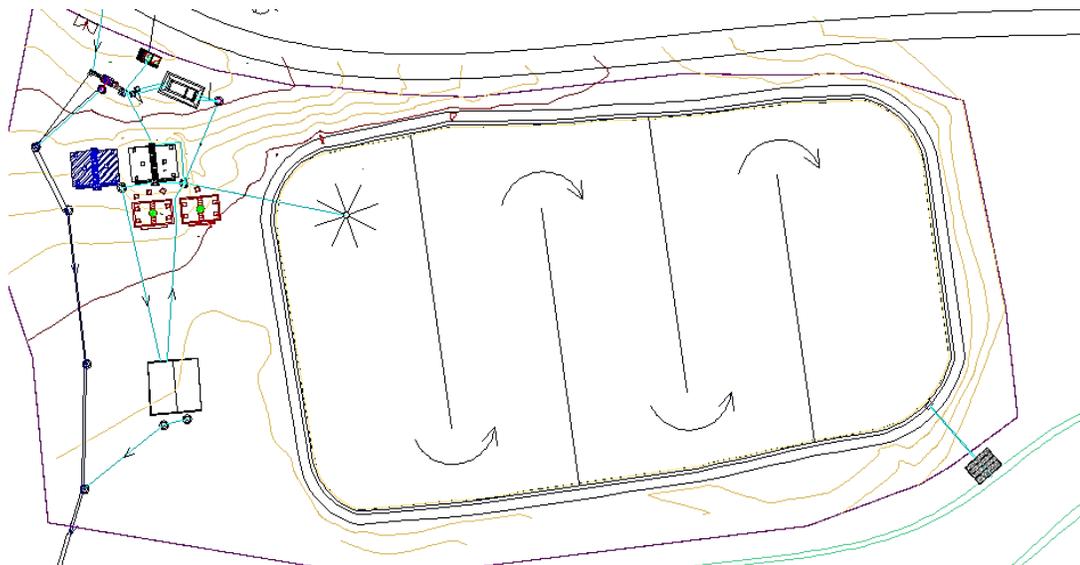
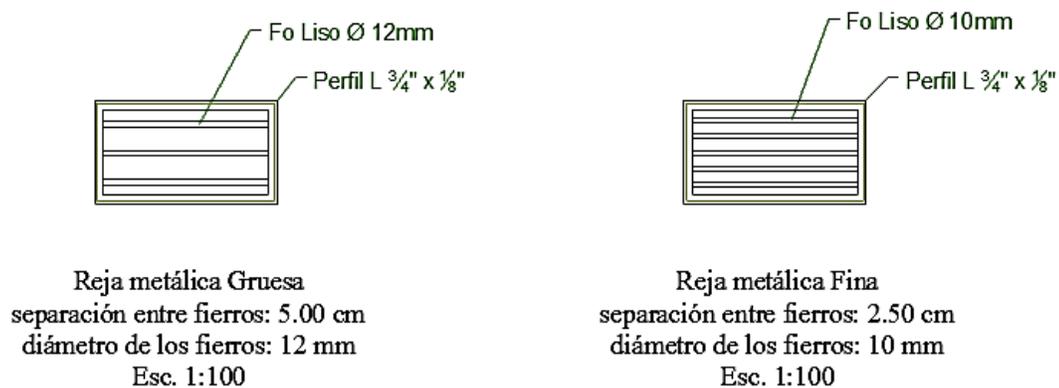


Figura 1-5. Plano general de la PTAR. Saneamiento básico del Gobierno Autónomo Municipal de Caraparí (2018)



Reja metálica Gruesa
separación entre fierros: 5.00 cm
diámetro de los fierros: 12 mm
Esc. 1:100

Reja metálica Fina
separación entre fierros: 2.50 cm
diámetro de los fierros: 10 mm
Esc. 1:100

Figura 1-6. Plano de rejillas. Saneamiento básico del Gobierno Autónomo Municipal de Caraparí (2018)

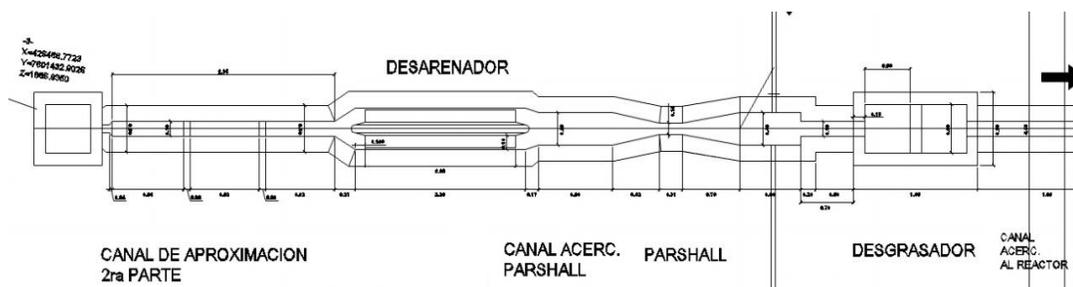


Figura 1-7. Plano del Desarenador, Canal Parshall y Desgrasador. Saneamiento básico del Gobierno Autónomo Municipal de Caraparí (2018)

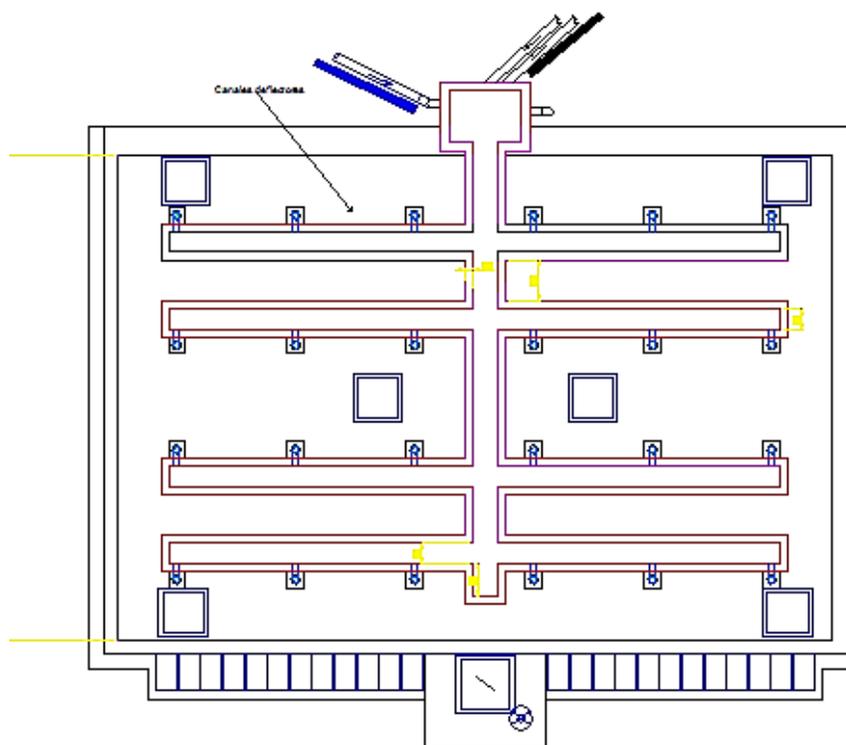


Figura 1-8. Planta Superior del Reactor UASB. Saneamiento Básico del Gobierno Autónomo Municipal de Caraparí (2018)

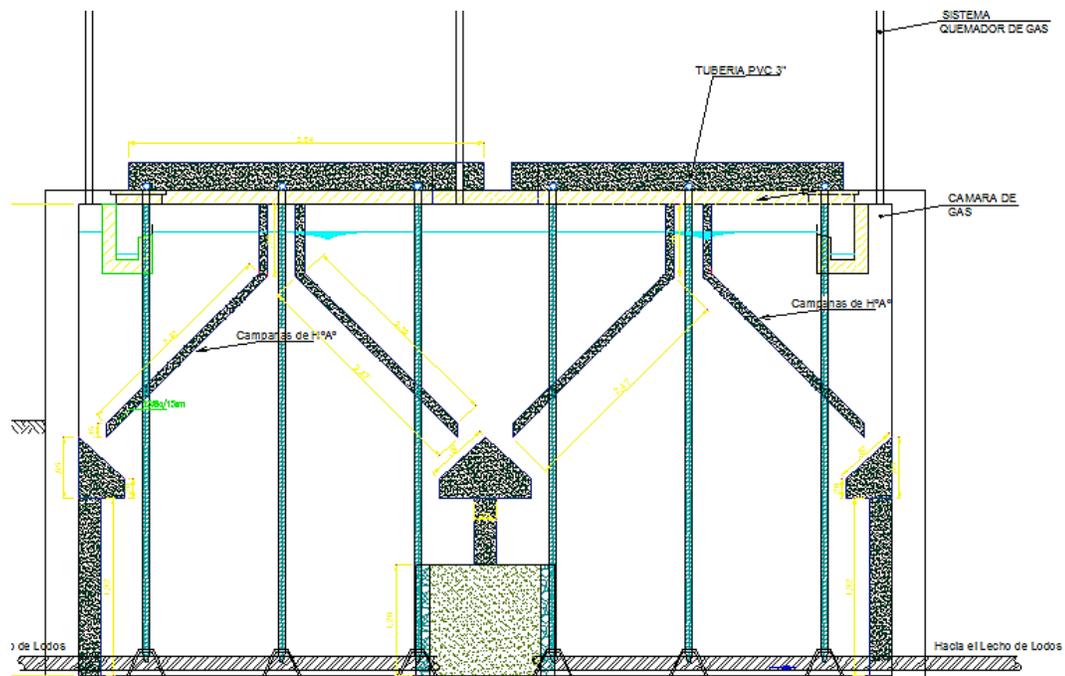


Figura 1-9. Corte Transversal del Reactor UASB. Saneamiento Básico del Gobierno Autónomo Municipal de Caraparí (2018)

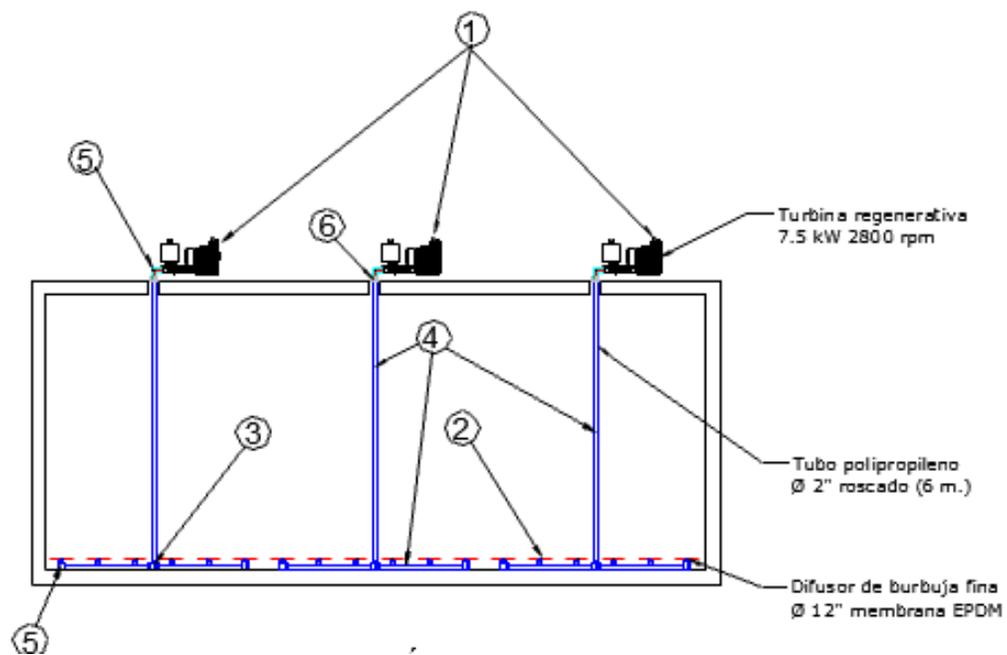


Figura 1-10. Plano del Tanque de Aireación. Saneamiento Básico del Gobierno Autónomo Municipal de Caraparí (2018)

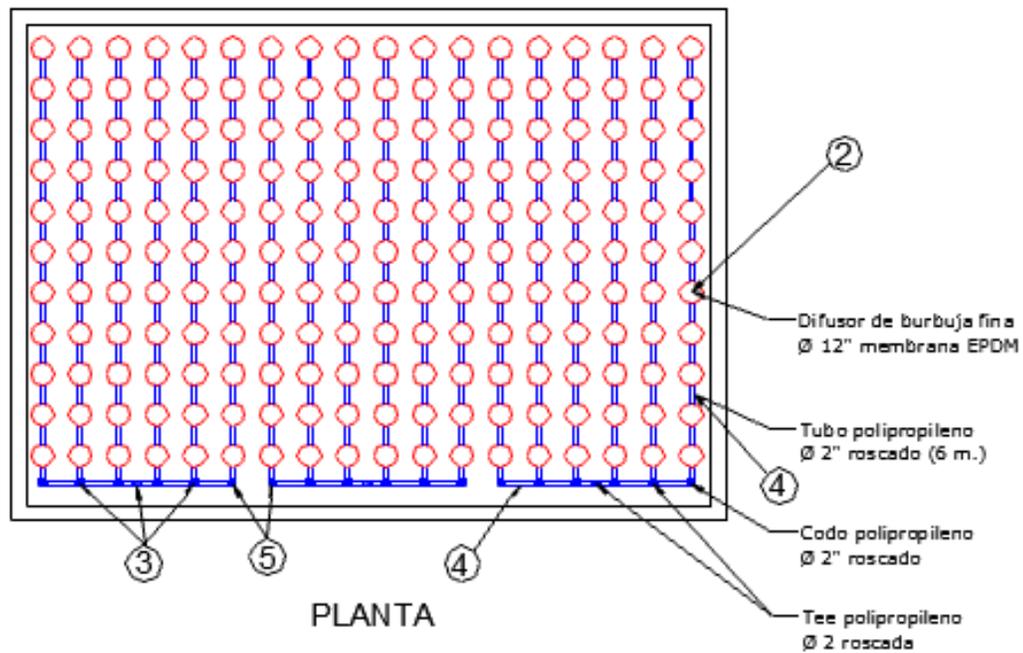


Figura 1-11. Distribución de difusores en el Tanque de Aireación. Saneamiento básico del Gobierno Autónomo Municipal de Caraparí (2018)

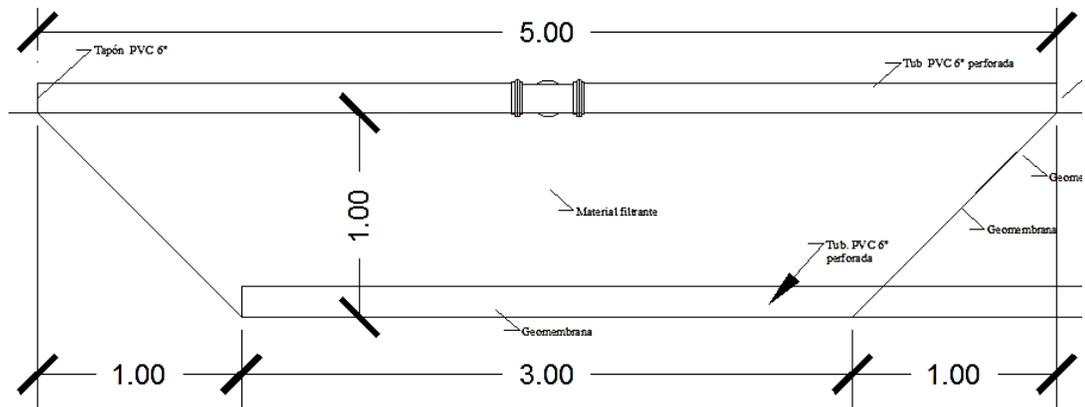


Figura 1-12. Corte Transversal del Humedal Artificial. Saneamiento básico del Gobierno Autónomo Municipal de Caraparí (2018)

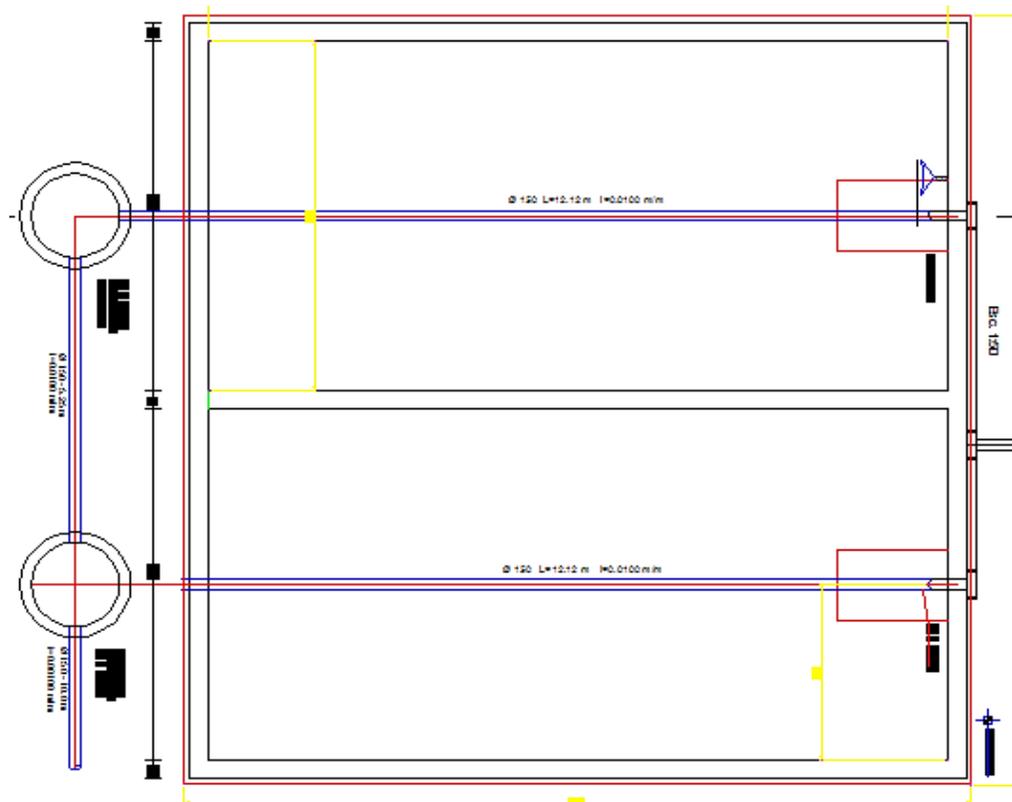


Figura 1-13. Plano del Lecho de Secado de Lodos. Saneamiento básico del Gobierno Autónomo Municipal de Caraparí (2018)

1.4 SERVICIOS AUXILIARES

La PTAR cuenta con servicios auxiliares de:

- Generador de energía eléctrica
- Caseta de controles para la operación
- Iluminación,
- Vías de acceso,
- Áreas verdes.

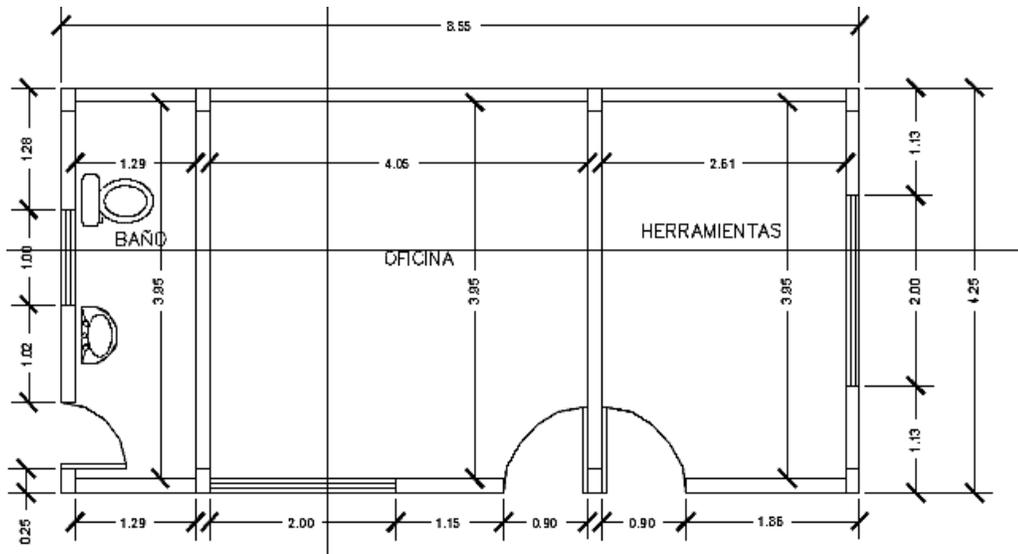


Figura 1-14. Plano de la caseta de controles. Saneamiento básico del Gobierno Autónomo Municipal de Caraparí (2018)

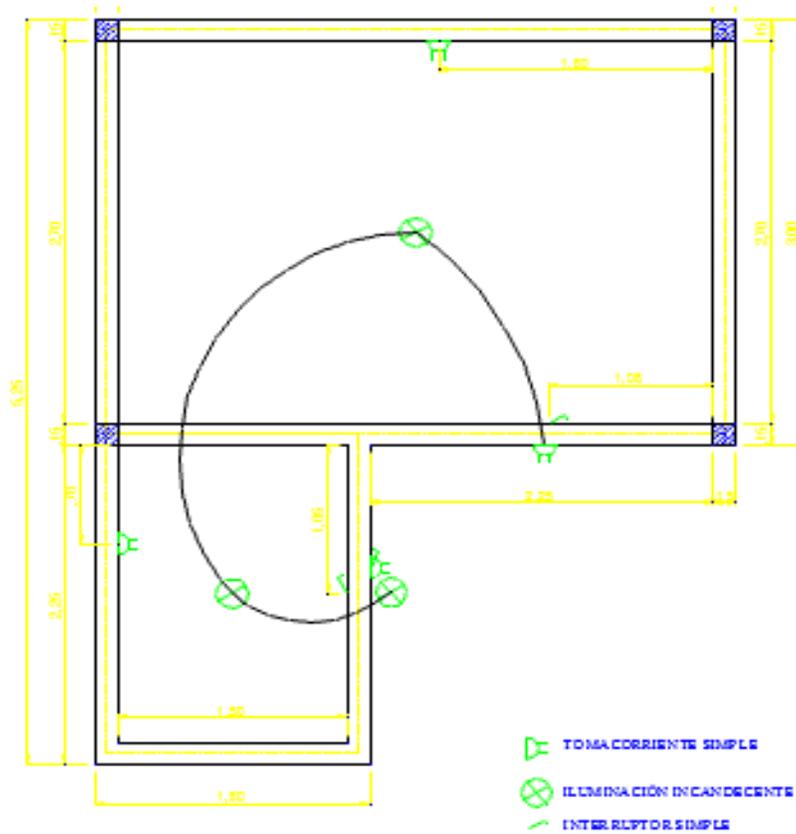


Figura 1-15. Plano Eléctrico. Saneamiento básico del Gobierno Autónomo Municipal de Caraparí (2018)

1.5 OPERACIÓN Y CONTROL

Actualmente la planta de tratamiento de aguas residuales opera de forma continua y todo el proceso se desarrolla por efecto de gravedad, la Planta fue diseñada de tal manera que no se necesiten sistemas de bombeo. La eliminación de la materia orgánica es el resultado de una serie compleja de procesos físicos, químicos y biológicos.

El sistema de tratamiento en la PTAR se desarrolla de la siguiente manera:

1.5.1 Tratamiento preliminar y primario

Se compone de las operaciones de cribado grueso (rejillas), desarenado en canal de flujo horizontal, desgrasado mediante decantador por gravedad, sedimentación y cribado fino.

Las operaciones de cribado grueso a 5 cm y 2,5 cm de paso con rejillas de barras inclinadas son de limpieza manual, posteriormente se ubica un sistema de desarenado en canal de flujo horizontal, medición de flujo mediante canaleta Parshall, pasando al decantador para eliminar grasas. El agua sigue su curso hacia el sistema de cribado fino mediante Tamiz de tambor rotativo, Roto-Screen, que es una solución eficaz para el cribado fino de las aguas residuales municipales e industriales. La unidad incluye una hélice elevador, y un sistema de lavado y desaguado para separar eficientemente la materia orgánica y para reducir el volumen del material tamizado. Roto-Screen es un tipo tamiz para montaje en canal con descarga automatizada de los sólidos separados. El tambor se instala horizontalmente en eje con las aguas residuales de entrada apoyado sobre una placa que queda semi sumergida en la parte trasera sobre el suelo del canal. El tambor se fabrica con un alambre de sección trapezoidal y de borde auto limpiante para optimizar la separación de los sólidos, para su limpieza se lava con un sistema de boquillas de pulverización de presión moderada. El tambor gira sobre ruedas hechas de uretano de alta resistencia con rodamientos de bolas de pista profunda, este equipo cuenta con conductos de engrase y válvulas para lubricar

los cojinetes, una tolva colecta los sólidos conduciéndolos a una hélice de elevación y deshidratación. Esta hélice está construida sin eje para evitar cualquier tipo de bloqueo incluso en presencia de trapos largos y productos fibrosos. Eleva, deshidrata y compacta antes de la descarga.

Opcionalmente y bajo pedido, la hélice transportadora puede ser suministrada con un sistema especial de lavado automático de materia fecal para reducir el contenido de la misma en los sólidos retenidos. No hay dispositivos mecánicos en el interior del tambor del tamiz. Todas las piezas para mantenimiento están por encima del flujo de aguas residuales.

1.5.2 Tratamiento Secundario

Se cuenta con reactor biológico de digestión anaeróbica y filtro dentro del mismo, completa la digestión de forma anaeróbica mediante un tanque de aireación.

La operación del reactor anaeróbico se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo biológicamente activo en el reactor, se puede combinar un sistema de filtro y aireación que facilita la digestión aeróbica.

Después del reactor, el agua pasa al tanque de aireación donde completa la digestión de la materia orgánica de manera aeróbica, produciendo como principal residuo el dióxido de carbono. Después de esta digestión el agua pasa al sistema de laguna facultativa, que es una excavación con muros deflectores dividida en 5 espacios, donde se remueve materia orgánica y elimina organismos patógenos.

1.5.3 Tratamiento terciario – Humedal artificial

El humedal artificial es una excavación que consta de un relleno de grava de 1m de profundidad y plantas de totora en la superficie, las plantas de totora absorben las

impurezas del agua, que son nutrientes para ellas, depurando así las aguas residuales. Este proceso viene a ser como un proceso de refinación del agua.

1.5.4 Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

En las instalaciones de la PTAR se cuenta con servicio de electricidad constante, y cuando existen cortes, se pone en marcha el generador eléctrico que se tiene en la Planta.

En la Planta trabaja un operario, quien también cumple la función de cuidador de la misma, la operación y mantenimiento básicamente están asociados a su conocimiento empírico.

En la PTAR normalmente se realiza la limpieza de la rejilla todos los días, limpieza de desarenador cada 3 meses, el retirado de sólidos del tamiz y quemado de gases que salen del reactor anaeróbico diariamente.

También se realiza la limpieza de áreas verdes y eliminación de malezas cada vez que el operario lo vea conveniente.

1.6 ELIMINACIÓN DE EFLUENTES

1.6.1 Eliminación del Agua

El efluente de la PTAR sale una distancia aproximada de 450 m mediante una tubería de 4" de diámetro, las aguas residuales que se descargan son de color verde cristalino y de un color verde oscuro en días lluviosos, con malos olores por la descomposición de materia orgánica, se encuentran anfibios muertos en reiteradas ocasiones, hay presencia de vectores como mosquitos y zancudos.

El efluente de la PTAR va al Río Caraparí y tiene un caudal promedio de: 8,9 l/s

- Caudal máximo del Río Caraparí (en época de lluvia): 100 – 150 l/s.
- Caudal mínimo del Río Caraparí (en época de estiaje): 15 – 20 l/s.

1.6.1.1 Caracterización del agua de descarga de la PTAR de Caraparí.

A continuación se muestra la caracterización de las aguas de descarga de la PTAR exponiendo los valores de los parámetros en la Tabla I-3 y Tabla I- 4.

Tabla I-3

Características Físico Químicas de las Aguas Tratadas que Salen de la PTAR de Caraparí (Efluente)

Parámetros	unidad	Resultados	Límites permisibles para descargas líquidas ley 1333
DBO ₅	mg/l	90	80
DQO	mg/l	163	250
Nitrógeno total	mg/l	2,93	4,0
Fosforo total	mg/l	22,06	2,0
Temperatura	°C	23,9	±5°C
PH		7,89	6,9
Solidos suspendidos	mg/l	18	60

Nota. Los resultados corresponden únicamente a la muestra extraída de la PTAR de Caraparí mediante técnica de muestra compuesta. Adaptado de CEANID (2018)

Tabla I-4

Características Microbiológicas de las Aguas Tratadas que Salen de la PTAR de Caraparí (Efluente)

Parámetros	unidad	Resultados	Límites permisibles para descargas líquidas ley 1333
Coliformes totales	NMP/100ml	2,1E+04	1000
Coliformes fecales	NMP/100ml	1,5E+04	1000

Nota. Los resultados corresponden únicamente a la muestra extraída de la PTAR de Caraparí mediante técnica de muestra simple. Adaptado de COSAALT-LTDA (2018)

1.6.2 Eliminación de sólidos gruesos

Los sólidos que quedan atrapados en las rejillas, desarenador, Desgrasador y en el tamiz son eliminados de manera manual fuera de la PTAR.

1.6.3 Eliminación de Lodos

Los lodos que se forman principalmente en el reactor UASB y laguna facultativa, producto de la digestión de los microorganismos, son bombeados con bombas especiales para lodos hacia los lechos de secado donde se deshidratan parcialmente por efectos naturales. Después de un tiempo en el cual los lodos se encuentran parcialmente deshidratados son arrojados en lugares alejados de la población.

CAPÍTULO II
CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL
PROBLEMA

II. CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Al realizar el diagnóstico en la PTAR del municipio de Caraparí se observan algunos indicadores que nos muestran deficiencias en el funcionamiento en general, los cuales se manifiestan en la percepción de malos olores, aguas negras y eutrofización en el curso de agua en el que se descarga los efluentes.

La evaluación que se realiza en los distintos puntos de la planta nos ha permitido identificar problemas técnico/operativos en las distintas unidades pero de mayor magnitud en el tanque de aireación y el humedal artificial provocando que la planta no funcione eficientemente y descarga su agua tratada a un cauce natural que pasa por poblaciones aledañas mismas que hacen uso del agua para sus actividades domésticas y agrícolas.

El peligro está en que el efluente de la PTAR se encuentra contaminado con Coliformes que son microorganismos patógenos muy dañinos para el ser humano y capaces de generar enfermedades diarreicas que en la población más vulnerable, menores de edad y personas de la tercera edad, pueden llevar a la muerte.

En la Tabla I-4 se tiene que los valores de Coliformes totales y Coliformes fecales en el efluente de la PTAR pasan el límite permitido por la ley 1333 en su reglamento para descargas líquidas, que indica 1000 NMP/100ml como valor permisible, y la descarga de la PTAR presenta valores 15 veces más de lo permitido, lo cual es preocupante. De igual manera la DBO₅, nitrógeno y fósforo están fuera de norma (Tabla I-3), El indicador es la presencia de gran cantidad de algas en las lagunas de estabilización y descarga de la PTAR debido a la existencia de altos niveles de Nitrógeno y Fosforo, por esta razón el agua puede ser rechazada para vertido en cuerpos de agua.

El efluente de la PTAR se une al Río Caraparí causando el deterioro de la estética, calidad de aguas y entorno ambiental, aumentando la contaminación aguas abajo y en consecuencia atentando contra la salud humana.

Finalmente se puede afirmar que de la PTAR no tiene una buena eficiencia de remoción, la cual se calcula con los parámetros analizados a la entrada y salida de la PTAR. La eficiencia de remoción de carga contaminante en un sistema de tratamiento de aguas residuales viene dada por:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100 \quad (1)$$

E = eficiencia de remoción del sistema [%]

S = carga contaminante de salida [mg DBO₅, DQO o SST/l]

S₀ = carga contaminante de entrada [mg DBO₅, DQO o SST/l]

Calculando con la remoción de la carga contaminante de DBO₅ en Ecuación 1

$$E = \frac{248 - 90}{248} * 100 = 64\%$$

Calculando con la remoción de la carga contaminante de DQO en Ecuación 1

$$E = \frac{474 - 163}{474} * 100 = 65,6 \%$$

Con este cálculo se puede ver que la PTAR de Caraparí tiene una eficiencia de remoción promedio del 65% y en bibliografía se encuadra que las PTARs oscilan en un rendimiento de 80 a 90%, por lo tanto la PTAR de Caraparí se encuentra con una baja eficiencia de remoción.

El anterior análisis lleva a pensar que cuando se entregó la PTAR, existía el personal en el número necesario y capacitado para manejar adecuadamente todo el proceso;

pero que con el transcurso del tiempo, tanto el número del personal asignado a la PTAR y la rotación del personal, hicieron que se pierda la capacidad técnica y se redujera el personal hasta llegar a un solo personero encargado de verificar el proceso de tratamiento, lo cual ha coadyuvado que en la medida que no se realizaba el adecuado mantenimiento y se cumplían los procedimientos establecidos, varias unidades de la planta se fueron deteriorando y saliendo del uso llegando al deterioro general de la PTAR y a su actual deficiencia en el funcionamiento.

Con los elementos que se han hecho referencia, se puede decir que el principal problema para el inadecuado funcionamiento de la PTAR es el recurso humano que está a cargo de su funcionamiento, por cuando un Técnico y un operador sólo y sin el adecuado presupuesto no pueden operar de manera eficiente la PTAR.

2.2 DIAGNÓSTICO; DEFINICIÓN DE CONDICIONES Y CAPACIDAD DE LA PTAR DE CARAPARÍ.

Caraparí es un municipio que está Ubicado a 246 kilómetros de la ciudad de Tarija, es la segunda sección de la Provincia Gran Chaco, tiene un clima bastante cálido y muy húmedo en épocas de invierno. Presenta mucha vegetación en sus alrededores como en sus propias calles como se observa en la siguiente foto.



Foto 2-1. Vista desde el Mirador del Municipio de Caraparí. Elaboración Propia

Demografía

La segunda Sección cuenta con una población total de 10.225 habitantes, agrupados en 2.170 unidades familiares y 2.152 viviendas; el promedio de personas por familia en el Municipio es de cinco miembros por familia. El distrito 3 cuenta con mayor población: 2.197 habitantes (21 % del total), con 470 familias (22% del total) y 481 viviendas (22.4% del total) abarcando 10 comunidades. El distrito 6 cuenta con la menor población: con 886 habitantes (9% del total), 215 unidades familiares y 215 viviendas. En el distrito 7 (Capital-Caraparí) se registró 1074 habitantes (Instituto Nacional de Estadística “INE”, censo 2001).

Para el Censo 2012 alcanzó a 15366 habitantes, reflejando una tasa anual de crecimiento de 4,7% (INE, 2017).

Caracterización Biofísica:

Los Ríos que discurren por la Segunda Sección son tributarios de la cuenca mayor del Río de la Plata, porque forman parte de la cuenca del río Tarija y del río Pilcomayo, distinguiéndose otras subcuencas formadas por los ríos Chiquiacá, San Nicolás, Itau, Caraparí, Isiri y Palos Blancos.

El Río Caraparí que hace parte de la extensa cuenca de la plata, nace desde las comunidades de Nazareno, San Antonio, Lagunitas, Fuerte Viejo y la comunidad de San Martín, que pasa por las comunidades de Santa Rosa Zona sur, Molino Viejo, Loma Alta, San Antonio de las Rosas, Itaperenda y desemboca a la parte Argentina.

En sus cabeceras se desarrolla una importante actividad agrícola. Sin embargo, los vertimientos contaminantes de aguas domésticas limitan severamente la posibilidad de utilizar el recurso hídrico para consumo humano e indirectamente para riego.

Cultura

La población tiene su origen en los grupos étnicos Toba, Mataco, Baya, Tapietí, Guaycurú y Chañé, el idioma predominante es el castellano, seguido por el guaraní, y excepcionalmente, el quechua por inmigrantes del interior del país. La actividad religiosa-cultural más importante es la festividad de la Virgen de Guadalupe que se realiza el segundo domingo de octubre con duración de una semana.

Actividades económicas del municipio de Caraparí

La principal actividad económica en el Municipio es la producción agrícola, con cultivos de maíz, maní, soya, papa, cítricos, sandía, arveja, yuca, camote, tomate y cebolla. El sistema de producción agrícola en su mayor parte es manual, y solamente una minoría de productores utiliza una tecnología mecanizada, principalmente en los cultivos de soya y maíz. según el Censo Agropecuario 2013. El municipio cuenta con 2574 Unidades de Producción Agropecuaria (UPA), el promedio de superficie de estas unidades es de 39,7 hectáreas y aproximadamente 14,0% de la superficie cultivada cuenta con riego.

Servicios básicos

La población Carapareña cuenta con los servicios principales de agua, energía eléctrica, gas domiciliar y saneamiento básico en su conjunto, cuenta con una red de alcantarillado sanitario y pluvial, conduciendo las aguas residuales domésticas hacia una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR- Caraparí)

2.2.1 Capacidad de la PTAR

Para un mejor contexto, primero se muestra una foto del ingreso a la PTAR y una foto satelital de la misma, luego se presenta un diagrama de bloques del proceso que se lleva a cabo en la Planta.



Foto 2-2. Vista de la Entrada a la PTAR de Caraparí. Elaboración Propia



Figura 2-1. Vista Satelital de la Entrada a la PTAR de Caraparí. Google GeoPosición (2019)

En la Figura 2-1 se ve claramente que la PTAR está ubicada muy cerca del Río Caraparí y hay grandes extensiones de sembradíos a las orillas del mismo.

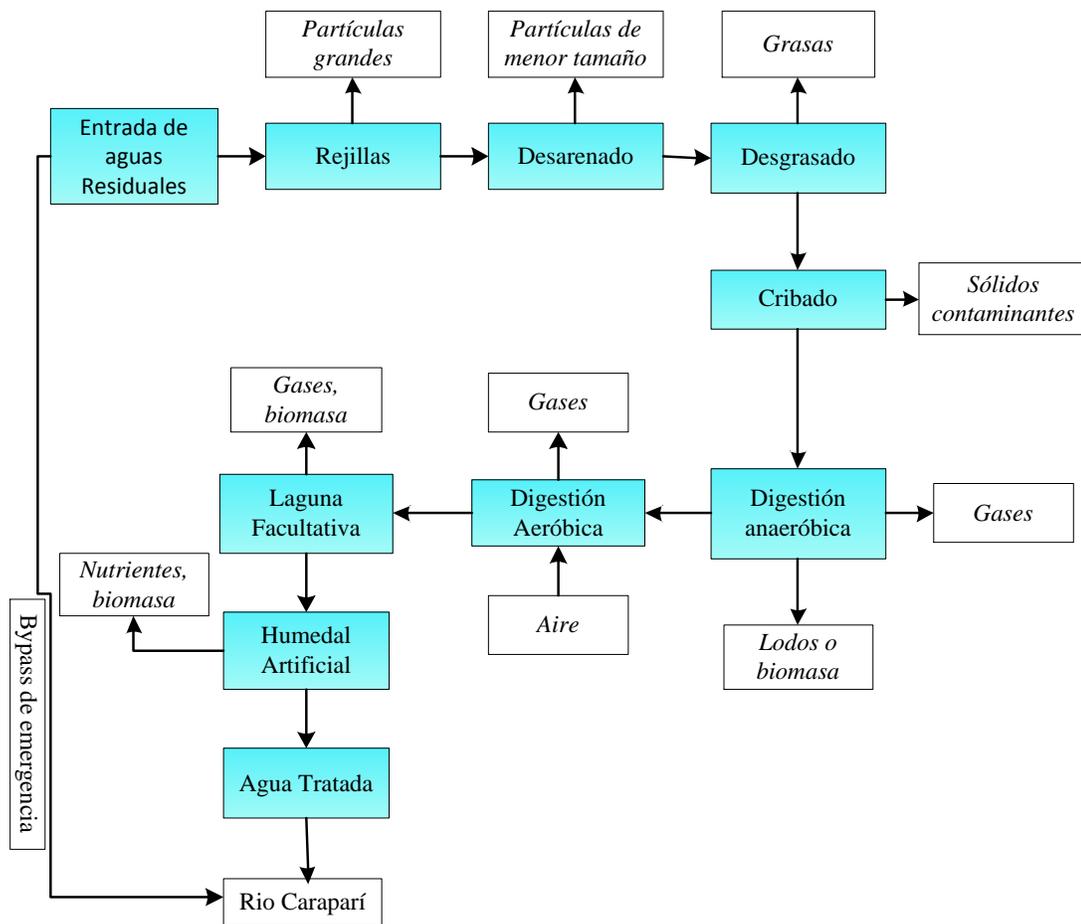


Figura 2-2. Diagrama de bloques del proceso actual de tratamiento de la Planta de Tratamiento Aguas Residuales de Caraparí. Elaboración propia

Se estima que el consumo per cápita de agua en Caraparí es de 250 l/día, del cual cerca el 80% genera agua residual domiciliar, lo cual es coincidente con los valores medios en la PTAR que indican que actualmente la PTAR opera con un caudal promedio de entrada de 16,09 l/s, este caudal varía entre 14 l/s a 18 l/s en épocas de mayor consumo.

No se cuentan con los datos sobre los cuales se basó el diseño de la capacidad de la PTAR, pero según reportes se tuvo que para el año 2013 funcionó con una capacidad de 18 l/s, que equivale a una población de 6220 habitantes.

En cuanto a obra de toma y derivación de excedencias, son estructuras que forman parte inicial de la PTAR, cuya función es la de permitir el ingreso del caudal de aguas residuales a la planta, así como desviar los volúmenes de agua excedentes a dicho flujo. En el caso de la PTAR Caraparí, las desviaciones de flujo se controlan mediante el sistema de bypass usando compuerta manual.

2.2.2 Diagnóstico de impactos ambientales de la PTAR

Se presenta una descripción de los impactos ambientales de la PTAR de manera general, que fueron identificados con la ayuda de fichas de identificación de impactos ambientales.

2.2.2.1 Medio Físico

La planta de tratamiento de aguas residuales de Caraparí está instalada en un terreno de aproximadamente 1 hectárea, contando con sistemas de tratamiento físico, químico y microbiológico.

En cuanto a la vegetación dentro de la PTAR existen pequeñas plantas de jardín y árboles de tallo alto entre paraísos y lapachos, en general se percibe buena vegetación, por otro lado analizando la fauna, en la laguna facultativa existe presencia de aves (patos silvestres) y renacuajos en el agua.

En el espacio físico de la PTAR se encuentra infraestructura en mal estado por ejemplo algunas cámaras o canales averiados, presencia de escombros, acumulación de tierra y suelo muy irregular con huecos, lo cual podría originar accidentes para las personas que operen la planta.

2.2.2.2 Calidad del aire

En la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Caraparí se percibe la contaminación del aire especialmente a causa de la digestión de materia orgánica que

ocurre dentro de ella tanto en los procesos anaeróbicos como aeróbicos que producen gases como el metano y dióxido de carbono. Por otra parte ese percibe que se despiden malos olores con características de putrefacción por la descomposición de materia orgánica contenida en el agua residual que llega a la PTAR.

2.2.2.3 Gestión y calidad del agua

La población de Caraparí cuenta con los servicios de agua potable misma que proviene de la toma de agua de la comunidad el Común, y otro pozo ubicado en el barrio Virgen de Guadalupe. Las Características más sobresalientes del agua potable se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla II-1

Características del Agua Potable de Caraparí

Parámetros	unidad	Resultados	Límites de Norma Boliviana NB 512
PH	---	7,93	6,5 -9.0
Conductividad	μS	246	1500
Solidos totales disueltos	mg/l	118,9	1000
Nitratos	mg/l	0,4	45
Dureza	mg/l CaCO ₃	130	500
Coliformes totales	UFC/100 ml	0	< 1
E. Coli	UFC/100 ml	0	< 1

Nota. Los resultados corresponden a la muestra extraída de grifo en el Mercado Municipal de Caraparí. Adaptado de Laboratorio de Aguas, área de Saneamiento Básico del Municipio Caraparí (2018)

El agua residual doméstica se estima que se genera en un 80% del caudal de agua potable que ingresa a cada vivienda, la cual es vertida al sistema de alcantarillado que llega a la PTAR, para ser depurado y posteriormente se descarga al Río Caraparí, el cual sirve como fuente de abastecimiento de agua para consumo humano, recreativo y de riego para muchas personas de las comunidades aledañas. Al estar contaminadas las aguas del Río causa serios problemas de enfermedades a los pobladores del

municipio de Caraparí.

2.2.2.4 Gestión de residuos solidos

En la población de Caraparí se cuenta con los servicios de aseo municipal y recojo de residuos sólidos, pero por el mal hábito y accionar de las personas llegan residuos sólidos a la PTAR saturando la rejilla rápidamente provocando dificultad en el paso de las aguas residuales a las siguientes etapas del proceso de tratamiento.

2.2.2.5 Gestión de Suelo

El suelo de la PTAR está ocupado principalmente por la laguna facultativa, seguido de las otras construcciones como es el reactor anaeróbico y aeróbico, canales, cámaras, etc. y la otra parte de vegetación con plantaciones de árboles. En general se observa una buena calidad de suelo a excepción de partes erosionadas que se encuentran y al ser una planta depuradora por lógica existe contaminación de suelo pero estas son desventajas que deja el tratamiento de aguas residuales.

2.2.2.6 Medio Ambiente (Paisaje)

La PTAR presenta un área verde bien cuidada, que tiene, los árboles y plantas pequeñas, que son cuidados con una limpieza constante, corte de maleza etc., por otra parte la presencia de escombros y las infraestructuras dañadas (cámaras, tanque de aireación) le dan muy mal aspecto a la PTAR.

2.2.3 Diagnóstico cualitativo de las unidades existentes en la PTAR

Para el diagnóstico cualitativo se hizo con la ayuda de información secundaria y un análisis visual detenido de cada una de las unidades de tratamiento.

2.2.3.1 Rejillas



Foto 2-3. Rejillas gruesas con presencia de gran cantidad de sólidos. Elaboración Propia



Foto 2-4. Rejillas gruesas y delgadas. Elaboración Propia

El principal objetivo de las rejillas es capturar los objetos que son llevados por el afluente, los cuales son voluminosos y de muy diversos tamaños (trapos, toallas sanitarias, pañales, envases de plástico, hojas de árbol, etc.), como se ve en las fotos las rejillas de la PTAR se encuentran en mal estado, muchos sólidos pasan hacia los otros procesos dañando los mismos.

Los sólidos que son atrapados por las rejillas no son retirados de manera oportuna y

son dejados a orillas de las rejillas por días o semanas, estos sólidos se deben retirar continuamente sin embargo el operador lo hace sólo en sus horarios de trabajo y en momentos en los que no está realizando otras tareas.

2.2.3.2 Desarenador



Foto 2-5. Desarenador. Elaboración Propia

Es una estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas residuales, de no aplicarse esta operación, los reactores biológicos terminarán con varios centímetros o metros de arena depositada en el fondo de los mismos.

Su funcionamiento se basa en la reducción de la velocidad del agua y de las turbulencias, permitiendo así que el material sólido transportado en suspensión se deposite en el fondo, de donde es retirado por el operador de manera manual en periodos de 3 meses lo cual no es apropiado ya que el desarenador se satura en menor tiempo. El desarenador consta de dos estructuras paralelas, para permitir la limpieza de una de las estructuras mientras la otra está operando, tiene pequeñas cámaras para atrapar la arena pero al igual que las rejillas no se limpia continuamente provocando la saturación del mismo, en consecuencia pasa un porcentaje de arena hacia el digestor anaeróbico y los demás procesos.

Seguido del desarenador se encuentra el canal Parshall para medir el flujo volumétrico de agua entrante a la PTAR pero por falta de información de diseño no se pueden hacer los cálculos necesarios en el mismo para medir el caudal.

2.2.3.3 Desgrasador



Foto 2-6. Vista Externa del Desgrasador. Elaboración Propia

El desgrasador o desengrasador es un sistema compacto cuyo objetivo es la separación física, por diferencia de densidades, de las grasas y aceites de origen vegetal y animal por un lado, y por otro la decantación de arenas y sólidos. Esta unidad es importante ya que de pasar estas grasas al tratamiento secundario dificultarían la degradación de la materia orgánica y aumentarían considerablemente la DBO_5 a la salida de la PTAR.

En la PTAR de Caraparí está construido de hormigón, éste salió de uso porque se encuentra totalmente saturado y el agua pasa directamente hacia el cribado fino y digestión anaerobia mediante un sistema de bypass.

2.2.3.4 Tamiz de tambor rotativo, cribado fino



Foto 2-7. Tamiz de tambor rotativo. Elaboración Propia

El tamiz de tambor rotativo, Roto-Screen, consta de una hélice elevador, y un sistema de lavado y desaguado para separar eficientemente la materia orgánica y para reducir el volumen del material tamizado. Roto-Screen es un tipo tamiz para montaje en canal con descarga automatizada de los sólidos separados. El tambor se instala horizontalmente en eje con las aguas residuales de entrada apoyado sobre una placa que queda semi sumergida en la parte trasera sobre el suelo del canal. El tambor gira sobre ruedas hechas de uretano de alta resistencia con rodamientos de bolas de pista profunda, este equipo cuenta con conductos de engrase y válvulas para lubricar los cojinetes, una tolva colecta los sólidos conduciéndolos a una hélice de elevación y deshidratación. Esta hélice está construida sin eje para evitar cualquier tipo de bloqueo incluso en presencia de trapos largos y productos fibrosos. Eleva, deshidrata

y compacta antes de la descarga. No hay dispositivos mecánicos en el interior del tambor del tamiz. Todas las piezas para mantenimiento están por encima del flujo de aguas residuales.

El tamiz de tambor rotativo se encuentra sobre la construcción del digestor anaeróbico funciona con programador automático para trabajar en lapsos de tiempo de 45 min. Haciendo pausas de 15 min., el tamiz elimina los sólidos contaminantes que pasaron las rejillas y pequeñas cantidades de arena, dichos residuos son retirados por el operador periódicamente.

2.2.3.5 Reactor anaeróbico UASB



Foto 2-8. Vista Externa del Reactor UASB. Elaboración Propia

Su funcionamiento tiene como principal característica el uso de la digestión anaerobia, es decir, la biomasa trabaja su descomposición mediante microorganismos anaerobios (bacterias), a través de una serie de etapas y en ausencia de oxígeno, que desemboca fundamentalmente en la formación de metano y dióxido de carbono. Así se tiene tres grandes grupos tróficos y cuatro pasos de transformación.

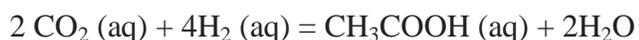
- 1.- Hidrólisis: Grupo I – Bacterias Hidrolíticas.
- 2.- Acidogénesis: Grupo I – Bacterias Fermentivas.
- 3.- Acetogénesis: Grupo II – Bacterias Acetogénicas.
- 4.- Metanogénesis: Grupo III – Bacterias Metanogénicas

Etapa 1. Hidrólisis.- La hidrólisis es la ruptura de moléculas grandes, solubles e insolubles, en moléculas de menor tamaño que pueden ser transportadas dentro de las células y metabolizadas. En este proceso no se produce metano, y en la mayor parte de los casos supone una etapa que se desarrolla lentamente.

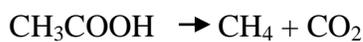
Etapa 2. Acidogénesis.- Las bacterias fermentativas metabolizan dentro de la célula los anteriores monómeros. Generalmente, sólo una pequeña cantidad de la energía potencial en la materia orgánica es utilizada para la fermentación.

Una gran porción de la misma (cerca del 80%) es excretada fuera de la célula en forma de alcoholes, ácidos grasos volátiles y gas hidrógeno. El resultado total de la fermentación es la conversión de sustratos neutros, tales como azúcares y aminoácidos en ácidos orgánicos relativamente fuertes.

Etapa 3. Acetogénesis.- Los productos de la fermentación no son sustratos directos de las bacterias metanogénicas. En esta etapa aparecen las bacterias acetogénicas que toman estos compuestos y los introducen a sus células, oxidándolos anaeróbicamente hasta ácido acético y gas hidrógeno los cuales son excretados fuera de la célula.



Etapa 4. Metanogénesis.- La formación de metano, siendo este el último producto de la digestión anaerobia, ocurre por dos grandes rutas: La primera de ellas, es la formación de metano y dióxido de carbono a partir del principal producto de la fermentación, el ácido acético.



La Figura 2-3 muestra estas etapas de transformación dentro del reactor anaeróbico con los respectivos componentes que participan en las reacciones.

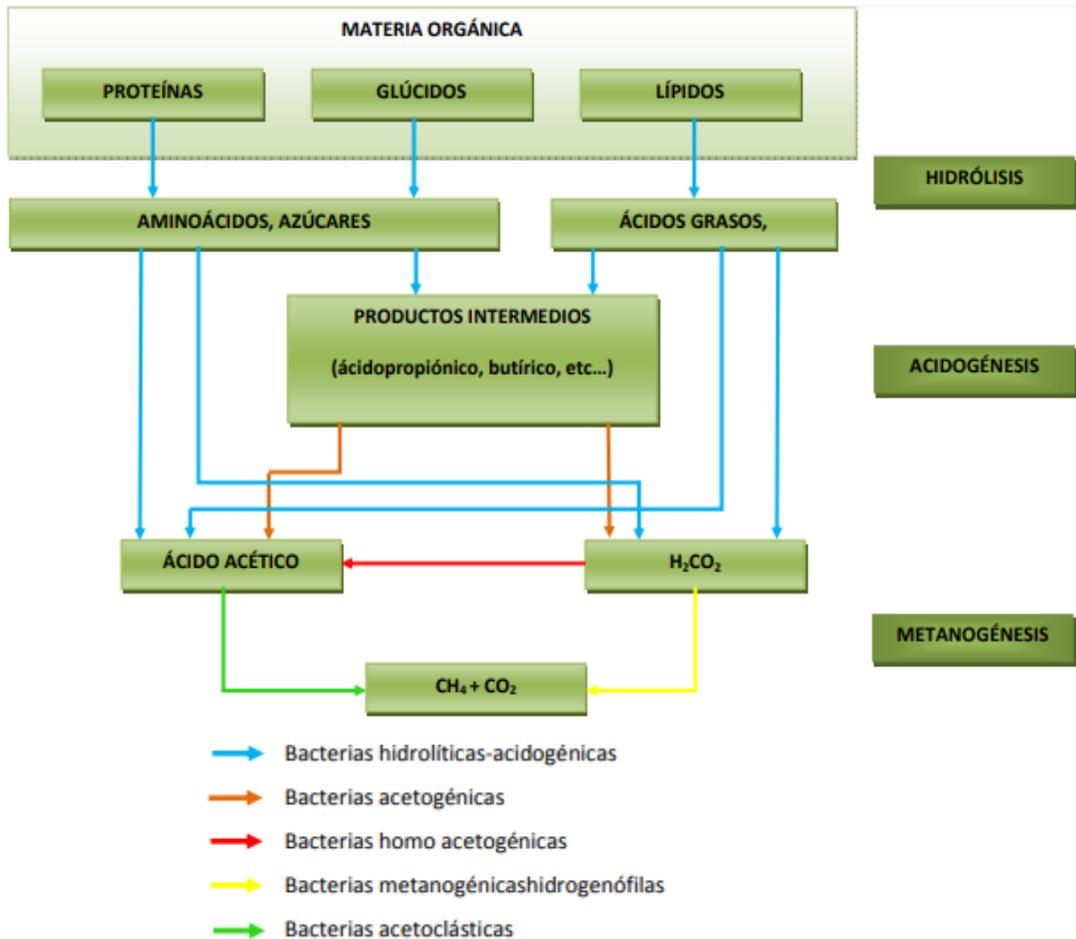


Figura 2-3. Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos. Lorenzo y Obaya (2006)

Dentro del reactor, el agua es introducida por la parte inferior, la cual fluye de manera ascendente, encontrándose con un manto de lodos constituidos por granos o flóculos. El tratamiento se produce al entrar en contacto el agua residual y el lodo microbiológico. Los gases producidos en condiciones anaeróbicas (principalmente metano y dióxido de carbono) provocan una circulación interior, que colabora en la formación y mantenimiento de los gránulos. Parte del gas generado dentro del manto de lodos se adhiere a las partículas biológicas. Tanto el gas libre como las partículas a

las que se ha adherido gas, ascienden hacia la parte superior del reactor. Allí se produce la liberación del gas adherido a las partículas, al entrar éstas en contacto con unos deflectores desgasificadores. Las partículas desgasificadas suelen volver a caer hasta la superficie del manto de lodo. El gas libre y el gas liberado de las partículas se capturan en una bóveda de recogida de gases, instalada en la parte superior del reactor. El líquido, que contiene algunos sólidos residuales y algunos de los gránulos biológicos, se conduce a una cámara de sedimentación o filtros anaeróbicos, donde se separan los sólidos residuales. (Lorenzo y Obaya, 2006)

La eficacia del tratamiento e un TRH medio de 5 a 6 horas, como porcentaje de eliminación, es la siguiente: DQOt = 55-75 %, DBO₅ = 65-80 %, SS = 67-81 %, eliminación de patógenos alrededor del 70 % y eliminación de huevos de helmínticos superior al 90 %. La eficacia resulta ligeramente mejor cuando se opera a un TRH bajo (2 a 3 h) durante el día y a TRH más elevados (10 a 12 h) durante la noche. (Lorenzo, 2006)

El reactor UASB en la PTAR está construido de hormigón armado con canales de entrada de agua por la superficie de la estructura lo cuales conectan a tuberías de PVC, mismas que introducen el agua por el fondo del reactor dando así el flujo ascendente, tiene una capacidad diseño de 10 l/s, consta también de campanas para extraer los gases producidos por las reacciones que ocurren dentro del mismo y un quemador de gas que se enciende 1 a 2 veces en el día. Tiene un filtro biológico de arena y grava dentro de la construcción por lo que no es visible.

Para tener un control adecuado de la población de microorganismos dentro del reactor biológico se tiene la necesidad de extraer una cantidad equivalente a la producción de microorganismos, para con ello mantener una concentración adecuada que permita la operación de sedimentación y por tanto la separación de los microorganismos del agua pero este control no se está realizando en el UASB dentro la PTAR y la infraestructura del reactor está en pleno deterioro por falta de mantenimiento.

2.2.3.6 Tanque de aireación



Foto 2-9. Superficie del Tanque de Aireación. Elaboración Propia



Foto 2-10. Tuberías para introducir aire al Tanque de Aireación. Elaboración Propia

La digestión aerobia es un proceso realizado por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno

actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular.

La fórmula general del proceso de digestión aerobia es la siguiente:

$$\text{Materia Orgánica} + \text{O}_2 + \text{Microorganismos} + \text{nutrientes} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{agua} + \text{Materia Orgánica} + \text{Microorganismos} + \text{NH}_4 + \text{P}.$$

El tanque de aireación o digestor aeróbico está construido de hormigón equipado con difusores de membrana de burbuja fina y turbina regenerativa, adicionalmente se construyó una especie de duchas en la parte superior del tanque para disminuir la abundante espuma que se formaba. Pero actualmente no están funcionando ninguno de los componentes del tanque de aireación, el agua solo pasa por este proceso aireándose muy poco de manera natural para luego pasar a la laguna facultativa.

Los difusores de membrana fina se encuentran flotantes en la superficie del tanque (véase Foto 2-9) y las turbinas fuera de uso por deterioro total.

2.2.3.7 Laguna facultativa



Foto 2-11. Inicio de la Laguna Facultativa. Elaboración Propia



Foto 2-12. Vista completa de la Laguna Facultativa. Elaboración Propia



Foto 2-13. Final de la laguna Facultativa. Elaboración Propia

Laguna Facultativa o de oxidación son cantidades de agua ubicadas en un tanque excavado en el terreno, entre 1 y 2 m de profundidad que posee una zona aerobia y una anaerobia, siendo respectivamente en superficie y fondo. La finalidad de estas lagunas es la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionado principalmente por las algas presentes y obtener un efluente de la mayor calidad posible al remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación, y eliminar microorganismos patógenos que representan un grave peligro para la salud. (Torres, 1994)

La eliminación de la materia orgánica en las lagunas es el resultado de una serie compleja de procesos físicos, químicos y biológicos, entre los cuales se pueden destacar dos grandes grupos.

- Sedimentación de los sólidos en suspensión, que suelen representar una parte importante (40-60 % como DBO₅) de la materia orgánica contenida en el agua residual, produciendo una eliminación del 75-80 % de la DBO₅.
- Transformaciones biológicas que determinan la oxidación de la materia orgánica contenida en el agua residual.

Los procesos biológicos más importantes que tienen lugar en una laguna son:

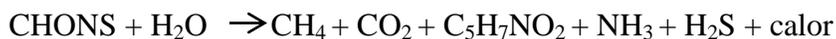
Oxidación de la materia orgánica por bacterias aerobias. La respiración bacteriana provoca la degradación de la DBO₅ del agua residual hasta CO₂ y H₂O produciendo energía y nuevas células.



Producción fotosintética de oxígeno. La fotosíntesis algal produce, a partir de CO₂, nuevas algas, y O₂, que es utilizado en la respiración bacteriana.



Digestión anaeróbica de la materia orgánica con producción de metano.



Materia	Nuevas células
Orgánica	bacterianas

Las bacterias y algas actúan en forma simbiótica, con el resultado global de la degradación de la materia orgánica. Las bacterias utilizan el oxígeno suministrado por las algas para metabolizar en forma aeróbica los compuestos orgánicos. En este proceso se liberan nutrientes solubles (nitratos, fosfatos) y dióxido de carbono en

grandes cantidades, éstos son utilizados por las algas en su crecimiento. De esta forma, la actividad de ambas es mutuamente beneficiosa. (Rolim, 2000)

En la siguiente figura se representa un diagrama de la actividad coordinada entre algas y bacterias.

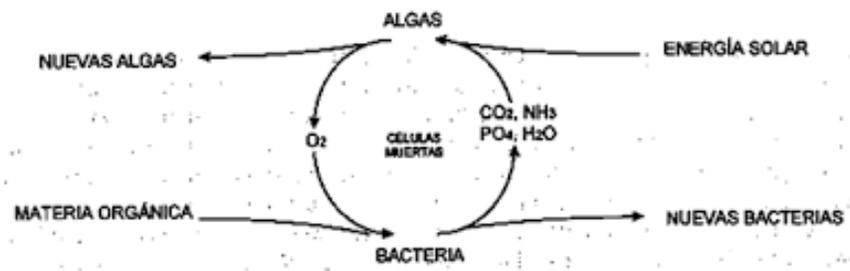


Figura 2-4. Actividad entre Algas y Bacterias. Rolim (2000)

En una laguna facultativa existen tres zonas:

1. Una zona superficial en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica, como se ha descrito anteriormente.
2. Una zona inferior anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaerobias.
3. Una zona intermedia, que es parcialmente aerobia y anaerobia, en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas.

Los materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por la acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando el oxígeno generado por las algas presentes cerca de la superficie. El dióxido de carbono, que se produce en el proceso de oxidación orgánica, sirve como fuente de carbono por las algas. La descomposición anaerobia de los sólidos de la capa de fango implica la producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases tales como el CO_2 , H_2S y el CH_4 , que o bien se oxidan por las bacterias aerobias, o se liberan a la atmósfera. (Rolim, 2000). Véase Figura 2-5

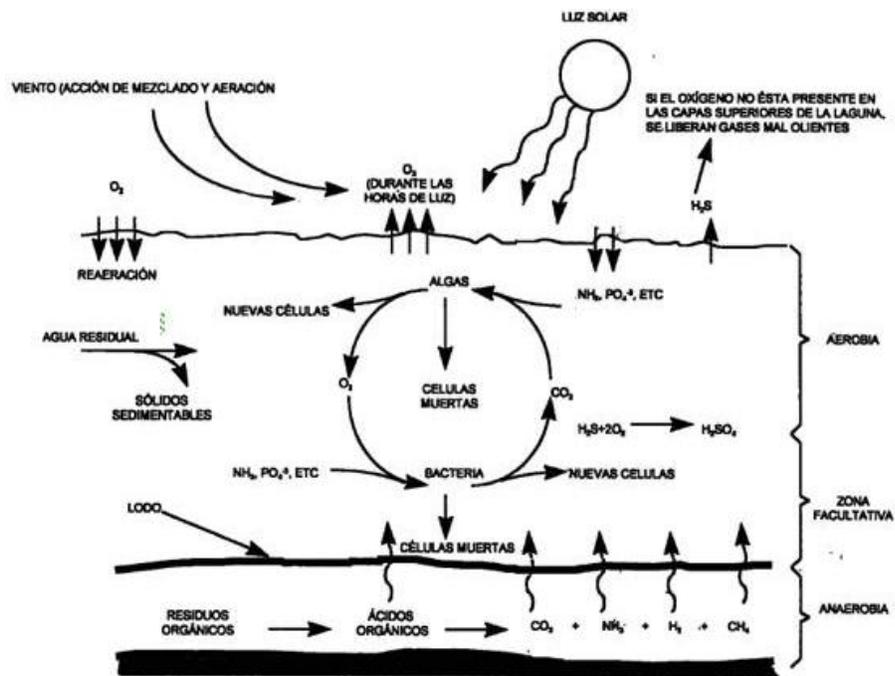


Figura 2-5. Zonas de la Laguna Facultativa. Rolim (2000)

El tratamiento en lagunas de oxidación tiene como principal desventaja, la entrega de su efluente ya que se debería descargar el material tratado cuando las algas y nutrientes puedan ser asimilados por el receptor. Esto considera un mantenimiento y evaluación constante, situación que en Bolivia no ocurre. Cada vez que se considere descargar el material tratado, se deberá tomar muestras del efluente y compatibilizarlas con el receptor. Muchas veces éste es el principal motivo de contaminación al ambiente y daño al ecosistema. (Saldías, 2016)

La laguna facultativa de la PTAR de Caraparí tiene cinco separaciones construidas mediante muros deflectores con el fin de dar mayor tiempo de retención a las aguas residuales y evitar zonas muertas. Se observa la presencia de gran cantidad de algas, especialmente al inicio de la laguna, que le dan coloración verde a la superficie del agua, esto es consecuencia de la presencia de elevados niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo) véase Foto 2-11.

2.2.3.8 Humedal Artificial – Tratamiento Terciario



Foto 2-14. Humedal Artificial de la PTAR. Elaboración Propia

Los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que, de forma controlada, se reproducen mecanismos de eliminación de contaminantes presentes en aguas residuales, el agua entra al humedal por la gravedad y son filtradas primero por procesos mecánicos. Las plantas del humedal transfieren oxígeno a la zona sumergida de la raíz, que permite la degradación biológica de contaminantes y materias orgánicas por microbios.



Figura 2-6. Sistema Subterráneo Típico de Humedales Construidos. (Salas, 2013)

Existen diferentes tipos de humedales artificiales en función del sentido de circulación del flujo de agua:

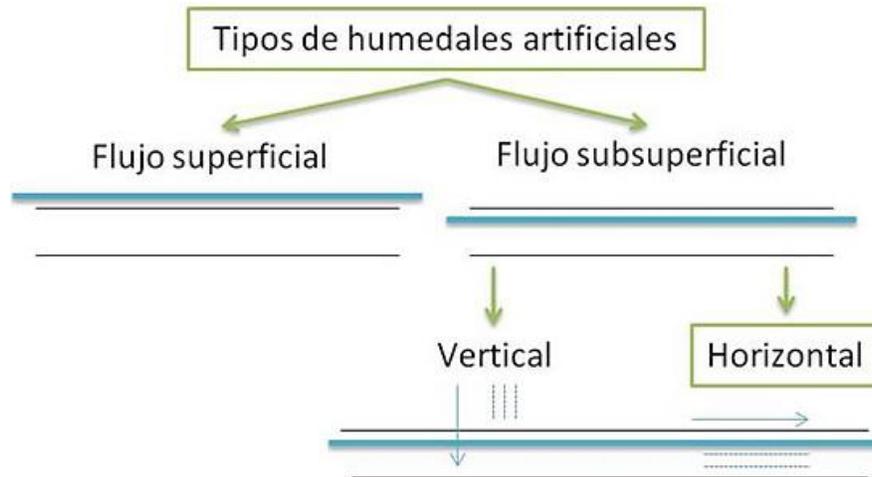


Figura 2-7. Tipos de Humedales Artificiales. Salas (2013)

El principal objetivo del tratamiento terciario en el humedal es llegar a cumplir el estándar de calidad de agua efluente de la planta de tratamiento para no generar contaminación al receptor o ser adecuada para su reutilización, según sea el caso. Muchas veces suele pasar el agua residual del tratamiento secundario con algunos microorganismos patógenos, o agua tratada con mal olor, mal color y con diferentes características con las que no sería adecuado reutilizarse, es por ello que se debe tener un tratamiento final para dar seguridad a las poblaciones.

El humedal artificial que se tiene en la PTAR ya cumplió con su vida útil, se encuentra saturado y el agua ya no tiene un tiempo de residencia necesario para que las plantas de totora puedan absorber los contaminantes. No se hizo mantenimiento y el agua pasa rápidamente por la superficie debido a la saturación del mismo, finalmente y se optó por hacer un canal por la orilla del humedal para que el agua tratada siga su curso evadiendo por completo el humedal.

2.2.4 Metodología para realizar el diagnóstico cuantitativo

Muestreos



Foto 2-15. Toma de Muestra a la Entrada de la PTAR. Elaboración Propia

Usando una Guía para la toma de muestras de agua residual del MMA y A, se realizó muestreos en distintos puntos de la PTAR aplicando técnica de muestra simple (para análisis microbiológico) y compuesta (para análisis físico químico). Todo esto con el fin de tener un diagnóstico cuantitativo bien fundamentado.



Foto 2-16. Toma de Muestra a la Salida de la PTAR. Elaboración Propia

Transporte

El transporte de muestras se hizo desde Caraparí hasta la ciudad de Tarija en conservadoras con hielo para mantener la refrigeración de las muestras.



Foto 2-17. Conservadora con Muestras de Aguas Residuales. Elaboración Propia

Recepción y Análisis

Los análisis de parámetros microbiológicos se solicitaron en el Laboratorio de control de calidad de aguas “COSAALT-LTDA”, los parámetros fisicoquímicos en el laboratorio “CEANID” de la Universidad Juan Misael Saracho.



Foto 2-18. Recepción de Muestras de Aguas Residuales en Laboratorio. Elaboración Propia

Los Resultados de los análisis se encuentran expuestos en las tablas del Capítulo I, véase Tabla I.1, Tabla I.2, Tabla I.3 y Tabla I.4. El análisis e interpretación de los datos se encuentra en el siguiente apartado.

2.2.5 Diagnóstico cuantitativo de la PTAR de Caraparí

Antes de exponer los resultados de las muestras de aguas residuales analizadas en laboratorio, se hace la determinación de caudales tanto a la entrada como a la salida de la PTAR.

2.2.5.1 Caudal de entrada y salida de la PTAR

a) Caudal de entrada

A la PTAR llegan al Aguas Residuales Domiciliarios en un solo canal, mismo que a la entrada se divide en dos canales los cuales tienen el sistema de desarenadores, se tomó estos dos canales para la medición del caudal de entrada porque es la parte más adecuada para llevar a cabo la operación.



Foto 2-19. Canal de entrada de Aguas Residuales a la PTAR. Elaboración Propia



Foto 2-20. Canales paralelos (desarenador). Elaboración Propia

Para llevar a cabo los cálculos se dimensionó los canales, y en distintas horas del día se fue tomando medida del tiempo y la profundidad del agua en los canales para poder realizar las operaciones necesarias y llegar al flujo volumétrico, se podrá ver que las medidas no son iguales a pesar de ser canales paralelos, se debe a errores de construcción y deterioro de la infraestructura que el agua va en mayor cantidad por uno de los canales.

Tabla II-2

Dimensionamiento de los canales paralelos

Ítem	Ancho (cm)	Largo (cm)
Canal 1	42,5	41,5
Canal 2	186	187

Nota. Elaboración Propia

Tabla II-3

Medición del Tiempo y la Profundidad del Agua en los Canales

Hora	Profundidad (cm)		tiempo (s)	
	canal 1	canal 2	canal 1	canal 2
9:00	5,75	8,9	8,08	5,6
10:00	6,75	9,5	8,21	7,85
11:00	6,15	8,9	9,48	7,06
12:00	6,75	8,25	9,4	7,5
13:00	7,25	10,75	7,33	7,58
15:00	5,7	7,15	9	4,9
16:00	6,25	8,5	8,31	7,73

Nota. El tiempo que tarda el agua en recorrer el largo del canal. Elaboración Propia

Cálculos:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

$$V = a * b * c \quad (3)$$

Q= caudal

V= Volumen

t= tiempo

a= ancho de canal

b= largo del canal

c= profundidad del agua en el canal

Calculo de caudal en el canal 1:

$$V = 42,5cm * 186cm * 5,75cm = 45453,74 cm^3$$

$$V = 45453,74 cm^3 = 45,45374 l$$

Con Ecuacion 2: $Q_1 = \frac{45,45374 \text{ l}}{8,08 \text{ s}} = 5,62 \text{ l/s}$

Cálculo de caudal en el canal 2:

$$V = 41,5 \text{ cm} * 187 \text{ cm} * 8,9 \text{ cm} = 69068,45 \text{ cm}^3$$

$$V = 69068,45 \text{ cm}^3 = 69,06845 \text{ l}$$

$$Q_2 = \frac{69,06845 \text{ l}}{5,6 \text{ s}} = 12,33 \text{ l/s}$$

Al tener canales paralelos (1 y 2) el caudal total es:

$$Q_T = Q_1 + Q_2 \quad (4)$$

$$Q_T = 5,62 \frac{\text{l}}{\text{s}} + 12,33 \text{ l/s} = 17,96 \text{ l/s}$$

Tabla II-4

Valor del Caudal de Entrada la PTAR, en Distintas Horas del Día

Hora	Caudal (l/s)
9:00	17,96
10:00	15,89
11:00	14,91
12:00	14,21
13:00	18,82
15:00	16,33
16:00	14,48
<i>Q_{promedio}</i>	16,9

Nota. El Caudal máximo Diario de Entrada a la PTAR es 18, 82 l/s Elaboración Propia

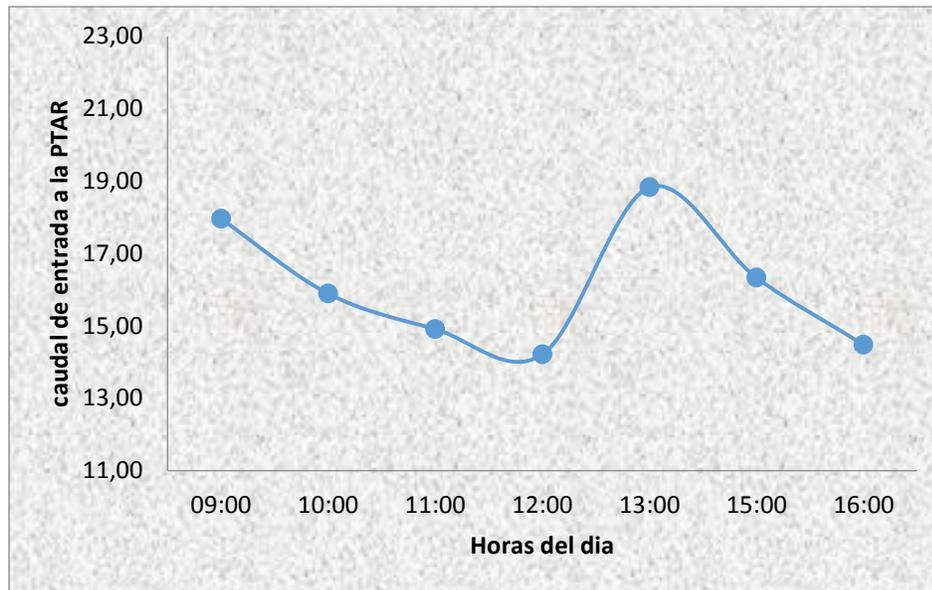


Figura 2-8. Variación del Caudal de Entrada durante el Día. Elaboración Propia

Con estos valores se muestra que el mayor caudal de entrada a la PTAR es aproximadamente a las 8:00 - 9:00 y 13:00 que coincide con las horas pico donde la gente realiza sus actividades en sus domicilios, tomando en cuenta que ese caudal de aguas residuales llega a la PTAR en un lapso de 45 min a 1 hora después de haber sido generadas.

b) Caudal de salida



Foto 2-21. Descarga de la PTAR. Elaboración Propia

El efluente de la PTAR se descarga al Rio Caraparí mediante una tubería de 4 pulgadas de diámetro, el caudal de salida se midió de una manera más sencilla aprovechando la tubería de descarga. Utilizando un volumen constante se controló el tiempo en el que se descarga dicho volumen.

Tabla II-5

Medición del Tiempo de Descarga a un Volumen Constante

Hora	volumen (l)	tiempo (s)
9:00	20	2,32
10:00	20	2,39
11:00	20	2,43
12:00	20	2,54
13:00	20	2,43
15:00	20	2,28
16:00	20	2,5

Nota. Elaboración Propia

Calculando con Ecuación 2:

$$Q = \frac{20 \text{ l}}{2,32 \text{ s}}$$

$$Q = 8,62 \text{ l/s}$$

Tabla II-6

Valor del Caudal a la Salida de la PTAR, en Distintas Horas del Día

Hora	Caudal (l/s)
9:00	8,62
10:00	8,37
11:00	8,23
12:00	7,87
13:00	8,23
15:00	8,77
16:00	8,00
$Q_{promedio}$	8,91

Nota. El Caudal Máx. de Descarga es 8,77 l/s y el Mín. 7,87 l/s. Elaboración Propia

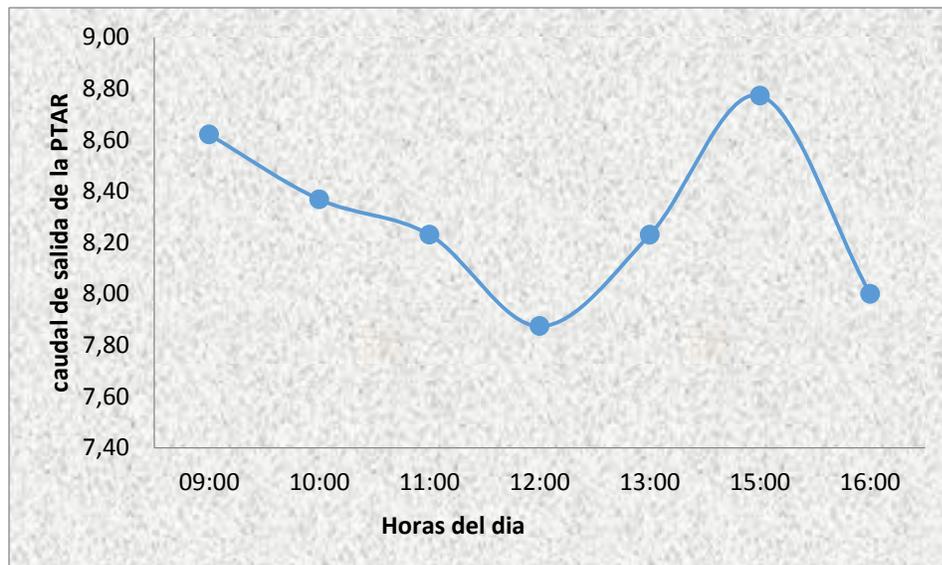


Figura 2-9. Variación del Caudal de Salida. Elaboración Propia

Haciendo una comparación con el caudal de entrada que tiene un valor de 16,09 l/s hay una pérdida de 7 l/s aproximadamente. Esta cantidad de agua posiblemente se pierde por filtraciones, evaporación y en los lodos también sale un porcentaje.

2.2.5.2 Cálculo de la población equivalente

Las unidades empleadas para determinar la carga contaminante son los habitantes equivalentes (HE), se define habitante equivalente como la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO5) de 60 gramos de oxígeno por persona y día.

$$HE = \frac{Q \left(\frac{m^3}{dia} \right) * DBO_5 \left(\frac{g}{m^3} \right)}{60 \left(\frac{g}{hab. dia} \right)} \quad (5)$$

$$HE = \frac{1235,52 \frac{m^3}{dia} * 248 \frac{g}{m^3}}{60 \left(\frac{g}{hab. dia} \right)} = 5106,816 hab.$$

Con este cálculo se puede afirmar que la PTAR de Caraparí sirve aproximadamente a 5106 personas.

Diagnóstico de parámetros químico/biológicos

A continuación se hace el diagnóstico de los parámetros químico/biológicos de las unidades más importantes de la PTAR, para ello al inicio de cada diagnóstico se presenta una Tabla de los parámetros analizados a la entrada y salida de la unidad de tratamiento. Es importante mencionar que los análisis que se presentan en las Tablas II-7 a II-10 no pertenecen a las muestras tomadas para los análisis que ya se expusieron en los anteriores capítulos (para la caracterización del afluente y efluente de la PTAR), por lo tanto pueden presentar variaciones ya que se realizó el muestreo en tiempos diferentes.

2.2.5.3 Diagnóstico de parámetros químico/biológicos del reactor UASB

Tabla II-7

Resultado de los Parámetros Analizados en Laboratorio

Parámetros	unidad	Ingreso a la PTAR	Salida del reactor
DBO ₅	mg/l	240	128,5
DQO	mg/l	465	289,34

Nota. Los Resultados Corresponden a la Muestra Recibida en Laboratorio. Adaptado de COSAALT-LTDA (2018)

Determinación de la eficiencia de remoción:

Retomando la ecuación 1 se tiene: $E = (S_0 - S) / S_0 * 100$

Donde:

E= eficiencia de remoción del sistema

S=carga contaminante de salida (solidos totales, DBO₅ o DQO)

S₀ = carga contaminante de entrada

Analizando con la carga contaminante de DBO₅

$$E = (240 - 128,5) / 240 * 100$$

$$E = 46,45 \%$$

La eficiencia de remoción del reactor oscila en un 46,45 % lo cual muestra que no está funcionando eficientemente, ya que el reactor normalmente elimina un 65 a 80% de materia contaminante en un tiempo de residencia de 5 a 6 horas, y el reactor de la PTAR tiene un tiempo de residencia de 4 h (en bibliografía se encuentra que la eficacia es ligeramente mejor en tiempos de residencia menores).

2.2.5.4 Diagnóstico de parámetros químico/biológicos del tanque de aireación

Tabla II-8

Resultado de los Parámetros Analizados en Laboratorio

Parámetros	unidad	Salida del reactor	Salida del tanque
DBO ₅	mg/l	128,5	112,04
DQO	mg/l	289,34	201,5

Nota. Los Resultados Corresponden a la Muestra Recibida en Laboratorio. Adaptado de COSAALT-LTDA (2018)

Determinación de la eficiencia de remoción:

$$E = (S_0 - S) / S_0 * 100$$

$$E = (128,5 - 112,04) / 128,5 * 100$$

$$E = 12,8 \%$$

La eficiencia de remoción del tanque de aireación o digestor aeróbico es 12,8 %, esta eficiencia es muy baja ya que está por debajo del 50 %.

2.2.5.5 Diagnóstico de parámetros químico/biológicos de la laguna facultativa

Tabla II-9

Resultado de los Parámetros Analizados en Laboratorio

Parámetros	unidad	Salida del tanque	Salida de Laguna
DBO ₅	mg/l	112,04	45
DQO	mg/l	201,5	98

Nota. Los Resultados Corresponden a la Muestra Recibida en Laboratorio. Adaptado de COSAALT-LTDA (2018)

Determinación de la eficiencia de remoción:

$$E = (S_0 - S) / S_0 * 100$$

$$E = (112,04 - 45) / 112,04 * 100$$

$$E = 59,83\%$$

La eficiencia de remoción de la laguna facultativa es 60 %, esta es una buena eficiencia de remoción pero se puede mejorar.

2.2.5.6 Diagnóstico de parámetros químico/biológicos del humedal

Tabla II-10

Resultado de los Parámetros Analizados en Laboratorio

Parámetros	unidad	Salida de Laguna	Salida de la PTAR
DBO ₅	mg/l	45	41,08
DQO	mg/l	95,1	95,1

Nota. Los resultados Corresponden a la Muestra Recibida en Laboratorio. Adaptado de COSAALT-LTDA (2018)

Determinación de la eficiencia de remoción:

$$E = (S_0 - S) / S_0 * 100$$

$$E = (45 - 41,08) / 45 * 100$$

$$E = 8,7 \%$$

El humedal artificial al estar completamente saturado no cumple con ninguna remoción dentro de la PTAR, esto se refleja en su eficiencia del 8,7%.

2.2.5.7 Diagnóstico de parámetros Microbiológicos de la PTAR.

Tabla II-11

Resultado de los Parámetros Analizados en Laboratorio

Parámetros	unidad	Entrada a la PTAR	Salida de la PTAR
Coliformes Totales	NMP/100 ml	2,1E+07	2,1E+04
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1,5E+07	2,1E+04

Nota. Los resultados Corresponden a la Muestra Recibida en Laboratorio. Adaptado de COSAALT-LTDA (2018)

A pesar que en la PTAR se elimina un gran porcentaje de los Coliformes, esto no es suficiente para cumplir con lo establecido en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333 que permite 1000 NMP/100ml de Coliformes en la descarga.

2.2.6 Principales deficiencias encontradas

Gracias al diagnóstico cualitativo y cuantitativo realizado se identificaron las deficiencias de la PTAR, entre ellas las más sobresalientes son:

Ingreso de gran cantidad de sólidos gruesos y finos en épocas de lluvia, especialmente arena lo cual es muy perjudicial para el proceso de digestión.

Deterioro del sistema de tratamiento aeróbico, no funciona de acuerdo al diseño establecido.

Humedal artificial saturado, no cumple ninguna función de remoción y depuración del agua.

A continuación se muestra un cuadro donde se describen de manera general los puntos críticos de la Planta, para luego plantear las alternativas de solución correspondientes.

Cuadro II-1

Resumen de Puntos Críticos Identificados en la PTAR.

Punto Crítico	Observaciones
Infraestructura	Deterioro de elementos debidos a falta, o inadecuada limpieza, falta de elementos de medición de caudal, ausencia de válvulas, deterioro de acabados (regaderas del tanque de aireación, humedal artificial, rejillas)
Operativos	Falta, o limpieza incompleta de elementos, procedimientos de limpieza inadecuados, no se lleva control periódico de operaciones realizadas (limpiezas, mediciones de caudal, toma de muestras, etc.), no se tiene control de tiempos, períodos o cantidad de lodos extraídos, mala disposición final de los desechos de la PTAR.
Seguridad	Falta de elementos de seguridad como barandas en lugares altos, rótulos preventivos o informativos, falta de recubrimiento antideslizante alrededor de tanques y otros elementos, falta o deterioro de equipo de seguridad, falta de botiquines de primeros auxilios
Nivel Cognoscitivo	Falta de capacitaciones periódicas, desconocimiento de la importancia del uso del equipo de protección, carencia de listado de actividades a realizar por ende períodos y procedimientos de realización, falta de registros, ignorancia de métodos correctos de disposición de residuos.

Nota. Elaboración Propia

2.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

La principal solución que se quiere dar con este trabajo es aumentar la eficiencia del proceso de tratamiento de aguas residuales para disponer de dicha agua tratada para otros usos, al mismo tiempo de reducir la contaminación ambiental para una mejor calidad de vida de los pobladores de Caraparí.

En el cuadro II-2 se presentan las alternativas de solución técnico operativas para el buen funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, que responden a las diferentes deficiencias encontradas.

Cuadro II-2

Alternativas de Solución Técnico Operativas Sugeridas para las Deficiencias Encontradas

Unidad de tratamiento	Deficiencia	Propuesta de solución
Rejilla	<ul style="list-style-type: none"> • Deterioro en las rejillas • Área de contacto muy pequeña 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar un sistema de rejillas de limpieza manual con dos cámaras.
Desarenador	<ul style="list-style-type: none"> • Cámaras del desarenador saturadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar frecuencia de limpieza del desarenador.
Desgrasador	<ul style="list-style-type: none"> • Saturación total por falta de limpieza y mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Hacer una limpieza profunda para eliminar los restos de grasas y sólidos contenidos en el desgrasador.

Reactor anaerobio	<ul style="list-style-type: none"> • Infraestructura del UASB en Deterioro • Alta carga de lodos sedimentados debido a la falta de descarga de los mismos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar el mantenimiento de la infraestructura • Aplicar controles de pH, Temperatura, cálculos de cantidad de los fangos formados semanal o quincenalmente para retirar las cantidades adecuadas y evitar la colmatación del lecho filtrante y del reactor en general.
Tanque de aireación	<ul style="list-style-type: none"> • Tanque de aireación y sus componentes fuera de uso, por ausencia de sistema de bombeo de aire 	<ul style="list-style-type: none"> • Recalcular el equipo para airear el tanque • Reemplazar turbinas regenerativas deterioradas por un compresor de aire. • Poner en marcha los difusores de aire de burbuja fina existentes.
Humedal artificial	<ul style="list-style-type: none"> • Humedal artificial saturado y fuera de uso 	<ul style="list-style-type: none"> • Volver a construir el humedal artificial, de flujo subsuperficial usando grava como sustrato y plantaciones de Totora.
Eliminación de m.o. patógenos	<ul style="list-style-type: none"> • Alto nivel de m.o. patógenos en el agua de descarga de la PTAR. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar un sistema de cloración después de la laguna de oxidación para eliminar m.o. patógenos.

Nota. Elaboración Propia

2.3.1 Descripción de las alternativas de solución

A continuación se describen alternativas de solución planteadas en el cuadro II-2.

2.3.1.1 Propuesta para Rejillas

Implementar las rejillas de limpieza manual de acero inoxidable u otro material anticorrosivo. Las rejillas de limpieza manual tienen inclinaciones de 45 a 60 grados con respecto a la horizontal para facilitar la extracción de basura y reducir la tendencia a obstrucciones. Véase Figura 2-10.

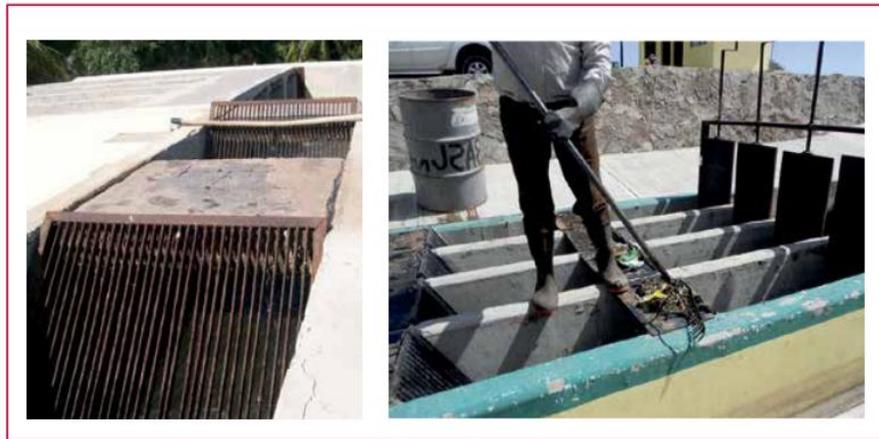


Figura 2-10. Rejas y rejillas de limpieza manual y su operación, respectivamente. SENASBA (2015)

Para una mayor eficiencia se sugiere usar el sistema de rejilla con dos cámaras misma que se puede instalar en los canales paralelos existentes (desarenador), de la manera en que se muestra en la siguiente figura.

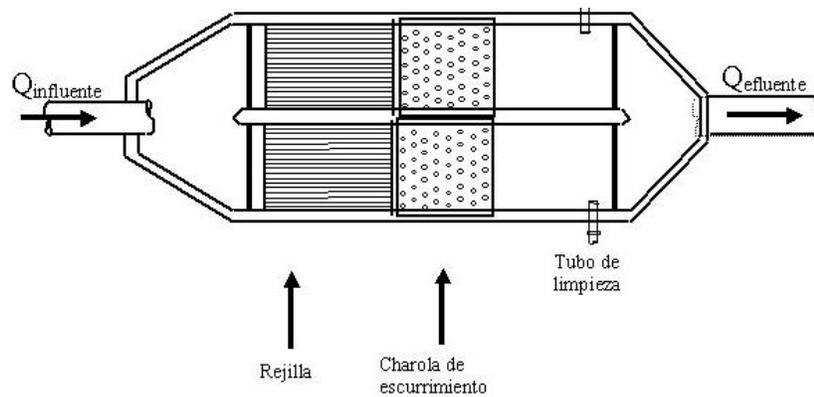


Figura 2-11. Vista en Planta de un Sistema Manual de Rejilla con dos Cámaras. (Henao, Salazar, & López, 2016)

Los sólidos que llegan a la PTAR (escombros, piedras, madera, plásticos, artículos de higiene, textiles y otra basura.) son de tamaños diferentes y por ello es necesario implementar rejillas de distintas dimensiones.

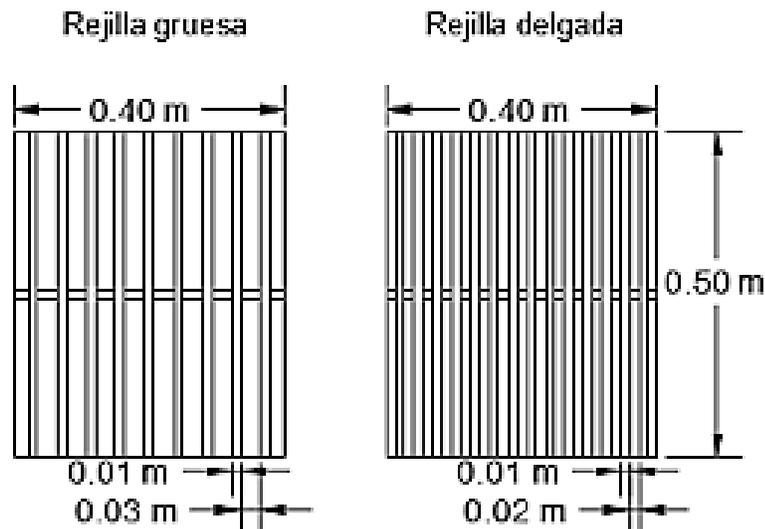


Figura 2-12. Dimensiones de las rejillas. Henao (2016)

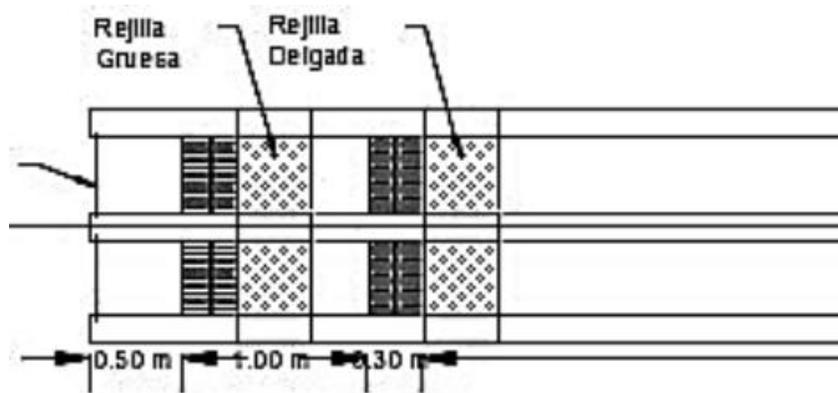


Figura 2-13. Vista en planta del desarenador y la ubicación de rejillas. Henao (2016)

2.3.1.2 Optimización del Desarenador

El desarenador retiene la arena de la PTAR con el fin de evitar que ésta desgaste las instalaciones y ocupe espacios en los equipos. Por lo tanto, es importante limpiar el desarenador por lo menos una vez por mes y si es necesario con más frecuencia en épocas de lluvia.

En un desarenador de dos líneas, si existen compuertas que están en funcionamiento para la limpieza de una línea, sólo se debe cerrar las compuertas de uno y realizar la limpieza mientras el otro está en funcionamiento. Si no existen compuertas, se puede cerrar un compartimento con una madera y sacar los sedimentos.

2.3.1.3 Optimización del desgrasador o trampa de grasas

Las aguas residuales se mueven más despacio al entrar en la trampa, permitiendo que las partículas de la grasa, que son más ligeras que el agua se enfríen y solidifiquen, flotando hacia arriba, mientras que las partículas sólidas se hunden en el fondo; permitiendo que el agua depurada pase por los compartimentos de la trampa para continuar su camino hacia la planta de tratamiento de aguas residuales.

Entre más tiempo permanezcan las aguas residuales en la trampa, mejor es la separación, sin embargo, esta tiene un límite de retención de grasas y sólidos, por lo que necesita ser limpiada periódicamente para poder funcionar adecuadamente.

La trampa de grasa debe limpiarse por completo cuando la grasa y los sólidos cimentados ocupan el 25 % de su volumen, al menos una vez por semana.

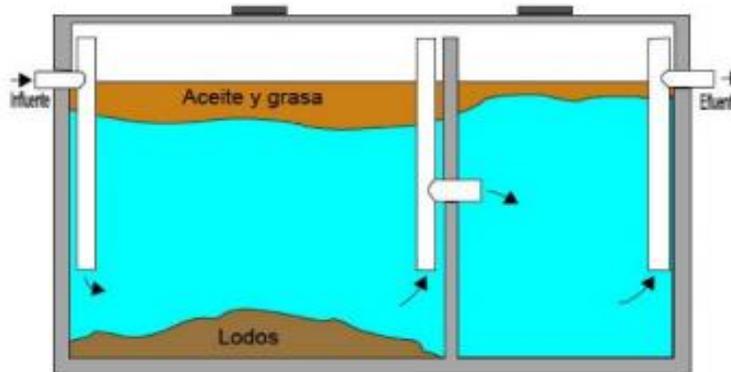


Figura 2-14. Vista Interna de una Trampa de Grasas

2.3.1.4 Optimización de la digestión anaeróbica

Para el buen funcionamiento del reactor UASB es necesario extraer una cantidad equivalente a la producción de microorganismos, para mejorar la eficiencia del reactor llevándose a cabo una mejor digestión.

Para eliminar los lodos inactivos que se acumulan dentro del reactor existen 2 tuberías en el diseño que tienen la finalidad de purgar lodos del fondo del reactor hacia el lecho de lodos, el trabajo de las tuberías se dificulta ya que los propios sólidos contenidos en los lodos taponean las mismas.

Al hacerse difícil la tarea de despejar las tuberías se propone la alternativa de eliminar los sólidos sedimentados mediante una bomba de lodos, extrayendo los mismos del fondo del reactor (es conveniente evacuar desde el fondo del reactor, con el fin de evitar que se consolide lodo con poca actividad biológica), el trabajo de extracción con la bomba se podrá hacer por la parte superior del reactor donde existen aberturas que son las cámaras de control.

Es muy importante evitar la colmatación del lecho filtrante por el exceso de lodos, esta situación se controla inspeccionando por lo menos una vez al mes, en los controles se debe tener en cuenta la altura de los lodos estos no deben llegar a la altura de los baffles de las campanas.

La bomba de lodos a utilizar existe en la PTAR, por lo cual en este trabajo no se tomará en cuenta costos de adquisición de la misma.

2.3.1.5 Propuesta para la digestión aeróbica (Tanque de aireación)

Para dar solución al sistema de aireación se propone en primera instancia volver a usar los difusores de aire, mismos que encuentran en condiciones aceptables.

Por otro lado reemplazar las turbinas regenerativas con un compresor de aire para introducir el oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica e inorgánica en el reactor aeróbico o tanque de aireación.

Para un mejor conocimiento en el siguiente cuadro se muestra los diferentes tipos de compresores que existen

Cuadro II-3

Clasificación de Compresores Según su Funcionamiento Básico

Tipo de compresor	Principio de funcionamiento	Sub clasificación
Compresores de desplazamiento positivo.	Estos se basan en la disminución del volumen de aire en la cámara de compresión en donde se encuentra aislado, produciéndose un incremento de presión para liberar el aire hacia el sistema.	<ul style="list-style-type: none"> • Compresor de pistón • Compresor de tornillo • Compresor de paletas • Compresor de lóbulos • Compresores scroll
Compresores dinámicos.	Este grupo de compresores se basa en la aceleración molecular. El aire es aspirado por el rodete y acelerado a gran velocidad, para después descargarlo en difusores situados junto al rodete, donde la energía cinética generada se transforma en presión estática que se libera al sistema.	<ul style="list-style-type: none"> • Compresores centrífugos radiales • Compresores centrífugos axiales

Nota. Elaboración Propia

2.3.1.6 Optimización de laguna facultativa

Es sistema de lagunaje es el que se encuentra en mejor estado dentro de la PTAR, pero para mejorar la eficiencia de remoción se debe mantener libre de basuras y arbustos en sus orillas. En las lagunas facultativas se puede sacar la nata, así como plásticos, bolsas, etc. desde la orilla con un rastrillo, ya que normalmente se encuentran en las esquinas de las lagunas.

Asimismo, es imprescindible sacar capas de algas lo más pronto posible, si existen. El problema de las algas es que crecen explosivamente e impiden que la luz y el aire puedan entrar, además causan una alta concentración en algunos parámetros de control.

2.3.1.7 Propuesta para tratamiento final de refinación – Humedal Artificial

Se debe remover y cambiar todo del humedal artificial, el lecho de grava, geo membrana, las plantaciones de totora y tuberías, para que el humedal funcione eficientemente.

La plantación de totora mantiene un estándar de 7 plantas por cada 1,125 m² aprox., son eficientes, accesibles y se adaptan fácilmente a las condiciones climáticas, soportan temperaturas altas como bajas. Cuando ocurren heladas las plantas se reponen rápidamente resurgiendo nuevos brotes al cabo de 4 a 6 días. (Duran, 2000)

Para el humedal de la PTAR de Caraparí se plantea las dimensiones 2m de ancho y 8m de largo, siguiendo la relación 1:4 propuesta en varias bibliografías, con 1 m de profundidad y 1% de pendiente para la circulación del agua por efectos gravitacionales.

Para aumentar el tiempo de retención en el humedal se requiere poner deflectores. La implementación de deflectores en los sistemas cumple dos funciones fundamentales: obligan a las partículas presentes en el fluido atravesar todo el lecho y evitan la formación de cortocircuitos. Se estableció que el humedal artificial provisto de deflectores tiene una mejor capacidad de depuración (medida en mg/l de DBO₅) que el sistema sin deflectores. (Sullca, 2004)

En el siguiente capítulo se presentan los cálculos del diseño y dimensionamiento del humedal artificial propuesto para la PTAR de Caraparí

2.3.1.8 Propuesta para eliminación de m.o. patógenos (Coliformes)

Desinfección del agua: La desinfección del agua se refiere a la destrucción, remoción o reducción de los microorganismos patógenos presentes en ella.

La desinfección puede ser natural o artificial. La desinfección natural es producida por agentes naturales como la luz del sol, la sedimentación, la filtración en las capas arenosas del suelo, o la estabilización de la materia orgánica que disminuye la reserva de alimento para los m.o. La desinfección artificial es la que el hombre provoca deliberadamente, se puede realizar mediante agentes físicos como el calor, la radiación UV, o químicos como los halógenos (Cl y sus derivados, Br, I), dióxido de cloro, plata ionizada y otros.

En el proceso de desinfección química los m.o. son oxidados por el químico (pierden electrones) y mueren.

Desinfección con Cloro: El cloro en condiciones normales de presión y temperatura es un gas verde, 2,5 veces más pesado que el aire, es un poderoso oxidante y germicida. Es eficiente, seguro cuando se aplica adecuadamente, es el desinfectante más económico y fácil de aplicar.

El cloro para la desinfección se puede obtener de disoluciones en agua (al 5%) de hipoclorito de sodio NaClO o bien hipoclorito de calcio. Cuando el cloro es aplicado en forma de alguna de sus sales, el proceso se conoce como hipo cloración.

Durante la desinfección el cloro reacciona con ciertos materiales orgánicos (como nitrógeno orgánico y fenoles) formando subproductos órgano-clorados y trialometanos que pueden ser perjudiciales.

Microorganismos de interés

El número de organismos presentes en el agua no afecta el proceso de desinfección. En cambio, cada tipo de m.o. tiene sensibilidad notablemente distinta a la desinfección, como se puede ver en la siguiente figura.

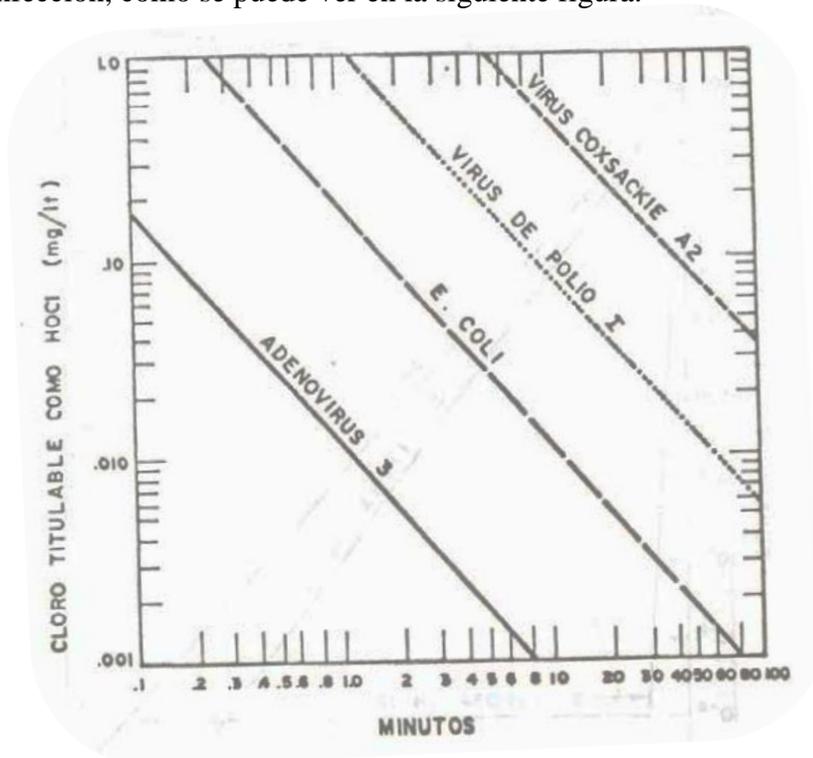


Figura 2-15. Relación entre Concentración y Tiempo en que el HOCL Destruye Diferentes m.o. Arboleda (2000)

Se ve que a concentraciones muy bajas de cloro se puede eliminar los m.o. del agua, por ejemplo se necesita 1ppm de hipoclorito de sodio para eliminar los E. Coli en 15 segundos.

En la PTAR de Caraparí se propone instalar un tanque de cloración al salir de la laguna facultativa, antes del humedal artificial para desinfectar el agua eliminando los Coliformes. Pero se debe tener cuidado con el tiempo de residencia que debe ser el necesario para eliminar los m.o. del agua.

2.3.1.9 Alternativa para eliminación de lodos

Como resultado de la remoción de contaminantes, en los procesos de tratamiento se producen diferentes subproductos, siendo el más importante los lodos. Los lodos provienen de las etapas de tratamiento primario y tratamiento secundario, y sus características dependen del proceso donde se originaron y del tratamiento que han recibido. La etapa más importante del tratamiento de lodos es la estabilización, durante la cual se reduce la masa y volumen y se reducen los organismos patógenos, olores y la atracción de vectores. Los métodos más utilizados son la digestión aerobia y anaerobia.

La disposición de los lodos es un gran problema, ya que se requieren grandes superficies de terreno o transportarlos a un sitio autorizado, otros problemas son la vida útil del sitio y el manejo y tratamiento de los lixiviados ahí generados. No obstante los problemas que trae el tratamiento y disposición de los lodos, éstos pueden traer grandes beneficios para las plantas de tratamiento y la población.

Los lodos pueden ser aprovechados como fuente de energía durante la etapa de digestión anaerobia en la que se produce biogás como subproducto del proceso. El biogás puede ser alimentado a una máquina de cogeneración para generar energía eléctrica y calorífica.

Además de la producción de energía, la cogeneración presenta la ventaja de reducir la emisión de gases de efecto invernadero al ambiente. Los lodos estabilizados o biosólidos, también pueden ser utilizados como mejoradores de suelo en la agricultura. Éstos mejoran las características del suelo y proveen nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal como nitrógeno, fósforo, níquel, zinc y cobre. Debido a sus ventajas, los biosólidos pueden utilizarse como sustituto de fertilizantes químicos.

Esta alternativa no se toma en cuenta a detalle en el presente trabajo porque es muy amplia y da lugar a estudios para trabajos posteriores sobre el tratamiento de lodos.

2.4 SELECCIÓN DEL EQUIPO NECESARIO

2.4.1 Selección de un compresor de aire

Como ya se desglosó en el punto 2.3.1.4 se necesita un compresor de aire, pero para saber qué tipo de compresor es el adecuado se trabaja con la gráfica de selección de compresores entrando con los datos de presión y caudal que se encuentran establecidos en el diseño inicial para las turbinas regenerativas: $P = 500 \text{ mbar}$ ($7,25 \text{ lb/plg}^2$) y $Q = 3300 \text{ m}^3/\text{h}$ ($1942,413 \text{ pie}^3/\text{min}$)

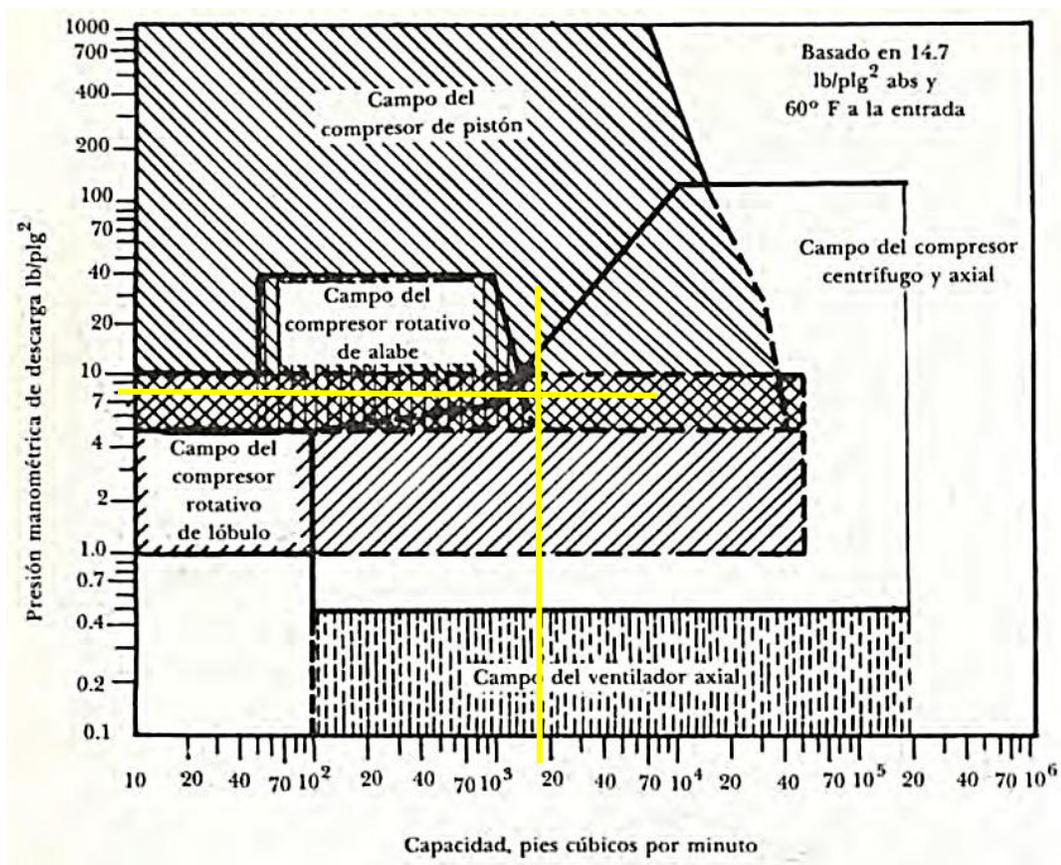


Figura 2-16. Gráfica para la Selección del Tipo de Compresor. (Balderas & Noriega, 1993)

Mediante la intersección en la gráfica se sabe que el compresor con las características adecuadas para el tratamiento es de tipo centrífugo y/o axial.

Compresores centrífugos

En este tipo de compresores el aumento de la presión se logra acelerando el gas utilizando el impulsor, y luego reduciendo la velocidad del aire en movimiento en el difusor, para transferir la energía cinética a la presión. Una de las características interesantes del compresor centrífugo es que a medida que la velocidad del impulsor se reduce, la capacidad del compresor aumenta.

Un compresor centrífugo gira a una velocidad más alta que otros tipos de compresores. Estos compresores están diseñados para ofrecer una mayor capacidad, gracias a que el flujo a través del compresor es continuo.

Los compresores centrífugos se utilizan en aplicaciones químicas y petroquímicas, en generación de energía, gases industriales, en plantas de fabricación de acero o vidrio e, incluso, en plantas de fertilizantes. Y, en general, en cualquier lugar que necesite grandes volúmenes de aire a baja presión.

Compresores axiales

Son algo similares a los compresores centrífugos, El compresor axial es un tipo de compresor que comprime continuamente el aire. Es un compresor rotativo basado en una superficie aerodinámica en el que el gas o el aire fluyen paralelos al eje de rotación.

A medida que el compresor succiona el aire axialmente y aumenta su nivel de energía, el aire fluye a través de las palas del rotor que gira y ejerce un par de torsión en el aire. Después, las palas estacionarias disminuyen la velocidad del fluido y convierten el componente circunferencial del aire en presión, comprimiendo así el aire. En esta clase de compresores la presión se produce en varias etapas.

CAPÍTULO III
ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO DEL EQUIPO

III. ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO DEL EQUIPO

3.1 BALANCE DE MATERIA

En el presente trabajo se consideró un balance de materia para procesos no reactivos.

Un sistema se considera abierto cuando se transfiere materia por la frontera del sistema; es decir, que entra materia del entorno al sistema o sale materia del sistema hacia el entorno o las dos cosas.

Un balance de materia es simplemente la aplicación de la Ley de conservación de la masa: “La materia no se crea ni se destruye, se transforma”.

Esta ley se cumple en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales. La materia que entra a una planta de tratamiento, puede sufrir transformaciones o no; pero la masa se conserva. Se toma en cuenta los siguientes puntos:

- Si a una planta de tratamiento entra 100 toneladas materia no biodegradable (MNB), saldrán de la planta 100 toneladas de materia no biodegradable (MNB). La suma de lo que salga a través de las purgas de arenas, lodos, natas y efluente de agua tratada; serán 100 toneladas. Lo que no se retire a través de las purgas de arenas, lodos, natas, saldrá por el efluente del agua tratada. Es decir el agua tratada seguirá conteniendo parte de los contaminantes que entraron a la planta en pequeños porcentajes.
- Si a una planta de tratamiento entra 100 toneladas de materia orgánica disuelta (DBO) y 90 toneladas son utilizadas como alimento por los microorganismos; de la planta solo saldrán 10 toneladas de DBO. De acuerdo a Ramalho y otros investigadores se producen 0.73 kilogramos de microorganismos (SSV) por cada kilogramo de DBO removida. Este valor es mundialmente aceptado en Ingeniería Sanitaria. Por lo tanto, las 90 toneladas de DBO removidas, se habrán transformado en 65.7 toneladas de microorganismos (SSV). El resto se transformó en CO₂, vapor de agua y demás productos de la respiración endógena y del metabolismo de los

procesos fisiológicos. (Salas, 2013)

Para el balance de materia en la PTAR de Caraparí se toma en cuenta básicamente la remoción de la DBO y la eficiencia de remoción de la planta según el diagnóstico realizado es 64% a 65%. El caudal de entrada para el balance es 14,11 l/s que fue determinado en noviembre del 2018, mismo que puede variar hasta 18 l/s

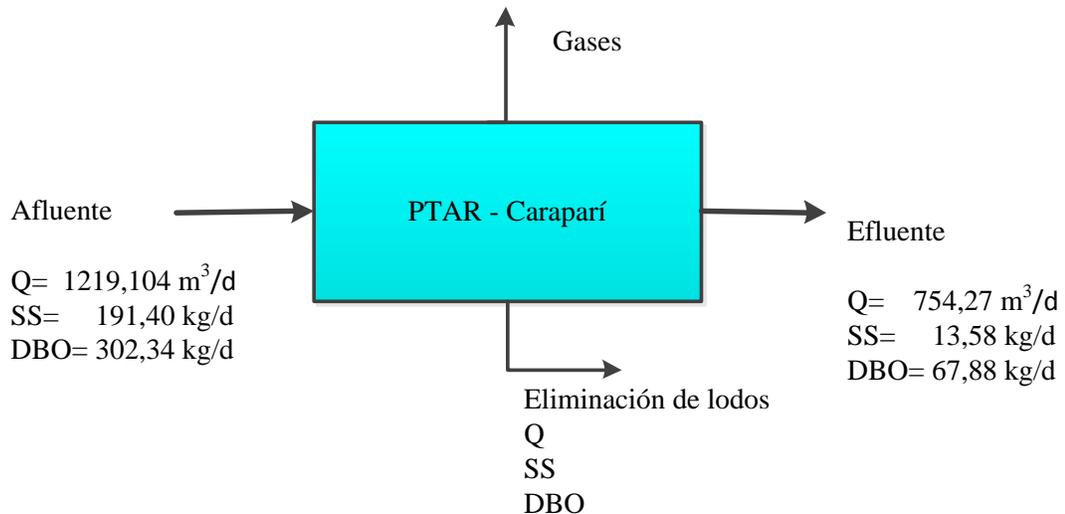


Figura 3-1. Diagrama para el Balance General de Materia. Elaboración Propia

Base de cálculo: 1 día de operación

DBO

El 64% de la DBO de entrada es removida, el restante 36% sale como DBO en el efluente y lodos.

$$302,34 \text{ kg DBO} * 0,64 = 193,50 \text{ kg DBO removida}$$

$$302,34 \text{ kg} - 193,50 \text{ kg} = 108,84 \text{ kg DBO (sale en efluente y lodos)}$$

SS

Según bibliografía el 73% de la DBO removida se transforma en sólidos en suspensión que salen en los lodos y efluente, el resto es la energía que se consume fisiológicamente.

$$193,50 \text{ kg} * 0,73 = 141,25 \text{ kg SS (sale en lodos y efluente)}$$

Eliminación de gases

El restante de la DBO removida (lo que no se transforma en solidos suspendidos) es eliminado como gases (CO₂, CH₄, vapor de agua, etc.)

$$193,50 \text{ kg} - 141,25 \text{ kg} = 52,25 \text{ kg gases}$$

Eliminación de lodos

La cantidad de solidos a eliminar en los lodos es: 191,40 Kg que entran como SS más 141,25 kg resultante de la remoción, restando los 13,58 kg que salen en el efluente.

$$(191,40 \text{ kg} + 141,25) - 13,58 = 319,07 \text{ kg SS}$$

También hay una parte de la DBO que sale con los lodos, que es la parte que no se remueve, restando la parte que sale en el efluente

$$108,84 \text{ kg} - 67,88 = 40,96 \text{ kg DBO.}$$

En la eliminación de los lodos no solo cuenta los lodos que se formaron en el proceso de remoción, sino también los sólidos que entran a la planta y se eliminan en la parte del cribado como las arenas y solidos gruesos que principalmente quedan en el tamiz.

A continuación se muestra un balance de materia simplificado.

Tabla III-1

Balance de materia simplificado

ENTRADA		+	SE TRANSFORMA		=	SALIDA			
Afluente			Remoción 64% de DBO			Efluente			
Q	l/s	14,11	-	DBO	Kg/d	193,50	Q	l/s	8,73
DBO	mg/l	248					DBO	mg/l	90
SS	mg/l	157					SS	mg/l	18
Q	m ³ /d	1219,10	+	Producción de microorganismos, 73% de la DBO removida			Q	m ³ /d	754,27
DBO	Kg/d	302,34		SS	Kg/d	141,25	DBO	Kg/d	67,88
SS	Kg/d	191,40					SS	Kg/d	13,58

Eliminación de Lodos		
Q	m ³ /d	464,83
DBO	Kg/d	40,96
SS	Kg/d	319,07

Eliminación de gases	
Kg /d	52,24

Nota. Elaboración Propia.

3.2 DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO

3.2.1 Dimensionamiento del compresor de aire

En el capítulo anterior se mostró que hay la necesidad de un compresor de aire, el cual se estudiara en este punto. Calculando la Presión y Capacidad del mismo.

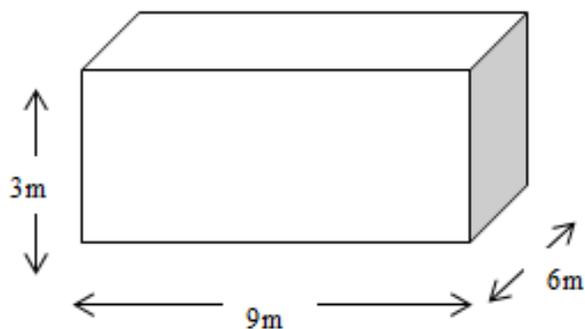


Figura 3-2. Dimensiones del Tanque de Aireación. Elaboración Propia

Volumen: (3*9*6) m = 162 m³

Temperatura del agua en el tanque: 19 °C

Presión de la columna de agua:

$$P = \rho * g * h \quad (7)$$

P= presión hidrostática (en pascales)

ρ = densidad del líquido (en kg/m³)

g= gravedad (en m/s²)

h= altura del agua en el tanque (m)

$$P = 1000kg/m^3 * 9,81m/s^2 * 3m$$

$$P = 29430 pa = 0.3 bar$$

Oxígeno necesario para la oxidación total de la materia Orgánica e inorgánica que contiene el agua residual:

$$Q \left(\frac{l}{s} \right) * demanda total de O_2 \left(\frac{mg}{l} \right) = mgO_2/s \quad (8)$$

Demanda total de O₂ = DBO + DQO + otros (N,P)

$$16,9 \frac{l}{s} * (128,5 + 289,34 + 574,13 + 33,29) \left(\frac{mg}{l} \right) = 17326,8 \frac{mgO_2}{s} = 17,3 gO_2/s$$

$$17,3 gO_2/s = 62352 gO_2/h$$

Cantidad de aire que debe ser introducido para la oxidación total

$$17,3 \frac{gO_2}{s} * \frac{100g aire}{23gO_2} = 75,2 g aire/s$$

Llevando a flujo volumétrico:

$$\rho_{aire} = 1,225 \text{ g/l}$$

$$\frac{75,2 \text{ g/s}}{1,225 \text{ g/l}} = 61,4 \text{ l/s} = 221,04 \text{ m}^3/\text{h} \text{ de aire necesarios para la oxidacion}$$

Este dato indica la cantidad de aire que debería introducir el compresor de manera ideal sin pérdidas y asumiendo que haya el 100% de transferencia o absorción de oxígeno pero en realidad esto no sucede, por lo tanto se toma en cuenta la transferencia de oxígeno que ofrecen los difusores. Existen 198 difusores con un caudal de trabajo hasta 8 m³/h cada uno, y una transferencia de O₂ de 22,4 gr por cada m³/h de aire (a 20°C)

Se tiene la demanda de oxígeno necesario para oxidar la materia y el dato de la transferencia de oxígeno, relacionando estos dos datos se tiene:

$$1 \text{ m}^3 \text{ de aire} \rightarrow 22,4 \text{ g O}_2$$

$$x \quad \rightarrow 62352 \text{ g O}_2$$

$$x = 2783,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ de aire tomando en cuenta la transferencia de O}_2$$

Este es el caudal de aire necesario para oxidar por completo la materia orgánica e inorgánica del reactor aeróbico. Pero la demanda de caudal de los difusores (que son 198 con una capacidad de 8 m³/h cada uno) es más baja:

$$Q_{dif.} = 198 \text{ dif.} * 8 \text{ m}^3/\text{h} = 1584 \text{ m}^3/\text{h} \text{ aire requerido por los difusores}$$

En conclusión se necesita un compresor con una presión de trabajo igual o mayor a 1 bar y una capacidad aprox. de 1584 m³/h. este al presentar baja presión y gran caudal está en el rango de los compresores centrífugas y axiales. Ver Figura 2-16.

3.2.2 Dimensionamiento del Humedal Artificial

a) Volumen del lecho

$$V_t = l_t * a_t * h_t \quad (9)$$

$$V_t = 8m * 2m * 1m = 16 m^3$$

V_t = Volumen total del lecho

l_t = longitud total del lecho

a_t = ancho total del lecho

h_t = altura total del lecho

b) Volumen de espacios vacíos

$$V_v = V_t * x \quad (10)$$

$$V_v = 16 * 0,45 = 7,2 m^3$$

V_v = volumen de espacios vacíos

x = porosidad de la grava (0,45 de bibliografía)

c) longitud y ancho real de los espacios vacíos

Estableciendo una relación de las dimensiones del humedal se tiene:

$$l : a : h \rightarrow 8 : 2 : 1 \rightarrow 8h : 2h : h$$

$$V_v = 8h * 2h * h = 16h^3$$

Despejando h:

$$h = \sqrt[3]{\frac{4,5}{16}}$$

$$h = 0,655 m$$

$$l = 8 * h = 5,241 m$$

$$a = 2 * h = 1,31 m$$

d) cálculo del número de deflectores

La relación correspondiente al humedal es 4:1 $\longrightarrow \frac{4}{1} = \frac{8}{2} = 4$

Tomando en cuenta el curso del agua con los deflectores, el ancho del humedal se vuelve el largo y la distancia entre deflectores será el ancho, entonces se tiene:

$$l = 2 m$$

De la relación 4:1 se tiene que el ancho es $\frac{1}{4}$ del largo

$$a = \frac{1}{4}l = \frac{1}{4} * 2m = 0.5 m$$

Entonces la distancia entre deflectores será 0,5 m por lo que se necesitan 16 deflectores para cubrir el humedal.

La distancia entre los deflectores y la pared del humedal (espacio por el cual pasará el agua), se calcula con la siguiente fórmula:

$$d = 1,5 e$$

$$d = 1,5 * 0,5m = 0,75 m$$

d = distancia entre el deflector y la pared del humedal

e = espacio entre deflectores

Otros componentes importantes del humedal son la Geo membrana para evitar filtraciones del agua y un filtro a la salida del humedal para que el agua pase libre de sólidos gruesos a las tuberías de descarga. Este filtro se puede mantener como en el diseño inicial una tubería de 6" perforada conectada mediante una "T" a otro tubo para la descarga, todo esto es de PVC.

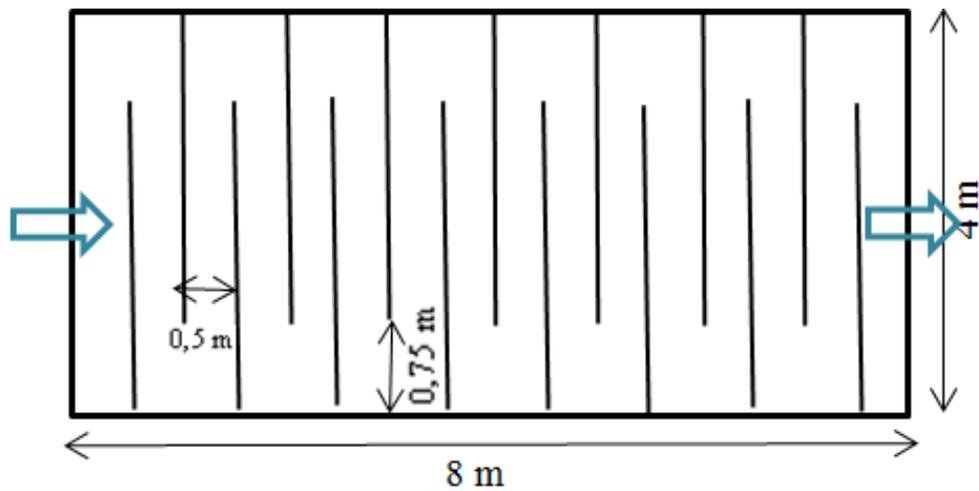


Figura 3-3. Vista en Planta del Humedal Artificial con sus respectivas dimensiones. Elaboración Propia

3.2.3 Dimensionamiento del clorador

El tanque donde se llevará a cabo la cloración será un tanque de mezcla completa siguiendo el modelo de reactor CSTR.

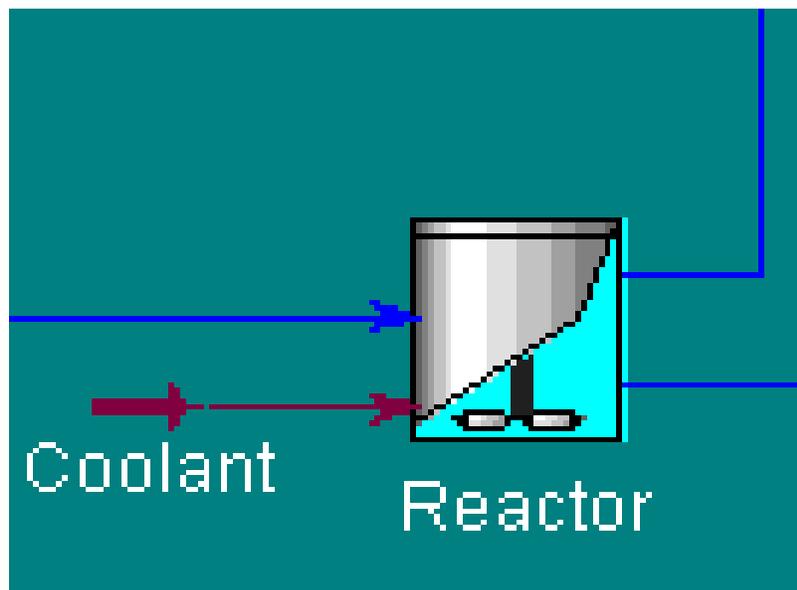


Figura 3-4. Vista de un Reactor CSTR en HYSYS. Elaboración propia

Potencia

$$W = Pot * t \quad (11)$$

W = E = trabajo o energía

Pot = potencia

t = tiempo

$$E = mgh + \frac{1}{2}mv^2 = m\left(gh + \frac{1}{2}v^2\right) \quad (12)$$

Remplazando Ecuación 12 en Ecuación 11 y despejando:

$$Pot = \frac{E}{t} = \frac{m}{t} \left(gh + \frac{1}{2}v^2 \right)$$

Tomando en cuenta altura de chorro 0,5 m, densidad del agua 1kg/m³ y dato de caudal de salida de la PTAR se tiene:

$$Pot = \frac{8,9kg}{s} \left(\frac{9,8m}{s} * 0,5m + \frac{1}{2} * \left(\frac{1,089m}{2} \right)^2 \right) = 48,887$$

$$Pot = 49 \text{ watt}$$

Diámetro del tanque

$$t_r = \frac{V}{Q} \quad \rightarrow \quad V = t_r * Q \quad (13)$$

Tomando 20 min como tiempo de residencia (tiempo necesario para matar m.o.)

$$V = 1200s * 8,9E^{-3}m^3/s = 10,68 m^3$$

$$\text{Diametro del TK : } \phi = h \rightarrow V = \frac{\pi}{4} d^2 * d \rightarrow \sqrt[3]{d^3} = \sqrt[3]{\frac{V}{\pi/4}}$$

$$\phi_{TK} = \sqrt[3]{\frac{10,68m^3}{0,7854}} = 2,387m \quad \text{diametro} = \text{altura por el modelo de TK}$$

Velocidad en volumen

$$v_{vol} = \frac{Q}{A_{TK}} = \frac{8,9E^{-3}m^3/s}{0,7854 * (2,387m)^2} = 1,989E^{-3}m/s$$

Esta velocidad es muy baja, significa que el chorro natural no sirve para agitación, porque en bibliografía se muestra que la velocidad en volumen recomendada para este caso es de 0,03 a 0,06 m/s, Véase Figura 3-5.

Velocidad en volumen ft/s (m/s)	Descripción
0.1 (0.03)	Velocidades en volumen de 0.1 y 0.2 ft/s (0.03 y 0.06 m/s) son características de aplicaciones que requieren un movimiento mínimo del líquido. Una velocidad en volumen de 0.2 ft/s (0.06 m/s):
0.2 (0.06)	
	<ul style="list-style-type: none"> • Mezclará líquidos miscibles hasta lograr uniformidad, si las diferencias de gravedades específicas son menores que 0.1 • Mezclará líquidos miscibles hasta lograr uniformidad, si la viscosidad del líquido más viscoso es menos que 100 veces la de cualquier otro líquido presente • Pondrá en movimiento todo el líquido del lote • Producirá una superficie plana pero en movimiento del líquido

Figura 3-5. Tabla de Resultados de la Agitación Asociados con las Velocidades en Volumen. Recuperado de (Chohey & Tyler, 1988)

Se necesita agitador:

Se supone agitación de alabes inclinados, ya que es la más usada comúnmente, se puede observar en la Figura 3-6, y sacar el N_p de la misma

$W/D = 1/5$	$W/D = 1/5$	$W/D = 1/6$	$W/D = 1/6$	$W/D = 1/5$
Álabe inclinado (P-4) $N_p = 1.37$	Álabe inclinado (P-6) $N_p = 1.70$	Álabe recto (S-4) $N_p = 2.96$	Álabe recto (S-6) $N_p = 3.86$	Tipo disco (D-6) $N_p = 5.46$

Figura 3-6. Valores del Número de Potencia en Condiciones Turbulentas N_p , para Diferentes Configuraciones del Impulsor, W/D es la Razón del Ancho Real del Alabe Respecto al Diámetro del Impulsor. Recuperado de Chohey (1988)

Entonces el Numero de Potencia es: $N_p = 1,37$

Diámetro del rotor del agitador:

$$\Phi_{rotor} = 1/3 \Phi_{TK} \quad (14)$$

$$\Phi_{rotor} = \frac{1}{3} * 2,387m = 0,786 \cong 0,8 m$$

Con el método interactivo calcular el número de revoluciones del rotor

$$Nr_{supuesta} = 100rpm \rightarrow Re \rightarrow \text{Figura 3-7} \rightarrow N_Q \rightarrow Nr_{rpm}$$

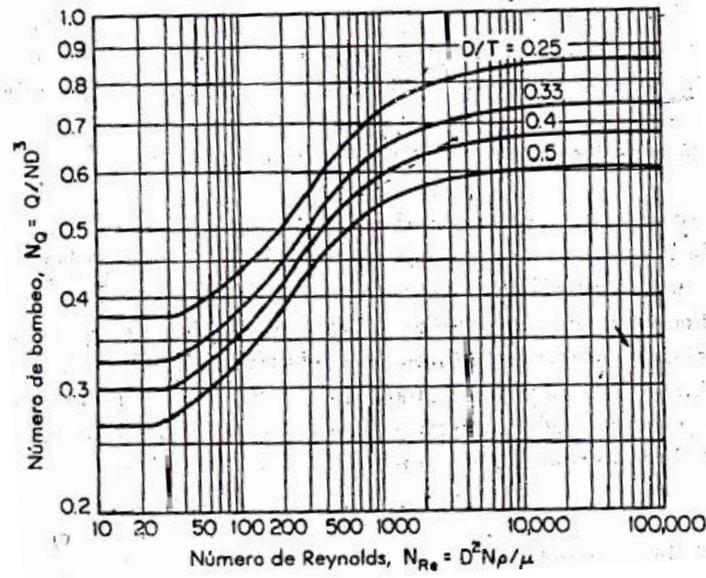


Figura 3-7. Numero de bombeo, en función del número de Reynolds del Impulsor, para impulsores con alabes inclinados ($N_p=1,37$). Recuperado de Chohey (1988)

Se llega a la convergencia con el valor de: $N=0,052\text{rps} = 3.11\text{ rpm}$

Pero esta velocidad de agitación es muy pequeña, entonces se asume la velocidad del impulsor $37\text{rpm} = 0,6166\text{ rps}$ que es la mínima según bibliografía, citada en (Chohey & Tyler, 1988, pág. 12.9)

$$N_p = \frac{P}{\rho * N^3 * \phi_{rotor}^5} \quad (15)$$

Despejando potencia de Ecuación 15, calculamos potencia teórica del Agitador:

$$P_{teo} = N_p * \rho * N^3 * \phi_{rotor}^5 = 1,37 * \frac{1000\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,6166\text{rps}^3 * 0,8\text{m}^5 = 105,24\text{ w}$$

$$P_{real} = \frac{P_{teo}}{\eta_{reductor} * \eta_{rotor}} = \frac{105,24\text{ w}}{0,6 * 0,75} = 234,22\text{ w}$$

Entonces se elige un motor de 250 watts de potencia, que es igual a 1/3 de HP.

Dosificación de Cloro

Se necesita 1 mg de cloro por litro, entonces con el caudal sabemos que se necesita

8,9 mg/l por segundo

En 1 min: 534 mg/l

$$1 \text{ L NaClO} \rightarrow 60000 \text{ mg Cl.}$$

$$x \rightarrow 534 \text{ mgCl}$$

$$X = 8,9 \text{ E-3 L NaClO} = 8,9 \text{ ml NaClO /min}$$

Al necesitar muy pequeña cantidad de hipoclorito de sodio, se debe hacer una dilución del mismo para poder dosificar sin problema. Se necesitará una dilución de concentración 1:25 de hipoclorito de sodio. Y la cantidad a introducir de dicha dilución será:

$$\frac{8,9 \text{ ml}}{\text{min}} * 25 = 222,5 \text{ ml/min}$$

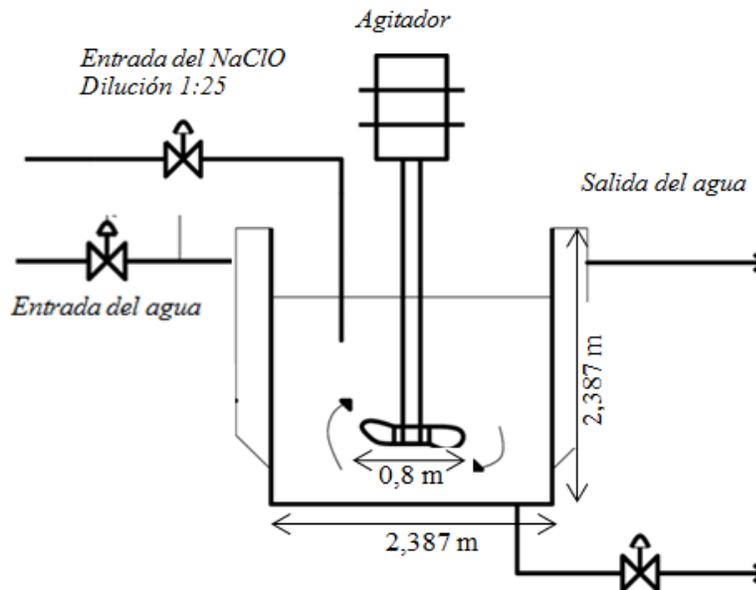


Figura 3-8. Dimensiones del Clorador- Reactor CSTR. Elaboración Propia

3.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO OPTIMIZADO

Se presenta un diagrama de bloques con las unidades sujetas a modificación e implementación en la PTAR de Caraparí.

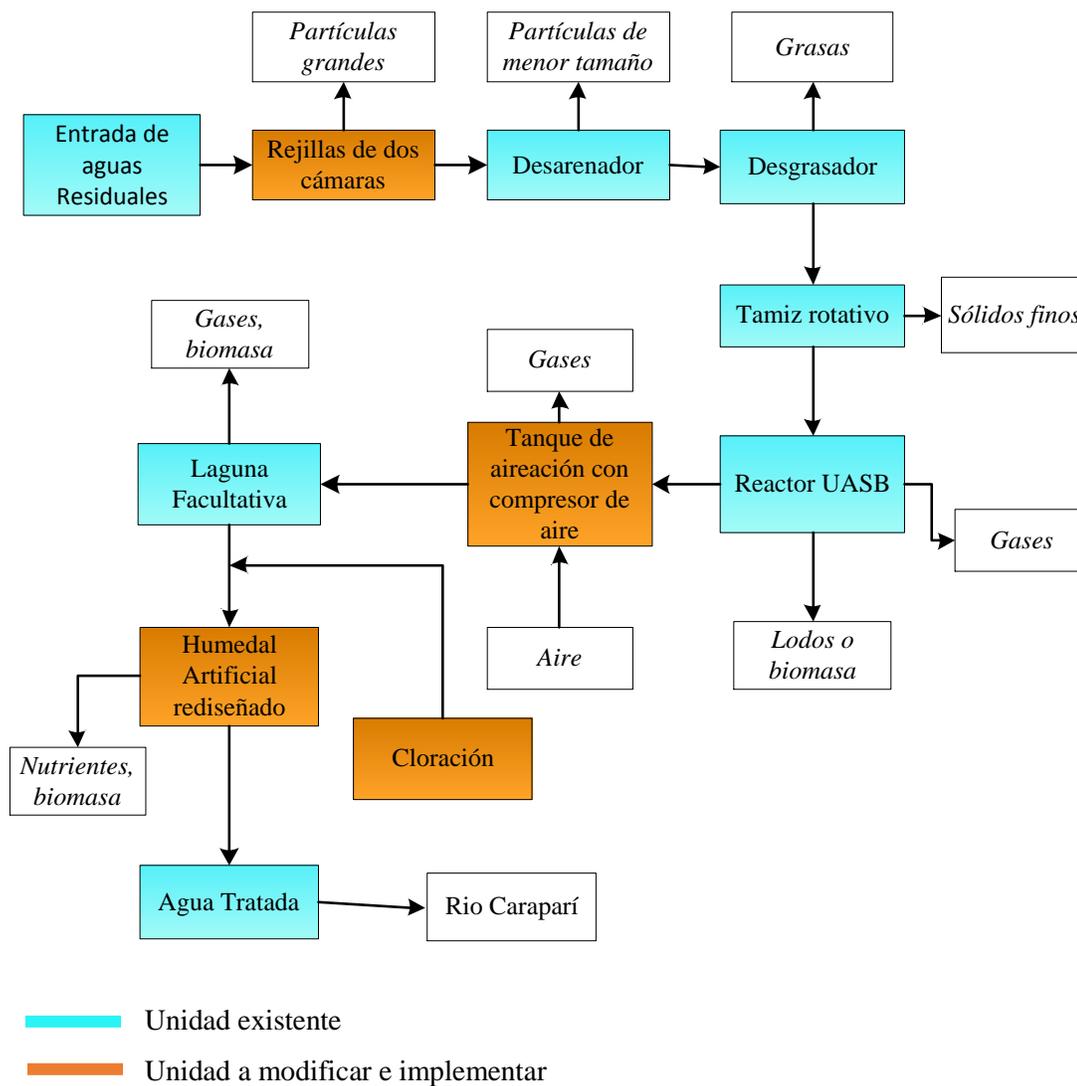


Figura 3-9. Diagrama de bloques del proceso optimizado. Elaboración Propia

En el presente trabajo no se proponen grandes cambios, a excepción de la implementación del sistema de cloración, son modificaciones en las tecnologías ya existentes, limpieza, reconstrucción, etc. Para lograr un buen funcionamiento de la PTAR y tener una alta eficiente de la misma.

A continuación se presenta un diagrama en el que se expone los resultados de una optimización exitosa, tomando en cuenta altas eficiencias de las unidades de tratamiento logradas con la optimización de la PTAR.

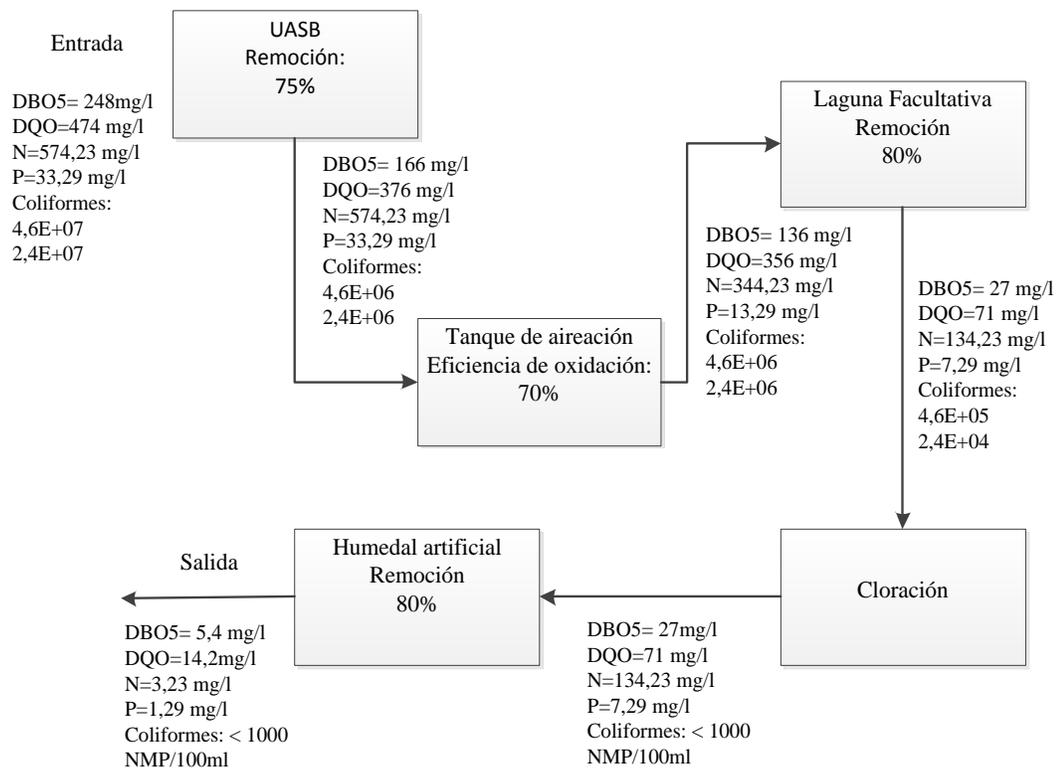


Figura 3-10. Eficiencia del Proceso Optimizado, Resultados de la Remoción y Eliminación de Contaminantes. *Nota.* Datos basados solamente en eficiencias, no son resultados experimentales. Elaboración Propia

Estos resultados se pueden lograr solamente si se tiene una buena operación de la PTAR, de lo contrario se volverá a los mismos problemas frecuentemente

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS ECONÓMICO

IV. ANÁLISIS ECONÓMICO

De acuerdo al análisis se presenta el costo de mejoramiento y equipamiento del sistema existente. El cual se expresara en dólares (Tomando el costo del dólar 7 bs.)

4.1 COSTO DE CAPITAL

Este costo puede ser explícito o implícito y ser expresado como el costo de oportunidad para una alternativa equivalente de inversión.

La inversión referente a la adquisición de materiales, construcción e instalación de equipos en la PTAR se presenta a continuación:

a) Rejillas con dos cámaras

Costo del material (6 m de varilla de acero inoxidable cuadrada)	94 \$us
Costo de construcción	85 \$us
Costo de instalación	50 \$us
Total =	<hr/> 229 \$us

b) Compresor de aire

Costo del compresor	19054 \$us
Materiales adicionales	100 \$us
Costo de instalación	1000 \$us
Total	<hr/> 20154 \$us

c) Humedal artificial

Costo de grava (16 cubos)	686 \$us
Costo de geo membrana de 1 mm (36 m ²)	1620 \$us
Costo de plantas de totora	100 \$us
Costo de tubería 6" (2 pza. de 6m)	95 \$us
Deflectores	150 \$us
Costo excavación	95 \$us
	<hr/>
Total	2746 \$us

d) Sistema de Cloración

Construcción del tanque (hormigón)	500 \$us
Accesorios	100 \$us
Dosificador	425 \$us
	<hr/>
Total	1025 \$us

Inversión total en materiales y equipos ----- 24154 \$us

4.2 COSTO DE OPERACIÓN

Los costos de operación son los gastos que están relacionados con la operación del proyecto, o para el funcionamiento de un dispositivo, componente, equipo o instalación.

a) Horas hombre de trabajo

La PTAR funciona las 24 horas y los 7 días de la semana, sin embargo hay un solo operador, para mejorar la operación de debe tener trabajadores en 3 turnos para cubrir las 24 horas de trabajo.

Tabla IV-1

Costo de horas hombre en la operación de la PTAR

	Horario de trabajo	Salario mensual
Operador 1	06:00 – 14:00	303,1 \$us
Operador 2	14:00 – 22:00	303,1 \$us
Operador 3	22:00 – 06:00	303,1 \$us
Total		909,3 \$us

b) Herramientas y ropa de seguridad para la operación de la PTAR

Equipo de protección personal	310 \$us
Herramientas de trabajo (palas, carretilla, baldes, etc.)	200 \$us
Total	410 \$us

c) Capacitaciones

Capacitación sobre la operación de una PTAR a los operadores	50 \$us
--	---------

d) Energía eléctrica e Hipoclorito de Sodio mensual

Consumo de energía eléctrica (180kwh)	20 \$us
Consumo de hipoclorito de sodio (384,5 litros)	490 \$us

Costo total de operación mensual ----- 1879,3 \$us

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se realizó el diagnóstico cualitativo y cuantitativo de la PTAR de Caraparí, usando fichas de identificación de impactos ambientales, análisis visual y análisis de los parámetros más significativos, dicho diagnóstico está expuesto dentro del capítulo II del presente trabajo.
- Se caracterizó las aguas Residuales a la entrada y salida de la PTAR de Caraparí, los resultados se muestran en las Tablas I-1 a I-4.
- Se logró identificar los problemas técnico operativos de la PTAR, resultando los más críticos en el tanque de aireación y humedal artificial.
- Se dieron las alternativas de solución a los problemas encontrados en la PTAR, mismas que están descritas en el punto 2.3 del presente trabajo.
- Se hizo el análisis económico llegando a la inversión que demanda el proyecto de optimización la PTAR, exponiendo los datos en el punto 4.1 y 4.2.
- Para el tipo de tecnología que tiene la PTAR su eficiencia de remoción es muy baja, esto se debe a fallas de equipos y falta de mantenimiento y limpieza de las unidades de tratamiento.
- En la unidad de aireación la implementación de un compresor de aire, hará que se gaste menos energía eléctrica y trabajará cumpliendo con el proceso de aireación eficientemente.
- Optimizando las unidades de tratamiento de la PTAR, se podrá tener un caudal del líquido elemental en muy buenas condiciones fisicoquímicas y microbiológicas para darle los usos oportunos sin complicaciones.
- La conclusión final a que se llega con el presente trabajo es que las fallas provocadas en la PTAR son por la mala operación de la misma, la falta de personal capacitado y las malas instalaciones del sistema de aguas pluviales que en gran porcentaje llegar a la PTAR colapsando la misma.

5.2 RECOMENDACIONES

- Con el presente trabajo se planteó propuestas para mejorar la eficiencia de la PTAR, se recomienda tomarlas en cuenta para realizar un trabajo óptimo y cumplir con las normativas medioambientales de nuestro país.
- Elaborar un manual de operación detallado para la PTAR de Caraparí.
- La correcta operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento es fundamental en el desempeño de la unidad de tratamiento con las expectativas para la cual fue diseñada, por ello se recomienda que el operador o los operadores trabajen con un manual de operación y mantenimiento de PTARs.
- Por la seguridad del personal se recomienda trabajar con los equipos de protección personal, mínimamente con botas, guantes y barbijo.
- Para realizar la eliminación de lodos y mantenimiento del Reactor UASB no se debe ingresar al reactor por los gases peligrosos para la salud que existen dentro del mismo, se recomienda realizar controles con objetos largos y eliminar lodos usando una bomba y ropa de seguridad adecuada.
- Realizar campañas para que la gente cambie los malos hábitos de botar residuos inorgánicos, restos de alimentos, residuos industriales y otros al sistema de alcantarillado.
- Realizar campañas para concientizar y enseñar a la gente sobre el uso adecuado de detergentes, cantidades y tipos de los mismos.
- Se recomienda mayor atención al tratamiento de aguas residuales, este es un tema de gran impacto en la actualidad, vivimos en una época donde ya se siente la escasez del agua y es necesario cuidar y reutilizar este líquido elemental.
- Finalmente se recomienda poner atención al tratamiento de lodos de la PTAR de Caraparí, buscar alternativas eficientes, ya que estos pueden ser fuentes de gran contaminación para el medio ambiente.