

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.- INTRODUCCIÓN.

En la actualidad la mala utilización de los recursos naturales es uno de los mayores problemas que enfrenta nuestro planeta. El elemento más importante para la subsistencia de la vida es el agua. Sin embargo con el crecimiento poblacional y la demanda diaria de este recurso, su contaminación se ha incrementado de forma acelerada y la calidad de vida ha disminuido a tal límite, que cada vez para mas personas se vuelve difícil el acceso a este recurso en cantidades y en buenas condiciones para el consumo humano.

Entre las alternativas que hoy se aplican para solucionar este problema, es el tratamiento de aguas residuales, a grandes y pequeños niveles.

El desarrollo de comunidades, en Latinoamérica, está afectando la contaminación de las fuentes de agua natural, que es causada por el vertido de aguas residuales domesticas e industriales. Según Sánchez (2001), el tratamiento de estas aguas se constituye en un reto, constituyéndose en un problema sanitario a que alrededor del 80% de las aguas residuales son dispuestas sin tratamiento en el ambiente o son usadas para fines agrícolas, constituyéndose en un problema sanitario de envergadura. El agua es un recurso valioso desde el punto de vista económico y ecológico.

Este trabajo surge de la necesidad de buscar estrategias de solución del recurso agua, considerando que la comunidad de San Andrés cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales Bio-Rap la misma vierte sus efluentes a un canal de tierra que conduce sus aguas al rio Molina que desemboca en el embalse de San Jacinto.

Por tanto contaminando las tierras y las aguas de la mencionada población, esto amerita buscar nuevas alternativas para mejorar esta planta que vaya en beneficio de los habitantes.

1.2.- ANTECEDENTES

En Bolivia, en los últimos años, el tema del tratamiento de aguas residuales esta priorizado por el gobierno plurinacional a través del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, ya que constituye una contribución esencial para la protección del medio ambiente acuático y sus usos reales o potenciales aguas abajo.

Medidas como por ejemplo, evitar la contaminación de fuentes de agua potable o utilizar aguas tratadas en la agricultura con fines de riego, aumentan considerablemente la sostenibilidad del uso del agua.

Por otra parte, el tratamiento de aguas residuales contribuye a la eliminación de posibles focos de contaminación que afectan la salud de las personas, sobre todo de los grupos sociales más vulnerables.

Por estas razones de acuerdo a la resolución Administrativa de adjudicación N°038/2006 del 20 de Diciembre de 2006, en fecha 01 de febrero de 2007, se firmo el contrato de obra entre el Gobierno Municipal de la ciudad de Tarija y la Provincia Cercado, con la asociación accidental SOLIZ y ASOCIADOS, representadas respectivamente por el Lic. Oscar Montes Barzón y el Ing. Oscar M. Soliz, para la ejecución del proyecto “Construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en la comunidad de San Andrés del municipio de Tarija”.

1.3 .- EL PROBLEMA.

Actualmente la comunidad de San Andrés cuenta con una planta de aguas residuales Bio - Rap en su primera fase como se muestra en la Fotografía 1 de los anexos, donde el agua cruda que ingresa al mismo, sale como agua tratada a nivel primario y secundario a una laguna de estabilización para su posterior vertido a un canal que conduce las aguas hasta el Rio Molina.

El problema identificado en la planta de tratamiento de aguas residuales es el abandono, en otros casos es la deficiencia de los procesos de tratamiento. Casi siempre, por el nulo o poco control que se tiene por parte de los entes administradores, se generan bajas eficiencias y como consecuencia se obtienen resultados negativos en el medio ambiente.

Las descargas de aguas residuales crudas provenientes de los alcantarillados sanitarios a cuerpos de agua como ríos, lagos, y quebradas, alteran la salud, la flora y la fauna de las zonas de influencia; además, contaminan las aguas superficiales y subterráneas. Es evidente que cada día hay una fuerte degradación de ríos y lagos que se han transformado de lugares con ecosistemas vibrantes a lugares con olores desagradables y con un ambiente no recomendable para la vida humana. Por esto, las plantas de tratamiento son esenciales para no seguir contaminando los recursos hídricos, suelo, fauna, flora, etc., y si son deficientes o están abandonadas tampoco están cumpliendo su misión. Además, estas obras representan un medio beneficioso para la salud de la población, ya que las comunidades que viven en lugares insalubres gastan cinco veces más en servicios médicos y su rendimiento en términos de productividad es afectado sensiblemente o disminuido.

Después de haber visitado el sistema de tratamiento de San Andrés, observamos las deficiencias presentadas en la estructura, al haber sido puesta en funcionamiento antes de ser concluida en su totalidad, y nos preguntamos si el agua del efluente, cumple o no con las características establecidas por la Ley de Medio Ambiente 1333, y en qué medida afecta el haber omitido algunos componentes del sistema, durante el proceso de ejecución que se detallaran en los siguientes capítulos.

1.4.- JUSTIFICACION.

En virtud de los elevados costos de operación y funcionamiento intrínsecos de los tratamientos, la implementación es un problema significativo en los países en vías de desarrollo. A partir de ello surge la necesidad de la adaptación de tecnologías de tratamientos capaces de remover los principales contaminantes de las aguas residuales, con bajos costos de construcción, económicamente factibles y auto sostenibles.

En la actualidad el Depto. de Tarija y el resto del país, atraviesa un serio problema con el manejo de estas aguas puesto que no se cuenta con políticas claras para poder evitar focos de infección, daños irreversibles al medio ambiente, pérdida de diferentes ecosistemas y una diversidad de problemas que se van desencadenando a raíz de sistemas de tratamiento inadecuados, mala administración, deficiente operación y mantenimiento, etc. También por la falta de conciencia de la población en general que engloba a las autoridades competentes y a todos los demás habitantes, por esta razón se vio la necesidad de hacer un estudio físico químico al efluente de la planta de tratamiento de la comunidad de San Andrés, para verificar si cumplen parámetros de vuelco según la Ley 1333; dicho estudio dará una pauta para poder dar las mejoras adecuadas al sistema para evitar la contaminación del río Molina y se generara información acerca del funcionamiento de este tipo de plantas que están diseñadas para poblaciones reducidas, evaluando sus funciones.

1.5.- OBJETIVOS.

1.5.1.- OBJETIVO GENERAL.

Evaluar el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la comunidad de San Andrés, a través de ensayos de laboratorio del afluente y efluente; e identificar las eficiencias y deficiencias del tratamiento, para poder plantear soluciones.

1.5.2.- OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Generar información de la situación actual, de la planta de tratamiento de San Andrés.
- Determinar las características físico-químicas del efluente.
- Realizar un estudio, sobre el funcionamiento del sistema Bio – Rap de flujo ascendente a pistón en el tratamiento de aguas residuales.
- Estudiar la ley 1333, según los requerimientos.
- Plantear alternativas de mejora, para aumentar las eficiencias en el sistema de tratamiento de la Comunidad de San Andrés.

1.5.3.- ALCANCE GLOBAL DEL PROYECTO

El presente estudio comprende: toma de muestras para los exámenes físico químico y bacteriológico, análisis de resultados; evaluar la calidad del efluente producido por la planta de tratamiento de aguas residuales, y principalmente una comparación con la Ley de Medio Ambiente regida en nuestro país la Ley 1333.

También se identifica las causas por las cuales el sistema de tratamiento no cumple con sus objetivos y se plantean soluciones de mejora, que se puedan implementar para garantizar el buen funcionamiento.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES

2.1.- INTRODUCCIÓN.

El diseño sanitario de sistemas para la recolección, transporte y tratamiento de las aguas negras, hoy en día es un trabajo de suma importancia para el Ingeniero Civil, puesto que en el área urbana y rural , existen problemas de saneamiento, debido a la falta de sistemas adecuados para la evacuación y tratamiento de las mismas; para esto se hace necesario conocer los parámetros y criterios, que rigen la implementación de alcantarillados sanitarios y su respectivos tratamientos de acuerdo al tipo de efluente que se desee obtener, para después ser enviado a un curso natural o reutilizado en riego, considerando Normas Ambientales.

El recojo y el transporte del agua residual desde los diversos puntos en que se origina constituye el primer paso de la gestión efectiva del saneamiento de una población. Los conductos que recogen y transportan el agua residual se denominan alcantarillas y el conjunto de las mismas constituyen la Red de alcantarillado que posteriormente conducirá el agua residual a una planta de tratamiento con la finalidad de depurarla y conducirla generalmente a un curso de agua.

2.2.- LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

Ubicación geográfica.

La comunidad de San Andrés se encuentra ubicada al sudeste de la Provincia Cercado del Departamento de Tarija referenciado por las siguientes coordenadas geográficas, 64°49' de Longitud Oeste y 21°37' de Latitud Sur y una altura promedio de 1960 m.s.n.m. la misma se encuentra a 16 Km de la ciudad de Tarija Capital del Departamento.

Figura 2.1
Ubicación del Lugar



2.3.- ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y CLIMATOLÓGICOS

Topografía.

El área donde se encuentra la planta presenta topografía plana, las viviendas de la comunidad se encuentran concentradas en la zona baja bastante regular, con pequeñas pendientes del orden del 2%. La altura promedio es de 1950 m.s.n.m.

Clima.

En la zona predomina un clima templado semiárido, con una precipitación media anual de 850 mm, los extremos varían de 474 a 1112mm ; el 90% de las lluvias se registran en los meses de octubre a marzo; los meses restantes son prácticamente secos con eventuales chubascos de baja intensidad. La velocidad media anual del viento es del orden de 4.8 Km/h con dirección sur este.

Temperatura.

La temperatura media anual de la región, se encuentra alrededor de los 19.0°C, siendo los meses más fríos de junio a agosto y los más cálidos de noviembre a marzo; la máxima extrema está en el orden de 39°C y la mínima extrema de -8°C. La temperatura mínima media del mes más frío es de 3.2 °C. Fuente de información SENAMHI.

Recursos hídricos.

La principal fuente de agua lo constituye el río San Andrés, el mismo que nace en la cordillera de Taxara a 3300 m.s.n.m, corre en dirección Nor-Este hasta la Comunidad de San Andrés, a partir de la cual recibe el nombre de río El Molino, el mismo tiene caudal permanente durante todo el año. Existen además pequeños arroyos y vertientes con caudal toda la época del año, siendo las más importantes por su caudal y ubicación para el abastecimiento de agua, las ubicadas en la margen izquierda de la quebrada Chorro.

2.4.- POBLACIÓN.

Población Actual.

De acuerdo al último censo realizado el año 2001, la comunidad de San Andrés contaba con una población de:

Cuadro 2.1
Población CENSO 2001

CENSO 2001				
Comunidad.	N° de Habitantes	Hombres	Mujeres	N° de Viviendas
San Andrés.	1204	597	607	329

Fuente: INE

Según el censo realizado por los maestros de la unidad educativa de la comunidad en el año 2010, la población registrada fue:

Cuadro 2.2
Población 2010

ZONA	Población		
	Mujeres	Varones	Total
Molino Abajo	189	194	383
Molino Arriba.	89	93	182
Guadalquivir	105	122	227
Centro.	149	148	297
Huertas Abajo.	109	107	216
Huertas Arriba.	132	132	264
Total.	773	796	1569

Fuente: Censo realizado por los docentes de la escuela de comunidad.

Población beneficiaria

La población beneficiada directamente con el alcantarillado sanitario es la que se encuentra en la zona denominada Centro, Guadalquivir, Molino arriba, Huertas arriba, donde la población se encuentra más concentrada y representa aproximadamente el 77 % de la comunidad, con un total de 203 familias. Fuente Vicepresidenta del Comité de Alcantarillado Sanitario de la comunidad.

Características sociales de los beneficiarios.

Los pobladores de la comunidad de San Andrés, al igual que la del resto de las comunidades que se encuentran en el valle central de Tarija, tienen como principal actividad la agricultura y la ganadería en menor escala. En general, con la participación de toda la familia, no existiendo un rol exclusivo para cada uno de sus componentes, la única

actividad exclusiva es la desarrollada por la mujer campesina, relacionada a los trabajos propios del ámbito doméstico.

El horario de trabajo en la población para las labores de campo se inicia a las seis de la mañana y concluye a las 4 de la tarde, este horario de trabajo está sujeto al tiempo y a las variaciones del clima. La mayor parte de la población profesa la religión católica, existiendo también grupos religiosos evangélicos.

Actividades productivas.

Como se ha indicado anteriormente la principal actividad de la comunidad de San Andrés es la agricultura y en menor grado la ganadería, esta producción es básicamente para su auto consumo y el excedente es comercializado en la ciudad de Tarija.

El 90% de las familias campesinas se dedican a la agricultura y ganadería, cultivando maíz, papa, arveja y la cría de ganado vacuno, ovino, porcino, etc.

El cálculo del ingreso familiar depende de muchos factores, a su vez estos dependen de la disponibilidad y confiabilidad de la información proporcionada, de acuerdo a la visita realizada a la comunidad, se puede estimar que el ingreso familiar promedio anual no sufre grandes variaciones y fluctúa entre los 2000 y 3600 bolivianos, lo que demuestra el escaso flujo económico, reflejándose todo esto en un estancamiento socioeconómico de la población.

2.4.1.- ORGANIZACIONES SOCIALES.

Sindicato Campesino.

La población misma, en concordancia con las normas legales vigentes, han creado núcleos organizacionales propios de la zona que tienen respaldo y plena vigencia.

En la comunidad, es el Sindicato Agrario Campesino el que asume los roles sobresalientes en la administración, representación, organización, control y es el instrumento de las

reivindicaciones comunales; el Corregidor, dependiente de la gobernación, personifica la estructura de gobierno, la Junta de Auxilio Escolar atiende los asuntos escolares; el Juez de aguas, organiza los turnos de riego; los Centros o Clubes de Madres son otras organizaciones activas en las comunidades, así como los Clubes Deportivos entre los jóvenes.

Estas organizaciones agrupan a las comunidades de Guerra Huayco, San Andrés y otras comunidades próximas.

Comité de Agua potable.

El Comité de agua potable es responsable de la administración, operación y mantenimiento del sistema de agua existente en la comunidad de San Andrés y tiene 9 años de Servicio.

Comité de Alcantarillado sanitario.

Actualmente se encuentra organizándose, para desempeñar sus funciones en la operación y mantenimiento de la planta de aguas residuales, mientras se procede al cierre perimetral en contraparte con la alcaldía municipal de Cercado, para posteriormente realizar las conexiones a la red principal de todos los usuarios.

2.5.- SERVICIOS Y MEDIOS DE COMUNICACIÓN.

Educación

San Andrés cuenta con una infraestructura para nivel inicial y primario y otra solo del nivel secundario con un promedio de 420 alumnos y 40 personas, entre docentes y personal administrativo.

Establecimientos de salud.

La comunidad de San Andrés cuenta con un Centro médico, que sirve a las comunidades que están muy próximas, como son las de Sola, Pinos, etc.

Personal disponible: un médico general, un odontólogo, y 2 enfermeras. En caso de requerirse especialistas los pobladores recurren al Hospital Regional San Juan de Dios de la ciudad de Tarija, de acuerdo al informe proporcionado por personal, las enfermedades más comunes son:

- Enfermedades de las vías respiratorias
- Enfermedades de infección intestinal.
- Enfermedades del aparato digestivo

Servicio de agua potable.

En la actualidad se cuenta con este servicio casi en el 100% de la población, con una tarifa mínima de 6 Bs. por mes, administrada por la misma comunidad a través del comité de agua potable que es la encargada de la operación y mantenimiento de la obra de toma y demás componentes. (Sistema de agua potable)

Servicio de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento.

La comunidad ya cuenta con la red principal de alcantarillado sanitario, pero sin la conexión domiciliar que se pretende realizarla en los siguientes meses puesto que ya se tiene una planta de tratamiento, para las aguas generadas en la zona. Mientras tanto cada una de las viviendas cuenta con una letrina o pozo ciego para la disposición de excretas o en otros casos a campo abierto, con la consiguiente contaminación del medio ambiente y riesgos para la salud de los pobladores.

Servicio de energía eléctrica.

La comunidad cuenta con energía eléctrica proporcionada por SETAR (Servicio de Energía Eléctrica Tarija), la cual se encarga de su comercialización y distribución se estima que el 85% de la población cuenta con este servicio, que es utilizado básicamente, para el consumo doméstico, comercio e instituciones públicas.

El servicio es durante las 24 horas del día con una tarifa promedio de 25 a 30 Bs. /mes cuando se trata de uso domestico, y de 120 a 150 Bs. cuando se trata de comercio (carnicerías, tiendas)

Red de acceso vial.

La población más importante cercana a la comunidad de San Andrés, es la ciudad de Tarija distante 16 Km, le sigue en importancia la comunidad de Tolomosa Grande, que se encuentra a 6Km.

La infraestructura vial está representada principalmente, por el camino pavimentado que une la comunidad de San Andrés con la capital de la provincia Cercado, Tarija; dicho tramo pasa por dos puentes uno sobre el rio Molina y otro sobre el de Guerrahuayco, sin mayores complicaciones.

El flujo de transporte público y de carga es pequeño, la frecuencia del servicio de transporte de pasajeros desde la comunidad hacia la ciudad de Tarija es diaria, con una tarifa que fluctúa entre 3 a 4 Bs. por persona.

El transporte de carga desde la comunidad hacia Tarija, está constituido principalmente por productos agrícolas que se producen en la zona; la tarifa es variable de acuerdo a la oferta y la demanda.

2.6.- CONDICIONES ACTUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Situación actual de la planta de Tratamiento de aguas residuales.

La planta de tratamiento está en funcionamiento aproximadamente 1 año y medio, después de haber superado todos los obstáculos presentados en su etapa constructiva tanto por el saneamiento de tierras, como de pobladores de Tolomosa ubicado río abajo, que se oponía a la realización del proyecto, por el temor a la contaminación del rio Molina que se une al rio Tolomosa y por consiguiente, los demás efectos.

Pero actualmente está en funcionamiento como se muestra en la Fotografía 2 (ver anexos) recibiendo las aguas de la Posta Sanitaria, de la escuela y el colegio, además de alrededor de 10 familias que descargan sus aguas fluviales al alcantarillado de manera clandestina y hace meses atrás solo contaba con los postes de cerramiento, recientemente están ejecutando el enmallado, la alcaldía en contraparte con la comunidad, para después conectar el servicio a todas las viviendas que son alrededor de 283 familias, las beneficiadas con el sistema.

Características del agua generada en la zona.

El agua que llega a la planta de tratamiento a simple vista es como cualquier otra, debido a que en la zona no se presentan descarga de aguas industriales tratándose netamente de aguas residuales domésticas.

CAPITULO III

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

3.1.- INTRODUCCION.

Toda comunidad genera residuos tanto sólidos como líquidos. La parte líquida de los mismos a lo que llamamos aguas residuales es esencialmente el agua del que se desprende la comunidad una vez que ha sido contaminada durante los diferentes usos para los cuales ha sido empleada. Entonces podemos definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos, que provienen de residencias, instituciones públicas y de establecimientos industriales. Si nosotros permitimos la acumulación y estancamiento de las aguas residuales, la descomposición de la materia orgánica que contiene puede conducir a la generación de grandes cantidades de gases malolientes. Además de esto podemos añadir la frecuente presencia en el agua cruda, de numerosos microorganismos patógenos y causantes de enfermedades que habitan en el aparato intestinal humano que pueden estar presentes en ciertos residuos industriales. Otro problema es que estas aguas, suelen contener nutrientes que pueden estimular el crecimiento de plantas acuáticas y también incluir compuestos tóxicos. Por todo esto se necesita la evacuación inmediata y sin molestias del agua residual de sus fuentes de generación, seguida de su tratamiento y eliminación.

Las aguas residuales tratadas, son conducidas en última instancia a cuerpos receptores de agua, razón por la cual se deben considerar los contaminantes presentes en el agua residual y a qué nivel deben ser eliminados de cara a la protección del entorno.

En este capítulo se describirán las características físico-químicas y biológicas del agua residual, y los diferentes procesos de tratamiento.

3.2.- TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

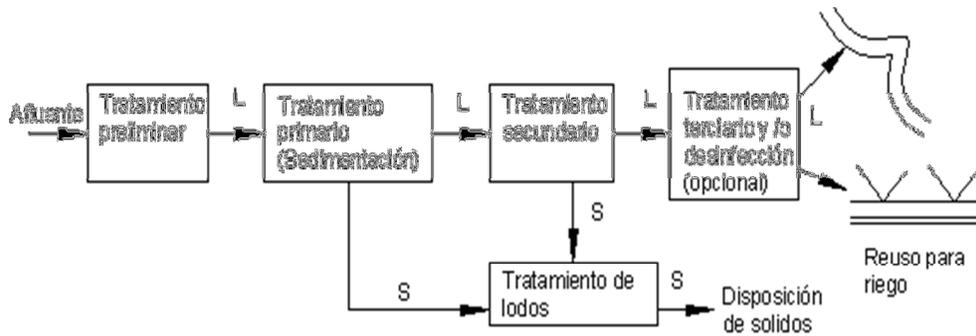
El objetivo de un tratamiento de aguas residuales es el de proteger la calidad de las aguas receptoras de esta agua y esto se logra (entre otros) con plantas depuradoras diseñadas para:

- ✓ Reducir la DBO5.
- ✓ Reducir la STS.
- ✓ Reducir N y P.
- ✓ Reducir coliformes fecales.

En relación con la calidad del efluente existen otros objetivos que dependen del tipo de medio acuático a donde sean vertidos.

La clasificación de los tratamientos se resume en el Cuadro 3.1. El nivel de tratamiento recomendable dependerá del uso final de las aguas tratadas y también se relacionara con el factor económico.

Figura 3.1 Componentes Básicos de Tratamiento de Aguas Residuales



S= Porción sólida.

L= Porción líquida.

Cuadro 3.1 Unidades de tratamiento de aguas residuales

CLASIFICACION	UNIDAD DE TRATAMIENTO	DESCRIPCION
Tratamiento preliminar o pre-tratamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Rejas • Desarenador 	Es el conjunto de unidades que tiene como finalidad de eliminar materiales gruesos, que podrían perjudicar el sistema de conducción de la planta.
Tratamiento primario	<ul style="list-style-type: none"> • Tanques de sedimentación. 	La finalidad es de remover sólidos suspendidos removibles por medio de sedimentación, filtración, flotación y precipitación.
Tratamiento secundario	<ul style="list-style-type: none"> • Reactor UASB¹ • Lagunas de estabilización² • Lodo activado convencional • Filtro percolador • Humedales • Filtro anaerobio • Zanja de oxidación • Biodisco 	La finalidad es de remover material orgánico y en suspensión. Se utiliza procesos biológicos, aprovechando la acción de microorganismos, que en su proceso de alimentación degradan la materia orgánica. La presencia o ausencia de oxígeno disuelto en el agua residual, define dos grandes grupos o procesos de actividad biológica, los aerobios (en presencia de oxígeno) y los anaerobios (en ausencia de oxígeno).
Tratamiento terciario	<ul style="list-style-type: none"> • Microcribado • Coagulación-floculación • Filtros rápidos • Adsorción Oxidación química • Electrodialisis • Intercambio iónico • Precipitación química • Nitrificación-desnitrificación • Precipitación con cal • etc. 	Es el grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad físico-química biológica alta para cuerpos de agua receptores sensitivos o ciertos tipos de reuso. Normalmente se trata de remover nutrientes (nitrógeno y fosforo) del agua, porque estos estimulan el crecimiento de las plantas acuáticas.

Desinfección	<ul style="list-style-type: none"> • Físicos: Filtración, ebullición, rayos ultravioleta. • Químicos: Aplicación de cloro, bromo, yodo, ozono, etc. 	Es el tratamiento adicional para remover patógenos.
Tratamiento de lodos	<ul style="list-style-type: none"> • Digestión anaerobia • Tratamiento con cal • Compostaje • Patio de secar 	Es el tratamiento de la porción “sólida” (actualmente, mas de 80 % agua) removido del agua contaminada. La finalidad del proceso es de secarlo y tratarlo como una combinación de tiempo y temperatura para matar los patógenos.

Reactor UASB también puede ser utilizado para realizar tratamiento primario

²Las lagunas de estabilización también pueden realizar tratamiento primario

Fuente: Tesis de la U. San Simón “Texto Guía de PTAR”

3.3.- CARACTERISTICAS INDESEABLES DE LAS AGUAS RESIDUALES

Los compuestos, sustancias o materiales que reciben las aguas al ser usadas en las ciudades, el campo o la industria le imparten características específicas que es necesario describir brevemente:

- Materia orgánica de ciudades e industrias que demandan oxígeno disuelto del agua para su oxidación. El vertimiento de materia orgánica a cursos de agua rebaja las concentraciones de oxígeno disuelto y afecta, adversamente, la biota natural hasta hacer desaparecer especies sensibles, como los peces que requieren niveles altos de oxígeno disuelto, 5 o más mg/l.
- Materia en suspensión, de ciudades, industrias, cría de animales, etc., que se deposita en el fondo de ríos, lagos y mares, modificando los nichos naturales.
- Metales pesados y compuestos tóxicos de la industria y la agricultura que en concentraciones pequeñas, afectan adversamente a la vida acuática y a los usuarios del agua. Rebajan el valor comercial de la pesca y en ocasiones imposibilitan su

consumo por razones de salud pública. Ejemplo: mercurio, cadmio, níquel, cromo, cobre y zinc.

- d) Color y turbiedad, originados de diversos usos, crean problemas estéticos y hacen al agua inadecuada para su uso domestico e industrial. Disminuye la penetración de la luz y modifica la zona eufótica en lagos.
- e) Nitrógeno y fósforo de aguas residuales domesticas principalmente, fertilizan las aguas, pueden dar origen a crecimientos masivos de algas principalmente, los cuales trastornan el equilibrio ecológico y crean condiciones desagradables en lugares de recreación.
- f) Aceite y materia flotante de ciudades e industrias, generan condiciones desagradables a la vista, restringen la transferencia de oxigeno del aire al agua y afectan la biota.

El conocimiento de las características de las aguas residuales permite analizar las diferentes concentraciones y los efectos probables de los componentes sobre las aguas receptoras de aguas residuales, seleccionar el o los procesos de tratamiento que removerán los componentes objetables en cantidades tales que minimicen el impacto desfavorable sobre los cuerpos receptores de desechos líquidos.

3.4.- CARACTERISTICAS FISICAS, QUIMICAS Y BIOLOGICAS DEL AGUA RESIDUAL

3.4.1.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.

Olores

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el agua residual séptica.

La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales

Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua del suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. En función de la situación geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía entre 10 y 21 °C, pudiéndose tomar 15.6 °C como valor representativo.

La temperatura es un parámetro importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles

Color

Históricamente, para la descripción de un agua residual, se empleaba el término condición junto con la composición y la concentración. Este término se refiere a la edad del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y su olor. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica.

Turbiedad

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones.

3.4.2.- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Las características químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido de materia orgánica e inorgánica, y los gases presentes en el agua residual. La medición del contenido de materia orgánica se realiza por separado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

Materia orgánica

Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con las síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrogeno y oxígeno, con la presencia en determinados casos de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como el azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas, hidratos de carbono, grasas y aceites. Otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la orina. No obstante, debido a la velocidad del proceso de descomposición de la urea, raramente está presente en aguas residuales que no sean muy recientes.

Medición del contenido orgánico

Se han ido desarrollando diferentes ensayos para la determinación del contenido orgánico de las aguas residuales. Los diferentes métodos pueden clasificarse en dos grupos, los empleados para determinar altas concentraciones de contenido orgánico, mayores de 1mg/l, en el intervalo de los 0.001 mg/l a 1 mg/l.

El primer grupo incluye los siguientes ensayos de laboratorio: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total (COT) y demanda teórica de oxígeno (DTeO). En el segundo grupo de ensayos, los empleados para determinar concentraciones a nivel de traza, por debajo de 1 mg/l, se emplean métodos instrumentales que incluyen la cromatografía de gases y la espectroscopia de masa.

Materia inorgánica

Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tienen importancia para la determinación y control de la calidad del agua

Las concentraciones de constituyentes inorgánicos aumentan, igualmente, debido al proceso natural de evaporación que elimina parte del agua superficial y deja las sustancias inorgánicas en el agua. Puesto que las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua, conviene examinar la naturaleza de algunos de ellos, especialmente aquellos que han sido incorporados al agua superficial durante su ciclo de uso.

Gases presentes en el agua residual

Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno, el oxígeno, el dióxido de carbono, el sulfuro de hidrógeno, el amoníaco y el metano. Los tres primeros son gases de común presencia en la atmósfera, y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Si bien no se

encuentran en el agua residual sin tratar, existen otros gases como por ejemplo del cloro y el ozono (desinfección y control de olores), y los óxidos de azufre y nitrógeno (procesos de combustión).

3.4.3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

Se debe estar familiarizado con los siguientes temas:

- 1) Principales grupos de microorganismos biológicos presentes, tanto en aguas superficiales como residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos
- 2) Organismos patógenos presentes en las aguas residuales
- 3) Organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia
- 4) Métodos empleados para determinar los organismos indicadores
- 5) Métodos empleados para determinar la toxicidad de las aguas tratadas.

Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias como se muestra en el cuadro 3.2, la mayoría de los organismos pertenecen al grupo de eubacterias. La categoría protista, dentro de los organismos eucariotas, incluye las algas, los hongos y los protozoos. Las plantas tales como los helechos, los musgos, las plantas hepáticas y las plantas de semilla están clasificadas como eucariotas multicelulares. Los vertebrados y los invertebrados están clasificados como animales eucariotas multicelulares. Los virus, también presentes en el agua residual, se clasifican en función del sujeto infectado.

Cuadro 3.2 Clasificación de los Microorganismos

Grupo	Estructura celular	Caracterización	Miembros representativos
Eucariotas	Eucariota	Multicelular, con gran diferenciación de las células y el tejido.	Plantas (plantas de semillas, musgos, helechos) Animales(vertebrados e invertebrados)

		Unicelular o coenocítica o micelial; con escasa o nula diferenciación de tejidos.	Protistas (algas, hongos y protozoos).
Eubacterias	Procariota	Química celular parecida a las eucariotas.	La mayoría de las bacterias.
Arqueobacterias	Procariota	Química celular distintiva	Metanógenos, halófilos, termófilos.

Fuente: Tesis de la U. San Simón “Texto Guía de PTAR”

3.5.- ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

3.5.1.- TRATAMIENTO PRELIMINAR

Los tratamientos preliminares son destinados a preparar las aguas residuales para que puedan recibir un tratamiento subsiguiente sin perjudicar a los equipos mecánicos y sin obstruir tuberías y causar depósitos permanentes en tanques; sirven también para minimizar algunos efectos negativos al tratamiento, tales como grandes variaciones de caudal y de composición y la presencia de materiales flotantes, como aceites, grasas y otros.

En el caso de aguas residuales municipales, el equipo que se utiliza principalmente está conformada por rejillas y un triturador para el material separado. En el caso de aguas residuales industriales, se emplean además diferentes filtros y tamices. Las unidades de tratamiento preliminar más importantes son:

- Rejas
- Desarenadores

3.5.1.1.- REJAS

Son dispositivos constituidos por barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas las cuales se ubican transversalmente al flujo, y se colocan antes del desarenador, sin alterar el flujo normal. Las barras pueden ser rectas o curvadas. Su finalidad es retener sólidos gruesos, de dimensiones relativamente grandes, que estén en suspensión o flotantes. Las rejas por lo general son la primera unidad de una planta de tratamiento.

Los materiales retenidos son principalmente papel, estopa de talleres, trapos, productos de higiene femenina, cáscaras de frutas, restos de vegetales, pedazos de madera, tapones de botella, latas, materiales plásticos, cepillos y otros objetos que puedan pasar por los inodoros o por las aberturas de pozos o buzones de inspección de la red de alcantarillado. Las rejas son empleadas para proteger contra obstrucciones las válvulas, bombas, equipos de aireación, tuberías y otras partes de la planta, también contribuyen a dar una mejor apariencia a la planta y reducen el volumen de flotantes (espuma).

3.5.1.2.- DESARENADOR

Son canales o cámaras que se construyen con el objetivo de remover materia inerte, mineral, como la arena, para prevenir desgaste en los equipos y acumulación indeseada de materia inerte pesada en sifones invertidos, tanques de sedimentación y digestores.

La mayoría de los desarenadores se construyen en forma de canales alargados y de poca profundidad, que retengan partículas con un peso específico de 2,65 y diámetro de 2-10-3 cm, para lograr esto, a pesar de la fluctuación del flujo, se hace necesario mantener prácticamente constante la velocidad.

3.5.2.- TRATAMIENTO PRIMARIO.

3.5.2.1.- TANQUE IMHOFF

Es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos, obteniéndose excelentes resultados. Para comunidades de 5000 habitantes o menos, los tanques Imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad, por este motivo también se les denomina tanques de doble cámara.

Los Tanques Imhoff tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas; sin embargo para su uso correcto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y remoción de arena. Son convenientes especialmente en climas calurosos pues esto facilita la digestión de lodos, en la selección de

esta unidad de tratamiento se debe considerar que los tanques Imhoff pueden producir olores desagradables. El tanque Imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimentos:

1. Cámara de sedimentación
2. Cámara de digestión de lodos
3. Área para ventilación y acumulación de natas.

Durante la operación, las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, éstos resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando hacia la cámara de digestión a través de una ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, interfieran en el proceso de la sedimentación. Los gases y partículas ascendentes, que inevitablemente se producen en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación. Los lodos acumulados en el digester se extraen periódicamente y se conducen a lechos de secado, en donde el contenido de humedad se reduce por infiltración, después de lo cual se retiran y dispone de ellos enterrándolos o pueden ser utilizados para mejoramiento de suelos. El tanque Imhoff elimina del 40% al 50% de sólidos suspendidos y reduce la DBO de 25 a 35%.

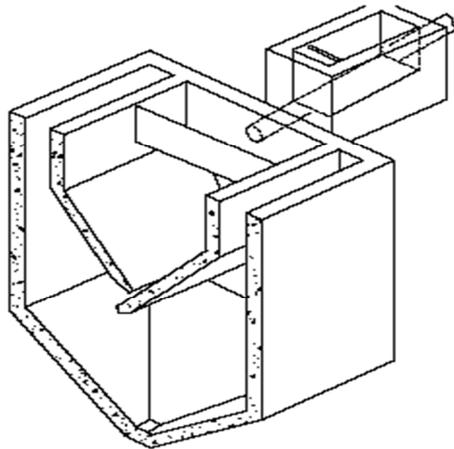


Figura. 3.2 Tanque Imhoff

3.5.3.- TRATAMIENTO SECUNDARIO.

La expresión tratamiento secundario se refiere a todos los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales tanto aerobios como anaerobios

3.5.3.1.- REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE Y MANTO DE LODOS U.A.S.B.

Los fundamentos de los reactores “U.A.S.B.” (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) fueron concebidos durante los años 1970, por el profesor Gatze Lettinga de la Universidad de Wageningen en Holanda. Esta sigla se refiere a los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente “RAFA” en su traducción española, que por su simplicidad se ha difundido en varios países. Su gran ventaja consiste en que no requiere ningún tipo de soporte para retener la biomasa, lo que implica un ahorro importante. Su principio de funcionamiento se basa en la buena sedimentabilidad de la biomasa producida dentro del reactor, la cual se aglomera en forma de granos o flóculos. Estos granos o flóculos cuentan además con una actividad metanogénica muy elevada, lo que explica los buenos resultados del proceso. El perfil de sólidos varía de muy denso con partículas granulares de elevada capacidad de sedimentación próximas al fondo del reactor (lecho de lodo), hasta un lodo más disperso y leve, próximo al tope del reactor (manto de lodo).

La estabilización de la materia orgánica ocurre en todas las zonas de reacción (lecho y manto de lodos), siendo la mezcla del sistema promovida por el flujo ascensional del agua residual y las bolas de gas. El reactor de flujo ascendente cuenta en la parte superior con un sistema de separación gas-líquido-sólido, el cual evita la salida de los sólidos suspendidos en el efluente y favorece la evacuación del gas y la decantación de los flóculos que eventualmente llegan a la parte superior del reactor. Un punto importante en su diseño es la distribución de las entradas del agua residual, ya que una mala repartición puede provocar que ciertas zonas del manto de lodo no sean alimentadas, desperdiciando así su actividad. Esto es particularmente cierto en las aguas residuales municipales, pues la limitada materia

orgánica presente forma sólo pequeñas cantidades de biogás y por tanto la agitación del lecho, provocada por las burbujas, se ve reducida.

El punto débil del proceso consiste en la lentitud del arranque del reactor (generalmente de 6 meses); por otro lado, en desagües diluidos como son las aguas residuales domésticas, las variables críticas de diseño son las hidráulicas (velocidad ascensional, velocidad de paso a través del separador de fases, dispositivos de entrada y salida) y no así la carga orgánica.

Forma y tamaño del reactor U.A.S.B.

Según Van Haandel y Lettinga (1994), para aguas residuales domésticas la carga hidráulica y no así la carga orgánica es el parámetro más importante en la determinación del tamaño y forma del reactor UASB; En cuanto a la forma geométrica del reactor existen dos opciones: Rectangular y Circular. La forma circular tiene la ventaja de una estabilidad estructural mayor, pero la construcción del separador GSL es más complicada que en uno rectangular. En el caso de la forma rectangular la sección cuadrada es la más barata (Van Haandel, 1998).

Partes de un reactor U.A.S.B (Fuente: Lemos Chernicharo, 1997)

Un Reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodos consta de cuatro partes esenciales, de abajo para arriba:

1. El reactor propiamente dicho, donde proliferan los organismos anaerobios que transforman la materia orgánica en biogás y nuevos organismos.
2. Una zona de transición donde el movimiento del agua hacia arriba tiende a arrastrar a los organismos que no están aglutinados en flóculos o esferas y en la que se busca evitar que esas partículas salgan con el efluente tratado.
3. Una zona de separación del gas, sólidos de la fase líquida de forma de garantizar la retención y el retorno de lodo.

4. Colectores de agua tratada y de gas en la parte superior, en este proceso, el agua residual o lodo entran al digestor por el fondo y fluyen hacia arriba a través de una cama de lodos granulares relativamente densa y de un manto de partículas de lodo floculado. Dentro de estas zonas se efectúa la conversión de materia orgánica a metano y dióxido de carbono, principalmente.

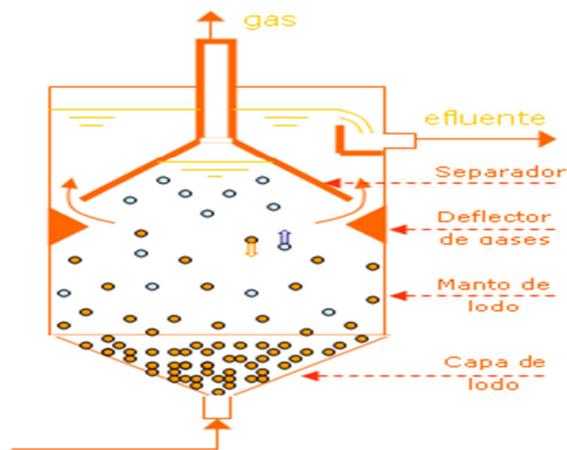


Figura 3.3 Partes del Reactor Anaerobio de flujo ascendente UASB

Funcionamiento del reactor U.A.S.B

La operación de los reactores UASB 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 o barro biológicamente activo en el reactor. Dichos grupos bacterianos establecen entre sí relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica bajo la forma de gránulos cuya densidad les permite sedimentar en el digestor. La biomasa permanece en el reactor sin necesidad de soporte adicional.

3.5.3.2.- LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Historia de las lagunas de estabilización

La utilización de lagunas para estabilizar aguas residuales o desechos orgánicos, ya sea en forma casual o deliberada, es tan antigua como la naturaleza misma. Sin embargo, el empleo

de lagunas de estabilización como un recurso técnico o como un medio aceptado con este propósito, se ha desarrollado en la segunda mitad del siglo XX. Al parecer, la primera instalación de laguna de estabilización construida como resultado de un proyecto concreto para tratar aguas residuales domésticas, estuvo localizada en Dakota del Norte, Estados Unidos en 1948. Este proyecto fue aprobado por las autoridades de salud pública. Desde entonces una gran cantidad de instalaciones fueron construidas en varios países.

Una laguna de estabilización es una estructura simple para embalsar aguas residuales con el objeto de mejorar sus características sanitarias. Las lagunas de estabilización se construyen a profundidades que oscilan entre 2 a 6 m y tienen períodos de retención relativamente grandes, por lo general de varios días. Cuando las aguas residuales se descargan en lagunas de estabilización, ocurre en forma espontánea un proceso conocido como autodepuración o estabilización natural mediante fenómenos de tipo físico, químico, bioquímico y biológico. Este proceso se lleva a cabo en casi todas las aguas estancadas con alto contenido de materia orgánica putrescible o biodegradable.

Los parámetros más utilizados para evaluar el comportamiento de las lagunas de estabilización y sus efluentes son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que caracteriza la carga orgánica; y el número más probable de coliformes fecales (NMP CF/100 ml) que indica la contaminación microbiológica. También tienen importancia los sólidos totales, sedimentables, en suspensión y disueltos.

Las lagunas de estabilización con una gran relación largo-ancho (largo-ancho > 5) reciben el nombre de lagunas alargadas. Estas lagunas son muy eficientes en la remoción de carga orgánica y bacterias patógenas, pero deben estar precedidas por dos o más lagunas primarias que retengan los sólidos sedimentables. Estas últimas, denominadas lagunas primarias evitan suspender la operación de las lagunas alargadas para llevar a cabo la remoción periódica de lodos. Las lagunas que reciben agua residual cruda son lagunas primarias. Las lagunas que reciben el efluente de una primaria se llaman secundarias; sucesivamente, las lagunas de estabilización se pueden llamar terciarias, cuaternarias, quinquenarias, etc. A las lagunas que reciben efluentes de las secundarias, también se les suele llamar lagunas de acabado, maduración o pulimento. Siempre se debe construir por lo menos dos lagunas primarias (en

paralelo) con el fin de que una se mantenga en operación mientras se hace la limpieza de los lodos en la otra.

CLASIFICACIÓN DE LAGUNAS Y MECANISMOS

Existen varias formas de clasificar lagunas, de acuerdo con el contenido de oxígeno, pueden ser:

- Lagunas Anaerobias
- Lagunas Facultativas
- Lagunas de Maduración
- Lagunas Aireadas

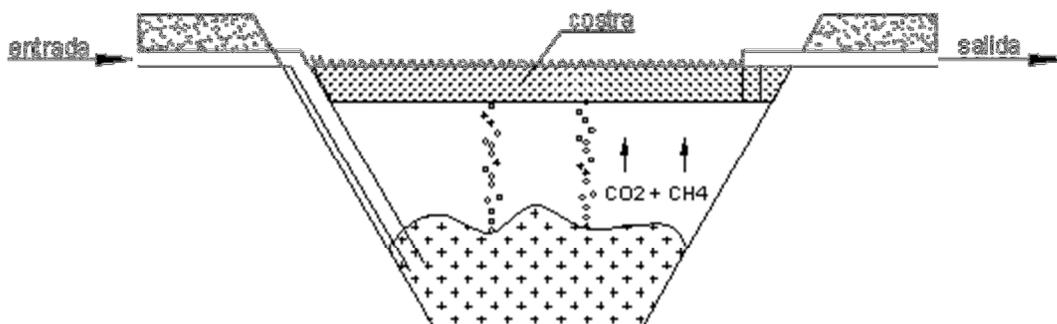
LAGUNAS ANAERÓBIAS

Cuando la carga orgánica es muy grande (>1.000 kg de DBO/ha/día), la DBO excede la producción de oxígeno de las algas (y de la aireación superficial) y la laguna se torna totalmente anaerobia. Estas lagunas anaeróbicas son estanques de mayor profundidad (2.5 a 4 m.) y reciben cargas orgánicas más elevadas de modo que la actividad fotosintética de las algas es suprimida, encontrándose ausencia de oxígeno en todos sus niveles.

En estas condiciones estas lagunas actuaran como un digestor anaeróbico abierto sin mezcla y, debido a las altas cargas orgánicas que soportan, el efluente contiene un alto porcentaje de materia orgánica y requiere de otro proceso de tratamiento. En cuanto al mecanismo de degradación, este es similar al proceso de contacto anaerobio, con dos etapas bien diferenciadas que dependen del desarrollo de dos grupos específicos de bacterias.

Un grupo de bacterias heterótrofas facultativas reducen la materia orgánica, las grasas y las proteínas a ácidos orgánicos, ácidos grasos, aldehídos, alcoholes, amoniaco, etc. Y un segundo grupo compuestas por bacterias productoras de metano transforman los productos intermedios, ácidos orgánicos en metano, dióxido de carbono e hidrogeno.

Figura3.4 Esquema de una laguna anaerobia profunda



LAGUNAS FACULTATIVAS

Las lagunas facultativas son estanques de profundidades más reducidas (1.0 a 1.8 m.) y su contenido de oxígeno varía de acuerdo a la profundidad y hora del día, generalmente cuando la carga orgánica aplicada a las lagunas es baja (<300 kg de DBO/ha/día) y la temperatura ambiente varía entre 15 y 30 °C en el estrato superior de la laguna, suelen desarrollarse poblaciones de algas microscópicas (clorelas, euglenas, etc.) que en presencia de la luz solar, producen grandes cantidades de oxígeno y hacen que haya una alta concentración de oxígeno disuelto que en muchos casos llega a valores de sobresaturación. La parte inferior de estas lagunas suele estar en condiciones anaerobias.

Figura 3.5 Laguna facultativa primaria



LAGUNAS DE MADURACIÓN

Las lagunas de maduración o pulimento son estanques utilizados como procesos de tratamiento terciario, diseñados con el propósito exclusivo de reducir los gérmenes patógenos. Las lagunas de estabilización han demostrado ser uno de los procesos más eficientes en la destrucción de gérmenes patógenos.

La reducción de coliformes a través de una planta secundaria de tratamiento con aplicación de 8 mg/l. de cloro y un tiempo de contacto de 15 minutos todavía puede dejar un contenido de coliformes sobre 1000 por 100 ml. En estos casos, puede ser ventajoso el incluir una laguna de pulimento para el efluente secundario para lograr una reducción más efectiva.

Figura 3.6 Laguna de maduración o pulimento



LAGUNAS AIREADAS

Las lagunas aireadas mecánicamente constituyen una herramienta muy útil en ciertas circunstancias, pues requieren menos área que las facultativas y las anaeróbicas, no producen malos olores y son eficientes en la remoción de DBO. Esto las hace apropiadas donde el lugar destinado al tratamiento es muy céntrico, o donde el valor del terreno es muy alto. A cambio de sus ventajas hay un costo, este consiste en la inversión requerida para comprar el equipo aireador y el gasto mensual de operación y mantenimiento, en el que la partida más importante la constituye el consumo de energía del equipo aireador.

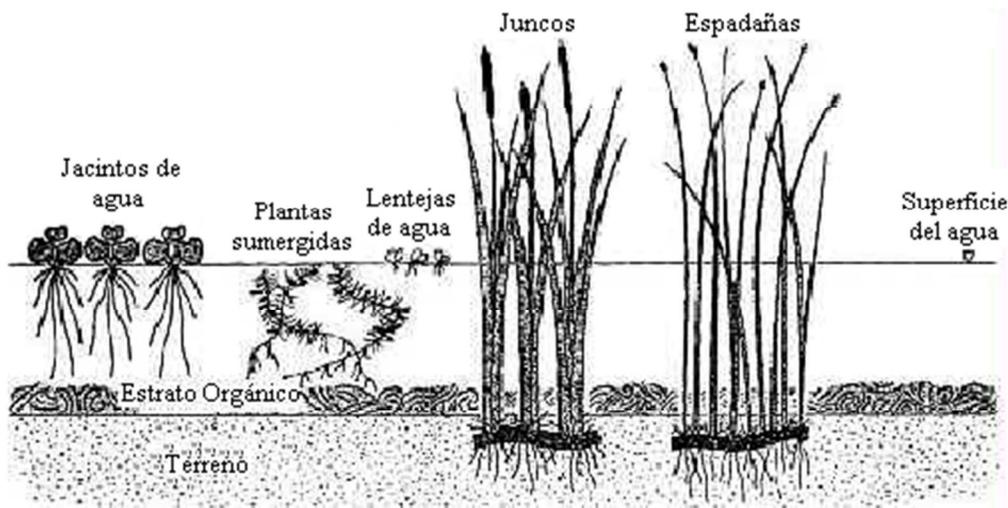
La energía que es necesario pagar en una laguna aireada mecánicamente, es suministrada gratuitamente por el sol en el caso de una laguna facultativa. Esto hace que, donde existan espacio y terreno a bajo costo las lagunas aireadas sean contraindicadas. No obstante,

pueden constituir una gran solución en el caso de desechos industriales que, por su carácter ácido, caustico o tóxico, no sean favorables al uso de las lagunas facultativas.

3.5.3.3.- HUMEDALES

Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. Suelen tener aguas con profundidades inferiores a 60 cm. con plantas emergentes como espadañas, carrizos y juncos (Véase Figura 3.7). La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar. Los sistemas de humedales artificiales pueden ser considerados como reactores biológicos

Figura 3.7 Plantas acuáticas comunes



Los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen tener un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales, estas son:

- Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.

- Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos.
- Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.

Existen dos tipos de sistemas de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de agua residual (Véase Figura 3.8): Sistemas a Flujo Libre (FWS) y Sistemas de Flujo Subsuperficial (SFS). En los casos en que se emplean para proporcionar tratamiento secundario o avanzado, los sistemas FWS suelen consistir en balsas o canales paralelos con la superficie del agua expuesta a la atmósfera y el fondo constituido por suelo relativamente impermeable o con una barrera subsuperficial, vegetación emergente, y niveles de agua poco profundos (0.1 a 0.6 m).

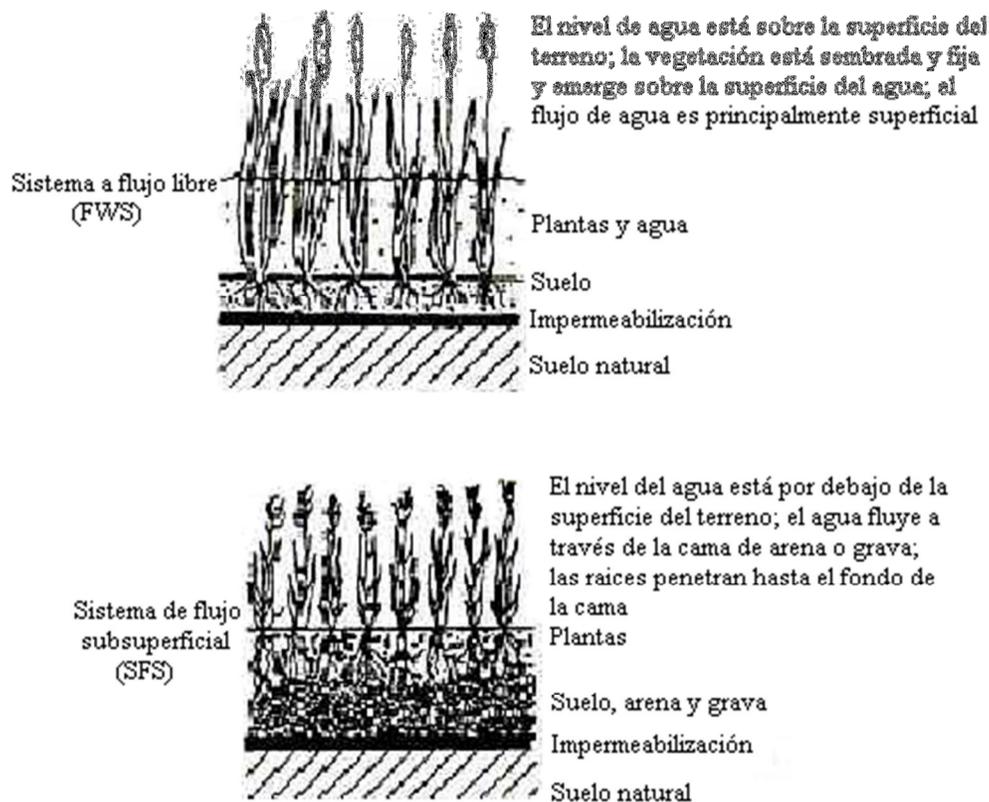
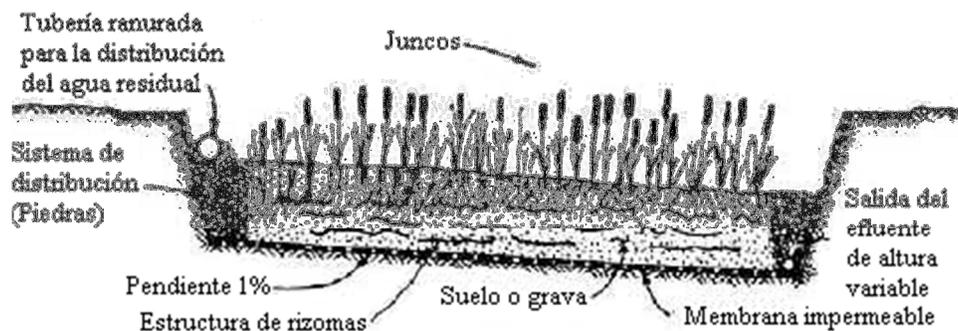


Figura 3.8 Tipos de humedales construidos, típicamente usados para tratamiento de aguas residuales

A los sistemas FWS normalmente se les aplica agua residual pretratada en forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente. Los sistemas de flujo libre también se pueden diseñar con el objetivo de crear nuevos hábitat para la fauna y flora o para mejorar las condiciones de humedales naturales próximos.

Los sistemas de flujo subsuperficial se diseñan con el objeto de proporcionar tratamiento secundario avanzado y consisten en canales o zanjas excavados rellenos de material granular, generalmente grava en donde el nivel de agua se mantiene por debajo de la superficie de grava (Véase Figura 3.9). Las mismas especies de vegetales se usan en los dos tipos de humedales artificiales.

Figura 3.9 Sección transversal de un sistema de flujo subsuperficial



El concepto de SFS tiene varias ventajas; existe la creencia de que las reacciones biológicas en ambos tipos de humedales se deben al crecimiento de organismos. El lecho de grava tendrá mayores tasas de reacción y por lo tanto puede tener un área menor. Como el nivel del agua está por debajo de la superficie del medio granular no se encuentra expuesto a la atmósfera, con lo que se evitan posibles problemas de mosquitos que pueden llegar a presentarse en sistemas de flujo libre en algunos lugares. Tampoco se presentan

inconvenientes con el acceso de público, así como se evitan problemas en climas fríos, ya que esta capa presta una mayor protección térmica.

Además de las aguas residuales municipales, los humedales construidos han sido usados para una variedad de industrias, escorrentía de aguas agrícolas y de lluvias, lixiviados de vertederos, rebose de alcantarillados combinados, drenaje de minas y aguas residuales domésticas en pequeños humedales tras tanques sépticos convencionales.

En cuanto al rendimiento de los humedales, se puede decir que pueden tratar con eficiencia niveles altos de DBO, SS y nitrógeno (rendimientos superiores al 80%), así como niveles significativos de metales, trazas orgánicas y patógenos. No ocurre lo mismo con la eliminación de fósforo que es mínima en estos sistemas.

COMPONENTES DEL HUMEDAL

Los humedales construidos consisten en el diseño correcto de un vaso que contiene agua, substrato, y la mayoría normalmente, plantas emergentes. Estos componentes pueden manipularse construyendo un humedal. Otros componentes importantes de los humedales, como las comunidades de microbios y los invertebrados acuáticos, se desarrollan naturalmente.

EL AGUA

Es probable que se formen humedales en donde se acumule una pequeña capa de agua sobre la superficie del terreno y donde exista una capa del subsuelo relativamente impermeable que prevenga la filtración del agua en el subsuelo. Estas condiciones pueden crearse para construir un humedal casi en cualquier parte modificando la superficie del terreno para que pueda recolectar agua y sellando el vaso para retener el agua. La hidrología es el factor de diseño más importante en un humedal construido porque reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso del humedal. La hidrología de un humedal construido no es muy diferente que la de

otras aguas superficiales y cercanas a la superficie, difiere en los siguientes aspectos importantes:

- Pequeños cambios en la hidrología pueden tener efectos importantes en un humedal y en la efectividad del tratamiento.
- Debido al área superficial del agua y su poca profundidad, el sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración (la pérdida combinada de agua por evaporación de la superficie de agua y pérdida a través de la transpiración de las plantas).
- La densidad de la vegetación en un humedal afecta fuertemente su hidrología, primero, obstruyendo caminos de flujo siendo sinuoso el movimiento del agua a través de la red de tallos, hojas, raíces, y rizomas, y segundo, bloqueando la exposición al viento y al sol.

SUBSTRATOS, SEDIMENTOS Y RESTOS DE VEGETACIÓN

Los sustratos en los humedales construidos incluyen suelo, arena, grava, roca, y materiales orgánicos como el compost. Sedimentos y restos de vegetación se acumulan en el humedal debido a la baja velocidad del agua y a la alta productividad típica de estos sistemas. El sustrato, sedimentos, y los restos de vegetación son importantes por varias razones:

- La permeabilidad del sustrato afecta el movimiento del agua a través del humedal y soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal.
- Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del sustrato.
- El sustrato proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.
- La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, fijación de

microorganismos, y es una fuente de carbono, que es la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal.

VEGETACIÓN

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escurrentía de varias maneras:

- Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo.
- Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- Toman el carbono, nutrientes, y elementos de traza y los incorporan a los tejidos de la planta.
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigenan otros espacios dentro del sustrato.
- Cuando se mueren y se deterioran dan lugar a restos de vegetación.
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.

El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (los tallos, raíces, y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión. Lo más importante en los humedales es que las porciones sumergidas de las hojas y tallos se degradan y se convierten en los llamados restos de vegetación, que sirven como sustrato para el crecimiento de la película microbiana fija que es la responsable de gran parte del tratamiento que ocurre.

MICROORGANISMOS

Una característica fundamental de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Los microorganismos incluyen bacterias, levaduras, hongos, y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes. La actividad microbiana:

- Transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles.
- Altera las condiciones de potencial redox del sustrato y así afecta la capacidad de proceso del humedal.
- Está involucrada en el reciclaje de nutrientes.

Algunas transformaciones microbianas son aeróbicas (es decir, requieren oxígeno libre) mientras otras son anaeróbicas (tienen lugar en ausencia de oxígeno libre). Muchas especies bacterianas son facultativas, es decir, son capaces de funcionar bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas en respuesta a los cambios en las condiciones medioambientales.

Las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios en el agua que les llega y se pueden extender rápidamente cuando se tiene la suficiente energía. Cuando las condiciones medioambientales no son convenientes, muchos microorganismos se inactivan y pueden permanecer inactivos durante varios años. La comunidad microbiana de un humedal construido puede ser afectada por sustancias tóxicas, como pesticidas y metales pesados, y debe tenerse cuidado para prevenir que tales sustancias se introduzcan en las cadenas tróficas en concentraciones perjudiciales.

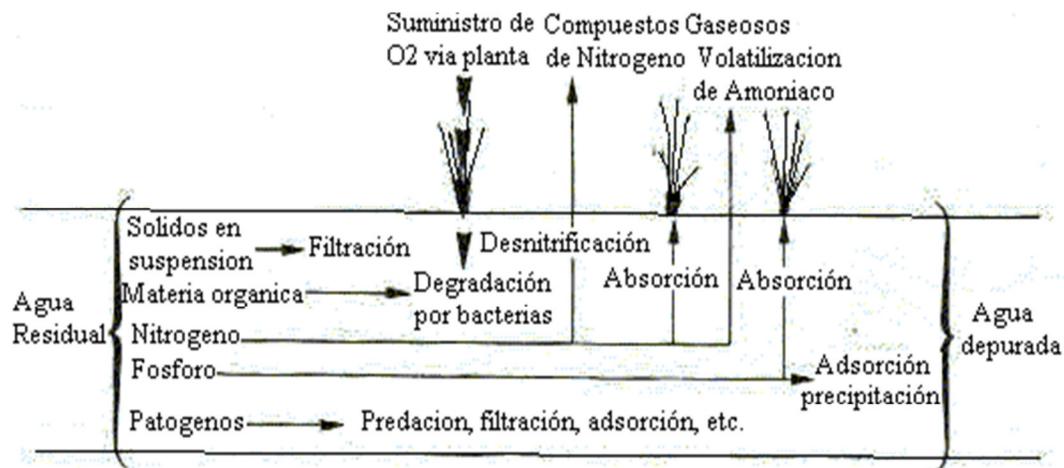
RENDIMIENTOS ESPERADOS

Los humedales pueden tratar con efectividad altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos (SS) y nitrógeno, así como niveles significativos de metales, trazas orgánicas y patógenos; la remoción de fósforo es mínima debido a las

limitadas oportunidades de contacto del agua residual con el suelo. Los mecanismos básicos de tratamiento son los antes citados, e incluyen sedimentación, precipitación química, absorción, e interacción biológica con la DBO y el nitrógeno, así como la captación por parte de la vegetación.

Si no se practica la poda, se encuentra una fracción de la vegetación que se descompone y que permanece como materia orgánica refractaria, que termina formando turba en el humedal. Los nutrientes y otras sustancias asociadas a esta fracción refractaria se considera que son eliminados permanentemente del sistema. En la siguiente figura se pueden ver los principales procesos que se llevan a cabo en un humedal y que permiten la depuración del agua residual.

Figura 3.10 Procesos de depuración de los humedales artificiales



El efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales es una materia prima valiosa por su contenido de nutrientes y materia orgánica la cual debe ser valorada y aprovechada para reuso de cualquier naturaleza, en vez de verter estas aguas semi-tratadas al cauce más cercano. Empezar un proceso tan largo y delicado como la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, para finalmente limitarse a cumplir con una norma administrativa y verter el efluente al río más cercano con 10, 20, o 30 % de la materia

orgánica, que irá con la mayoría de los nutrientes y de los patógenos presentes en el agua residual

3.6.1.- APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN LA AGRICULTURA (OMS 1989)

Las aguas residuales constituyen un problema sanitario, pero a su vez un recurso muy apreciado para el riego; de gran valor económico en áreas desérticas o con estiajes prolongados. Los nutrientes presentes en las aguas residuales tienen valor como fertilizantes y aumentan el rendimiento de los cultivos. La aplicación de aguas residuales, crudas o previamente tratadas, al suelo, campos de cultivo, constituye en sí un tratamiento adicional que mejora la calidad de las mismas, la cual se asocia particularmente bien a los sistemas que son poco eficientes en la remoción de los nutrientes, los cuales son requeridos por los cultivos.

La irrigación de cultivos con aguas residuales tratadas permite reducir la presión sobre el uso del agua superficial y freática, como en el consumo de fertilizantes químicos y plaguicidas, y aumenta el contenido de materia orgánica de los suelos. Este aporte de materia orgánica es por otro lado el mejor antídoto del suelo para resistir los riesgos de salinización, que pueden surgir de una aplicación excesiva de minerales, particularmente sodio.

Las aguas residuales domésticas son aprovechadas en muchas áreas del mundo, para:

- Riego agrícola (a veces directamente, y a veces por extracción de ríos a las cuales se hayan descargado).
- Riego de árboles y plantas en corredores de transporte.
- Riego de césped, por ejemplo en campos de golf.
- Procesos industriales.
- Cría de peces.
- Recarga de acuíferos.

- Mitigación de impactos ambientales (creación de humedales artificiales).
- Uso estético, paisajístico.

Cuadro 3.3 Directrices sobre la calidad de los efluentes empleados en agricultura

Categoría	Condiciones de Aprovechamiento	Grupo Expuesto	Nemátodos Intestinales^b (media aritmética, N° de huevos por litro^c)	Coliformes fecales (media geométrica N° por 100 ml^c)	Tratamiento de aguas residuales necesario para lograr la calidad microbiológica exigida
A	Riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campos de deporte, parques públicos ^a	Trabajadores, consumidores y público	≤ 1	≤ 1000 ^d	Serie de estanques de estabilización que permiten lograr la calidad microbiológica indicada o tratamiento equivalente
B	Riego de cultivos de cereales industriales y forrajeros, praderas y árboles ^b	Trabajadores	≤ 1	No se recomienda Ninguna norma	Retención en estanques de estabilización por 8 a 10 días o eliminación equivalente de helmintos y coliformes fecales
C	Riego localizado de cultivos en la categoría B cuando ni los trabajadores ni el público están expuestos ^e	Ninguno	No es aplicable	No es aplicable	Tratamiento previo según lo exija la tecnología de riego por lo menos la sedimentación primaria

^c Durante el período de riego.

^d Conviene establecer una directriz más estricta (≤ 200 coliformes fecales por 100 ml) para prados públicos, como los de los hoteles, con los que el público puede entrar en contacto directo.

^e En el caso de los árboles frutales, el riego debe de cesar dos semanas antes de cosechar la fruta y ésta no se debe de recoger del suelo. No es conveniente regar por aspersión.

Con referencia a las nuevas directrices de calidad microbiológica para el uso de aguas residuales contenidas en el cuadro anterior (OMS, 1989), el tratamiento de desechos está incluido en la categoría de uso A, el tratamiento de desechos y la restricción de cultivos en la categoría B, y la selección de medidas de aplicación y de control de la exposición humana en la categoría C.

3.6.2.- MANEJO DE LODOS

El lodo es un subproducto que se genera en todos los procesos de tratamientos de aguas residuales. El lodo producido en las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales suele ser líquido o líquido semisólido. A diferencia de las plantas aerobias, el lodo de los reactores anaerobios es estabilizado (fermentado), se genera en poca cantidad (aproximadamente 0.50 m³ o 20 kg de lodo seco para 1000 m³ de aguas residuales domésticas) y es de fácil deshidratación. Su comercialización es en consecuencia más fácil aunque el precio de venta solo alcanza para pagar los costos directos de su deshidratación, empaque y transporte. Es de todos modos una fuente nueva de material orgánico para los cultivos de la región.

El lodo estabilizado generado del tratamiento de las aguas residuales es valioso como fuente de nutrientes y como acondicionador del suelo, puede emplearse en la agricultura o como fertilizante de estanques en acuicultura. El uso de los lodos debe de fomentarse en donde sea posible, siempre y cuando se provea de la protección de la salud.

La materia orgánica incorporada mejora el suelo porque:

- Permite una mayor retención de la humedad.
- Adiciona al suelo los nutrientes necesarios para la plantas y facilita su retención en el suelo.
- Incrementa la actividad biológica del suelo.
- Evita o al menos disminuye la necesidad de fertilizantes químicos.

Sin embargo, existen condicionantes para la utilización del lodo, como:

- Contenido de metales que pueden llevar a valores límite de toxicidad, desconociéndose en muchos casos los efectos reales de concentración de metales depositados en los suelos sobre las plantas.

- Presencia de patógenos y semillas indeseables que puedan hacer inutilizable el lodo en ciertos casos.

Para determinar si el lodo contiene sustancias químicas industriales, como metales pesados, que puedan causar toxicidad a las plantas y al hombre, es recomendable realizarse una serie de análisis de laboratorio en forma periódica. Sin embargo, estos análisis son complicados y costosos. Se puede determinar el potencial de los lodos de ser tóxicos con un inventario de industrias que estén descargando a la red de alcantarillado sanitario y que pueden tener un impacto en la calidad de los lodos.

3.7.- POTENCIALES IMPACTOS AMBIENTALES

Los contaminantes de las aguas servidas municipales, o aguas servidas domésticas, son los sólidos suspendidos y disueltos que consisten en: materias orgánicas e inorgánicas, nutrientes, aceites, grasas, sustancias tóxicas y microorganismos patógenos. Los desechos humanos sin un tratamiento apropiado, eliminados en su punto de origen o recolectados y transportados, presentan un peligro de infección parasitaria (mediante el contacto directo con la materia fecal), hepatitis y varias enfermedades gastrointestinales, incluyendo el cólera y tifoidea (mediante la contaminación de la fuente de agua y la comida). Cabe mencionar que el agua de lluvia urbana puede contener los mismos contaminantes, a veces en concentraciones sorprendentemente altas.

Cuando las aguas servidas son recolectadas pero no tratadas correctamente antes de su eliminación o reutilización, existen los mismos peligros para la salud pública en las proximidades del punto de descarga. Si dicha descarga es en aguas receptoras, se presentarán peligrosos efectos adicionales (p.ej. el hábitat para la vida acuática y marina es afectada por la acumulación de los sólidos; el oxígeno es disminuido por la descomposición de la materia orgánica; y los organismos acuáticos y marinos pueden ser perjudicados aún más por las sustancias tóxicas, que pueden extenderse hasta los organismos superiores por la bio-acumulación en las cadenas alimenticias). Si la descarga entra en aguas confinadas, como un lago o una bahía, su contenido de nutrientes puede ocasionar la eutrofización, con

molesta vegetación que puede afectar a las pesquerías y áreas recreativas. Los desechos sólidos generados en el tratamiento de las aguas servidas (grava, cerniduras, y fangos primarios y secundarios) pueden contaminar el suelo y las aguas si no son manejados correctamente.

Los proyectos de aguas servidas son ejecutados a fin de evitar o aliviar los efectos de los contaminantes descritos anteriormente en cuanto al ambiente humano y natural. Cuando son ejecutados correctamente, **su impacto total sobre el ambiente es positivo.**

Los **impactos directos** incluyen la disminución de molestias y peligros para la salud pública en el área de servicio, mejoramientos en la calidad de las aguas receptoras, y aumentos en los usos beneficiosos de las aguas receptoras. Adicionalmente, la instalación de un sistema de recolección y tratamiento de las aguas servidas posibilita un control más efectivo de las aguas servidas industriales mediante su tratamiento previo y conexión con el alcantarillado público, y ofrece el potencial para la reutilización beneficiosa del efluente tratado y de los fangos.

Los **impactos indirectos** del tratamiento de las aguas residuales incluyen la provisión de sitios de servicio para el desarrollo, mayor productividad y rentas de las pesquerías, mayores actividades y rentas turísticas y recreativas, mayor productividad agrícola y forestal o menores requerimientos para los fertilizantes químicos, en caso de ser reutilizado el efluente y los fangos, y menores demandas sobre otras fuentes de agua como resultado de la reutilización del efluente.

De éstos, varios **potenciales impactos positivos** se prestan para la medición, por lo que pueden ser incorporados cuantitativamente en el análisis de los costos y beneficios de varias alternativas al planificar proyectos para las aguas servidas. Los beneficios para la salud humana pueden ser medidos, por ejemplo, mediante el cálculo de los costos evitados, en forma de los gastos médicos y días de trabajo perdidos que resultarían de un saneamiento defectuoso. Los menores costos del tratamiento de agua potable e industrial y mayores rentas de la pesca, el turismo y la recreación, pueden servir como mediciones

parciales de los beneficios obtenidos del mejoramiento de la calidad de las aguas receptoras. En una región donde es grande la demanda de viviendas, los beneficios provenientes de proporcionar lotes con servicios pueden ser reflejados en parte por la diferencia en costos entre la instalación de la infraestructura por adelantado o la adecuación posterior de comunidades no planificadas.

3.8.- PROBLEMAS SOCIOCULTURALES

Las instalaciones de tratamiento requieren tierra; su ubicación puede resultar en la repoblación involuntaria. Es más, las obras de tratamiento y eliminación pueden crear molestias en las cercanías inmediatas, al menos ocasionalmente. A menudo, las tierras y los barrios elegidos, corresponden a los "grupos vulnerables" que son los menos capacitados para afrontar los costos de la reubicación y cuyo ambiente vital ya está alterado. Se debe tener cuidado de ubicar las instalaciones de tratamiento y eliminación, donde los olores o ruidos no molestarán a los residentes u otros usuarios del área, manejar la reubicación con sensibilidad, e incluir en el plan de atenuación del proyecto, provisiones para mitigar o compensar los impactos adversos sobre el medio ambiente humano.

CAPITULO IV

ANTECEDENTES DE LA PTAR (Planta de tratamiento de aguas residuales) DE LA COMUNIDAD DE SAN ANDRÉS.

4.1.- INTRODUCCIÓN:

Las aguas residuales se someten a diferentes tratamientos, dependiendo de los contaminantes y la calidad que se quiera alcanzar, ya sea que esta se disponga en los cuerpos receptores, se use como agua de riego o en actividades industriales que no requieran líquido semejante al potable. En general los procesos de tratamiento de agua se componen en tres etapas:

Los tratamientos primarios, que se basan en procedimientos de separación física para disminuir sólidos totales y parcialmente la demanda bioquímica de oxígeno.

Los tratamientos secundarios, que se basan en la degradación realizada por microorganismos para reducir adicionalmente la concentración de compuestos orgánicos en el agua.

Los tratamientos terciarios, que usan métodos físicos o químicos para remover componentes inorgánicos y microorganismos patógenos.

Tratamiento de aguas en la Comunidad de San Andrés:

La comunidad de San Andrés que se encuentra a 16 km. de la ciudad de Tarija, que como otras comunidades pequeñas, enfrenta una serie de problemas que dificultan la construcción de plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales, habitualmente gestionadas por las entidades municipales. Los principales problemas que se presentan están relacionados con los siguientes aspectos:

- ✓ Normativas de vertido estrictas: Las normativas de vertido de aguas residuales tratadas son las mismas para comunidades grandes que para pequeñas, es decir, se

ven obligadas a proporcionar prácticamente el mismo nivel de tratamiento que las grandes comunidades.

- ✓ Limitaciones de financiamiento: En general, las pequeñas comunidades se enfrentan con problemas de financiamiento de las instalaciones de gestión de aguas residuales.
- ✓ Presupuestos limitados para la explotación y mantenimiento de las instalaciones.
- ✓ El correcto uso de los sanitarios, por parte de los beneficiarios.

El diseño y explotación de plantas de depuración en pequeños núcleos debe resolverse con la misma eficacia que se hace en las grandes poblaciones, debiendo emplearse otros criterios de selección como ser:

- Prioridad de procesos que requieran un tiempo mínimo de operador.
- Equipos que requieran un mínimo de mantenimiento.
- Gasto mínimo de energía.

4.2.- DATOS DEL DISEÑO ORIGINAL DEL PROYECTO.

Nombre del proyecto: Construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en la Comunidad de San Andrés del Municipio de Tarija.

Entidad Ejecutora: Gobierno Municipal de la ciudad de Tarija y la provincia Cercado.

Contratista: Asociación Accidental Soliz y Asociados.

Representante: Ing. Oscar Mario Solís Pimentel.

Fecha de inicio: 12 de Agosto de 2009.

Plazo de ejecución: 150 días calendario.

Monto del contrato Original: Bs. 586,861.44

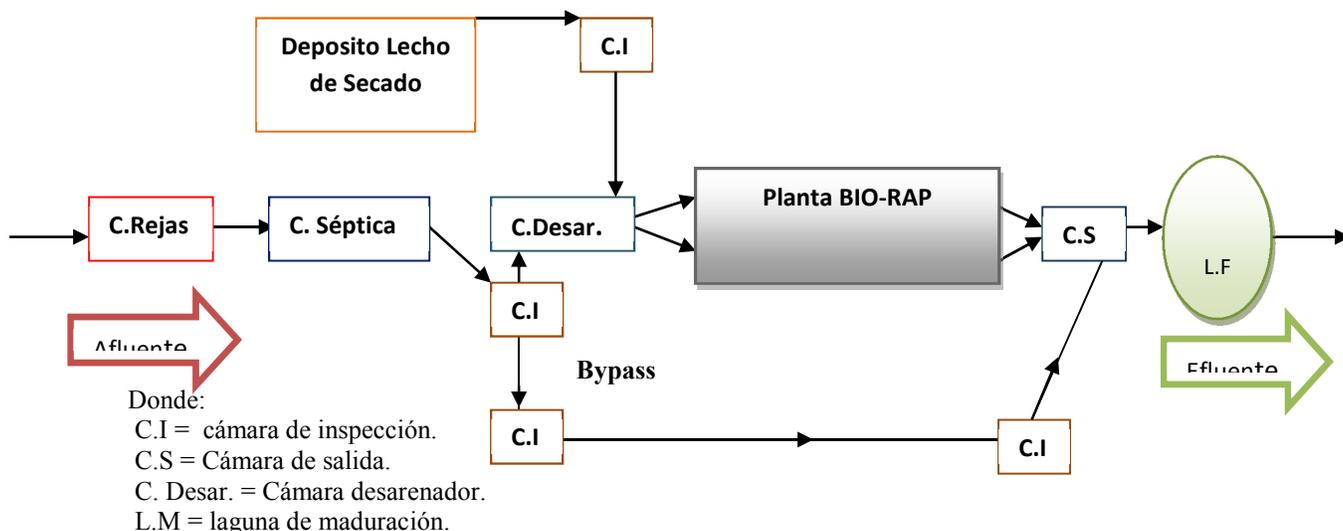
Director de supervisión: Ing. Arnoldo Ávila F.

Supervisor: Ing. Omar Salazar.

4.2.1.- ESQUEMA GENERAL DEL DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE SAN ANDRÉS

La planta fue diseñada de la siguiente manera:

Figura 4.1
Esquema de Diseño Original.



4.2.1.1.- TRATAMIENTO PRELIMINAR

Los sistemas primarios son los más sencillos en la limpieza del agua, tienen la función de preparar al afluente, limpiándola de partículas cuyas dimensiones puedan obstruir o dificultar los procesos subsiguientes. Estos tratamientos son la cámara de rejillas y el desarenador.

CÁMARA DE REJILLAS DE H°C°

Son dispositivos constituidos por barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas las mismas se ubican transversalmente al flujo, y se colocan antes del desarenador, sin alterar el flujo normal. Las barras pueden ser rectas o curvadas. Su finalidad es retener sólidos

gruesos, de dimensiones relativamente grandes, que estén en suspensión o flotantes. Las rejas por lo general son la primera unidad de una planta de tratamiento.

Tabla 4.1
Datos de diseño cámara de rejilla.

Cámara de rejilla	
Longitud : 2.20 m	Ancho : 1.20 m
Altura : 2,60 m	
Rejilla	
Longitud : 0.70 m	Ancho : 0.40 m
Espaciamiento : 0.10 m (transversal)	Espaciamiento : 0.08m (longitudinal)

Fuente: Elaboración propia.

CÁMARA DESARENADOR

Se emplea para remover gravillas, arenas, cenizas y otros materiales inorgánicos presentes en las aguas residuales, que pueden causar abrasión o desgaste excesivo en los equipos mecánicos de una planta de tratamiento. El desarenador se ubica generalmente después del cribado.

Tabla 4.2
Datos de diseño cámara desarenador

Cámara desarenador	
Longitud : 3.60 m	Ancho : 1.60 m
Altura : 1.80 m	

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.3 Desarenador

4.2.1.2.-TRATAMIENTO PRIMARIO.

La finalidad del tratamiento primario es remover sólidos suspendidos por medio de la sedimentación, filtración, flotación y precipitación.

TANQUE SÉPTICO

El tanque séptico es un depósito (que puede ser de uno o más compartimientos), impermeable, de escurrimiento continuo y forma rectangular o cilíndrica que recibe, la excreta y agua residual proveniente del alcantarillado sanitario. Su construcción es generalmente subterránea y puede hacerse de piedra, ladrillo, hormigón u otro material resistente a la corrosión. (Duncan, 1982; Hopkins, 1951; Unda, 1993).

El modelo funcional es el tanque de tres cámaras con una secuencia de tratamientos que consiste en una cámara de sedimentación, pasando a una cámara con condiciones anaerobias donde se reduce la carga orgánica disuelta. La tercera cámara cumple las

funciones de sedimentador secundario para clarificar el agua antes de ser dispuesta en un campo de oxidación.

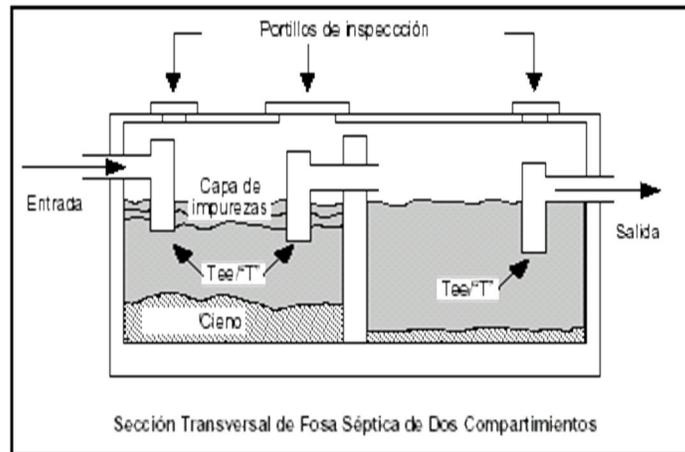
El problema básico de las fosas sépticas es que suelen acumular lodos hasta la saturación, lo que se incrementa si la fase anaerobia no funciona correctamente. El efluente debe necesariamente ser tratado en un campo de oxidación antes de infiltrar al suelo y los lodos extraídos para su tratamiento adicional.

Tabla 4.3
Datos de diseño cámara séptica

Cámara Séptica	
Longitud : 12m	Ancho : 3.40 m
Nº de cámaras : 2	Altura : 2.85 m

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.4 Cámara séptica



4.2.1.3.- TRATAMIENTO SECUNDARIO

La finalidad del tratamiento secundario es el de remover material orgánico y en suspensión; utilizando procesos biológicos, aprovechando la acción de microorganismos, que en su proceso de alimentación degradan la materia orgánica.

La presencia o ausencia de oxígeno disuelto en aguas residuales, define dos grandes grupos o procesos de actividad biológica, los aerobios (en presencia de oxígeno) y los anaerobios (en ausencia de oxígeno).

PLANTA BIO – RAP (reactor anaeróbico a pistón)

La planta BIO – RAP consta de un compartimento inicial y una segunda sección con una serie de reactores deflectores. Los deflectores son utilizados para dirigir el flujo de las aguas residuales en una forma de flujo ascendente a través de una serie de reactores de manto de lodos. Esta configuración proporciona un contacto más íntimo entre la biomasa anaeróbica y las aguas residuales, lo que contribuye a la mejora del rendimiento del tratamiento.

La eficacia del tratamiento que se consigue es de 70-95 % por la remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), haciendo que la calidad de los vertidos sea moderada

Tabla 4.4
Datos de diseño Bio - Rap

Planta BIO - RAP	
Longitud total : 26.60 m	Ancho total : 10.80 m
Nº de cámaras : 22	Altura cámara N°1 : 5.30 m
Altura cámara siguientes: 3.00 m	Ancho de c/cámara : 4.30 m

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.5 Bio-Rap



4.2.1.4- TRATAMIENTO TERCARIO

Laguna facultativas se usan para remover patógenos y DBO. Estas lagunas, pueden ser las primeras del tratamiento o recibir los efluentes del tratamiento anaerobio, los procesos que efectúa son:

- ✓ La digestión de los sólidos sedimentados o el fondo, los efectúa anaeróbicamente.
- ✓ En la capa superior de estas lagunas contienen oxígeno, las algas crecen en esta por fotosíntesis y producen oxígeno proporcionando los nutrientes necesarios para las bacterias anaeróbicas que estabilizan la materia orgánica.

Tabla 4.5
Datos de diseño laguna facultativa

Laguna Facultativa	
Diámetro: 15 m	Altura : 1.5 m

Fuente: Elaboración propia.

Figura4.6 Laguna facultativa



4.2.1.5.- TRATAMIENTO DE LODOS.

Es el tratamiento de la porción “solida” (actualmente, mas de 80 % agua) removida del agua contaminada. La finalidad del proceso es de secarlo y tratarlo con una combinación de tiempo y temperatura para matar los patógenos.

DEPÓSITO LECHO DE SECADO

Para su secado, los lodos suelen descargarse en lechos de arena con 0.25 a 0.30m de espesor. Al secarse, dejan una materia porosa de color pardo oscuro que puede emplearse para rellenar terrenos bajos. El lodo bien digerido no debería presentar olor alguno, pero a fin de evitar molestias que puedan presentarse de un fango mal digerido, los lechos deben situarse a 150m, como mínimo, de las viviendas más próximas. (Manual de operación y mantenimiento STAR en poblaciones rurales Ministerio del Agua Bolivia 2007

Tabla 4.6Datos de diseño deposito lecho de secado

Deposito lecho de secado	
Longitud total : 10.40 m	Ancho total : 5.40 m
Altura cámara : 1.80 m	

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.- EJECUCIÓN DEL PROYECTO

4.2.2.1.- PARALIZACIÓN DEL PROYECTO POR SANEAMIENTO DE TIERRAS.

El 13 de marzo se realizó el desembolso de anticipo a la empresa ejecutora, para el inicio de obra. El 20 de marzo de 2007, se solicitó la inspección al lugar de la obra y fecha de la orden de proceder, por lo que se empezó con las tareas preliminares para la ejecución, sin embargo los supuestos propietarios del terreno donde se ejecutaría la obra impidieron la continuidad de las actividades con acciones amenazantes a los obreros y otros actos violentos, aduciendo que son terrenos privados y no fiscales ni comunales. Por tal circunstancia se informó a la entidad sobre estos hechos y se solicitó la solución al conflicto. Desde esa fecha hasta el 7 de agosto de 2009, se paralizó la ejecución del proyecto, tiempo que tomó a la entidad contratante el trámite administrativo para la solución de saneamiento del terreno o lugar para la ejecución del proyecto, como del acceso al mismo. Finalmente se emitió la orden de proceder el 12 de agosto de 2009.

4.2.2.2.- CONTRATO MODIFICATORIO.

En la revisión técnica del proyecto en referencia (en fase de ejecución) a las cantidades de obra de acuerdo al pliego de condiciones (Fase de licitación y adjudicación) se encontraron diferencias, tanto en las cantidades de obra de los ítems, como de actividades necesarias para la conclusión del proyecto, como es de conocimiento de la entidad contratante a través de su supervisión, el proyecto no concuerda cuantitativamente con las actividades de contrato, y principalmente hace falta una actividad o ítem, sin la cual no se puede continuar la ejecución de la obra y menos, concluirla.

Tabla 4.7 Lista de Ítems

ACTIVIDADES CONTRACTUALES		
N° Ítem	Descripción	Unidad
1	Instalación de faenas.	Glb.
2	Replanteo y control bio - rap 100	m ²
3	Excavación 2-4 m suelo semiduro	m ³
4	Agotamiento	Hr.
5	Elev. Muro H°C° 1:2:3 50%	m ³
6	Losa llena de H°A° P/tapas	m ³
7	Columnas deflectoras de H°A°	m ³
8	Vigas deflectoras de H°A°	m ³
9	H°C° base Rab 1:2:4 60%	m ³
10	H°C° cámaras 1:2:3 50%	m ³
11	Losa de fondo H°A°	m ³
12	Revoque de mortero impermeabilizante	m ²
13	Muro ladrillo gambote cerámico e = 12 cm	m ²
14	Revoque de mortero impermeabilizante s/ladrillo	m ²
15	Prov. y tendido de tubería PVC D=6"	ml.
16	Prov. y tendido de tubería PVC D=4"	ml.

17	Rejilla desarenador	m ²
18	Replanteo y control canal	ml.
19	Excavación con retroexcavadora	m ³
20	Base de canal de H°C° 1:2:4 60%	m ³
21	Elevación de muro de H°C° 1:2:3 50%	m ³
22	Relleno y compactado C/saltarina	m ³
ITEMS NUEVOS		
23	Muro de H°A° H-21	m ³
24	Mampostería de piedra + emboquillado e= 25 cm	m ²

Cuadro 4.1 Resumen del contrato

	Resumen	Moneda Bs
a	Monto de contrato original.	586,861.44
b	Monto según contrato modificadorio.	670,194.56
c	Nuevo plazo de ejecución.	200 días calendario.

Fuente: Municipio de Cercado

4.2.2.3.- FASE CONSTRUCTIVA.

Durante la etapa constructiva se tropezaron con muchos obstáculos, que al final se superaron para hacer realidad lo que a gritos pedían los pobladores de la comunidad un sistema de tratamiento para sus aguas residuales, a continuación presentaremos una lista de los mayores inconvenientes:

- Saneamiento de tierras.
- Nivel freático muy elevado.

- La pendiente mínima.
- La canalización de un arroyo.

ELEMENTOS QUE CONFORMAN TODA LA ESTRUCTURA.

El gobierno municipal no contando con todos los recursos económicos suficientes, se vio en la necesidad de dividir la construcción en dos fases:

PRIMERA FASE:

- Cámara desarenador.
- Planta Bio – Rap.
- Laguna de estabilización de tierra.
- Canal pluvial. (mampostería de piedra.)

Todo este detalle se encuentra en los planos AS- BUILT. (Ver anexos)

SEGUNDA FASE:

- La reforestación del lugar de emplazamiento del proyecto, para evitar los olores y darle mayor estética.
- Vertedero de excedencias en la laguna de estabilización.
- Canal revestido o tubería, para conducir las aguas ya tratadas río abajo, aproximadamente a un área de la Comunidad de Tolomosa para aplicarla como riego, puesto que ese lugar es algo desértico.

4.2.3.- FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.

El modelo empleado en el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales es una versión mejorada del reactor anaeróbico de flujo ascendente, para ello primero describiremos brevemente el RAFA.

4.2.3.1.- REACTOR ANAEROBICO DE FLUJO ASCENDENTE

Los Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente, en adelante denominados RAFA, consisten en estaciones compactas de tratamiento anaeróbico, de reciente aparición en América Latina, luego de investigaciones realizadas en Holanda, y posteriormente en Colombia, por Gatzke Lettinga cerca del año 1980.

En términos generales, los RAFA consisten en tanques cuyo caudal afluente ingresa por su sección inferior, recolectándose el agua tratada en su sección superior. El período de retención hidráulica (normalmente de unas 18 horas o mayor dependiendo de la temperatura de operación, tipo de desecho y otras variables), permite que el material contaminante sea estabilizado parcialmente por bacterias anaeróbicas, con la consecuente producción de biogás. Es por ello que se denominan "reactores", ya que en ellos se lleva a cabo la reacción bioquímica o biodegradación. Fuente: Pequeñas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas. Medina Hoyos 2000.

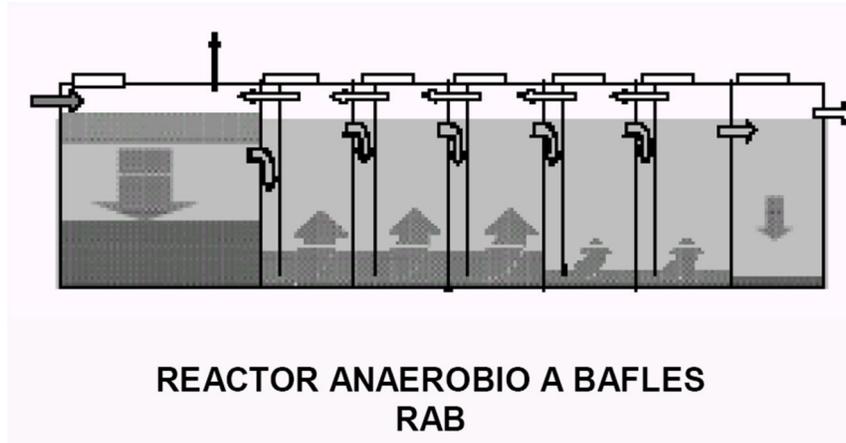
Se han propuesto distintas versiones de RAFA, destacando entre ellas las siguientes: manto de lodos, lecho expandido, lecho fluidizado y filtro anaeróbico de flujo ascendente.

El reactor anaerobio debe venir inmediatamente después de los procesos de desbaste y desarenado sin pasar por una etapa de sedimentación primaria. No se deben colocar sistemas de sedimentación primaria antecediendo a los reactores anaerobios.

4.2.3.2.- REACTOR ANAEROBIO A PISTÓN "RAP-100" (REACTOR A BAFLES)

Es una modificación del reactor anaerobio de pantallas en el cual se permite que la superficie de interface líquido-gas esté en contacto directo con la atmósfera natural.

Figura N° 4.8
Reactor Anaerobio a Bafles (RAB)



El reactor Anaerobio a pistón "RAP", es un reactor biológico anaerobio no convencional desarrollado en la Universidad de los Andes(Bogotá - Colombia), esta tecnología ha tenido un comportamiento muy satisfactorio operando a temperaturas menores de 10° - 20°C, como ser: tiempo de retención hidráulicos reducidos, altas eficiencias de remoción de demanda bioquímica de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno, etc. por lo se puede esperar que la validación de su tecnología, plantee alternativas de solución de bajo costo para el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas a temperaturas sub - óptimas.

El RAP, desarrollado en la Universidad de los Andes, tiene el 55% de su volumen ocupado por flujo ascendente. A partir de análisis bibliográfico y considerando que el flujo ascendente es uno de los principales factores para la formación de lodo granular Lettinga-1985, (lodo responsable de las altas tasas de depuración presentadas en estos sistemas), se plantea introducir una modificación que permite lograr que todo el del volumen del RAP, el 100 % este ocupado por flujo ascendente, creando de esta manera mas "zonas activas" para promover el desarrollo de lodo granular, este reactor será denominado para fines comparativos, RAP- 100.

El consta de un compartimento inicial y una segunda sección con una serie de reactores deflectores. Los deflectores son utilizados para dirigir el flujo de las aguas residuales en una forma de flujo ascendente a través de una serie de reactores de manto de lodos. Esta configuración proporciona un contacto más íntimo entre la biomasa anaeróbica y las aguas residuales, lo que contribuye a la mejora del rendimiento del tratamiento.

Las plantas de tratamiento basadas en el concepto RAP- 100(CH), reactor anaerobio de flujo pistón con 100% de flujo ascendente y cámara hidrolizante, tienen los siguientes elementos: aliviadero y by-pass; reja; desarenador; vertedero; RAP-100(CH); sistema natural de oxigenación (si las condiciones de topografía lo permiten) y lagunaje de alta producción algal (dependiendo del grado de tratamiento deseado). Ver en anexos la Fotografía 1.

La eficacia del tratamiento que se consigue es de 70-95 % por la remoción de DBO lo que hace que la calidad de los vertidos sea moderada, pero normalmente superior a otros sistemas convencionales, este tipo de tratamiento genera muchos inconvenientes, dentro de los cuales se puede mencionar: generación de olores, limpieza difícil y deficiencia en la remoción de nutrientes (Metcalf, 1998).

Efectos de la Temperatura

Los tratamientos anaerobios como cualquier tratamiento biológico de las aguas residuales, se ve afectado por los cambios de temperatura, sin embargo los resultados obtenidos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas ponen en evidencia que existe un rango de temperatura en el agua residual entre 15-20°C en el cual la temperatura no afecta considerablemente el rendimiento de la depuración de los sistemas.

Una vez que la temperatura se reduce por debajo de los 15 °C, entonces el rendimiento se ve seriamente afectado. Esta ha sido la razón principal por la cual los tratamientos anaerobios de las aguas residuales domésticas no han tenido una buena aceptación en países

con estaciones muy frías como lo son los Estados Unidos y los países Europeos. La explicación más frecuente para dicho comportamiento, es el crecimiento nulo de las bacterias responsables de la degradación de las grasas y aceites por debajo de los 15°C. En este caso ocurriría un lavado de esta población y una ausencia en la remoción de estos compuestos.

4.2.4.- RESULTADOS TÍPICOS OBTENIDOS CON DIFERENTES TIPOS DE REACTORES

En esta sección se presentarán los resultados típicos obtenidos con los diferentes tipos de reactores anaerobios que han sido utilizados para el tratamiento de las aguas residuales domésticas. Se analizarán los resultados de remoción de DBO, sólidos suspendidos, patógenos y nutrientes.

Los reactores que han dominado el panorama del tratamiento anaerobio de las aguas residuales domésticas han sido básicamente los reactores UASB o variaciones.

Cuadro 4.2
Resultados obtenidos con diferentes tipos de reactores.

Parametro	UASB	FILTRO	RAP	LAGUNA FACULTATIVA
Volumen (m ³)	3300	57	468	
Temp. Agua (°C)	24	22	14	
THR (horas)	6	7.2	9	10 días
DBO inf.(mg/lt)	147	180	140	80-90%
DQO inf (mg/lt)	390	500		
DBO efl (mg/lt)	38	54	31	
DQO (mg/lt)	170	145		
SS eflu(mg/lt)	78	100		50 - 75
Colif. Efl/100ml	10 E 7			100
NT (mg/lt)	26			50 – 90%
Remoción de P (%)	40			30 %
Producción de lodos				
Referencia	(1)	(2)	(3)	(4)

(1) C.J Collazos y J.M. Cala (1992) "PTAR Riofrio: UASB + Laguna Facultativa Exitosa Aplicación en Colombia"

(2) Genung, R.K. et al. (1986) "Pilot Scale Development of Anaerobic Filter Technology for Municipal Wasterwater Treatment", Proceedings of the Seminar - Workshop Anaerobic Treatment of Sewage.M. Switzenbaum (Ed.).

(3) Orozco, A. (1993) "Tratamiento Anaerobio de las Aguas Residuales Domésticas con el Reactor Anaerobio a Pistón RAP: Experiencias y Resultados" presentado en "Tratamiento Anaerobio de Residuos Orgánicos" Abril de 1993. Universidad de los Andes, Santafé de Bogotá, Colombia.

(4) Metcalf& Eddy (1991) Wastewater Engineering. McGraw-Hill.

C) Resultados de la Planta Piloto de Cali.

REVISTA DE INGENIERÍA UNIANDES

4.2.5.- DISEÑO:

El diseño se efectúa de acuerdo a las experiencias del Dr. Medina, obtenidas en la planta piloto del Tejar y el reactor de San Lorenzo.

TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

$$T = \frac{F_0(DBO_5)}{L_V}$$

Donde:

T = Periodo de retención (días)

F₀(DBO₅) = Concentración de (DBO₅) (gr/m³)

L_V = Carga Volumétrica (grDBO₅/m³/día)

Tiempo recomendado de retención para este tipo de tratamiento a temperaturas entre 10 °C a 20 °C es de 6 a 12 Hrs. La carga volumétrica L_V es asumida de acuerdo con las experiencias de la planta piloto del Tejar – Tarija.

Recomendación:

$$L_V = 0.725 \text{ gr.DBO}_5/\text{lt} \cdot \text{Dia}$$

VELOCIDAD HIDRÁULICA MEDIA EN LAS CÁMARAS.

Varia de 1.0 – 2.0 (m/h), recomendable 1.2 m/h.

Orosco recomienda una velocidad hidráulica de 3.0

VOLUMEN DEL REACTOR.

$$V_r = Q_d * T$$

Donde:

V_r = Volumen del reactor.

Q_d = Caudal de Diseño.

T = Tiempo de retención.

NUMERO DE CÁMARAS

Se recomienda de 11 – 13 cámaras.

LONGITUD TOTAL DEL REACTOR

Separación entre cámaras:

$$L = N * a$$

Donde:

L = Longitud a tomar.

N = Numero de cámaras a adoptar.

a = Separación entre cámaras

LONGITUD DE CÁMARAS ORDINARIAS

$$a_2 = L/N$$

Donde:

a₂ = Longitud de cámaras ordinarias.

LONGITUD PRIMERA CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN

$$a_1 = a_2 \cdot (2.2)$$

Donde:

a_1 = Longitud primera cámara sedimentación - digestión

4.2.6.- OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El mantenimiento y operación de los reactores de flujo ascendente es simple, puesto que son sistemas que no tienen la complejidad de algunos sistemas. Un sistema de tratamiento con reactores de flujo ascendente (RAP-100) bien mantenido dará una buena calidad del afluente.

Para la realización del mantenimiento del sistema se requiere de un mínimo de atención, con una persona realizando actividades de limpieza y control durante 2 a 3 horas por semana.

Para el control de un RAP-100 en el área rural, se podría tener bastantes limitaciones para la realización de un control normalmente aplicado en plantas (alcalinidad, pH, acidez, eficiencias de remoción, etc.), para ello se anotan a continuación algunas pautas preliminares, para el control visual del proceso fermentativo en los reactores.

- En un RAP bien operado no se debería observar la proliferación de vectores.
- En la superficie de todas las cámaras se debería observar explosiones de gas y lodo en forma más o menos continua.
- Las burbujas de biogás deben ser más pequeñas y dispersas (como en un vaso de refresco carbonatado), que grandes y localizadas.

- El lodo que sale a flote, debería sedimentarse inmediatamente, luego de liberar el gas.
- No se debería sentir malos olores a más de 10 metros a la redonda del reactor.
- Tanto el lodo como el agua residual tratada no deben atraer insectos (moscas).
- Respecto a la formación de natas o costras en las cámaras se puede afirmar: en la primera cámara la formación de natas de espesor auto controlable es ventajosa para acelerar la hidrólisis y evitar la propagación de malos olores.
- En las últimas cámaras la ausencia de natas es deseable para garantizar la calidad del efluente.

4.2.7.- PUESTA EN MARCHA

Después de haber culminado la construcción en su primera fase, se puso en funcionamiento a inicios de la gestión 2011, a pedido de toda la comunidad los primeros usuarios fueron:

- La unidad educativa de primaria y secundaria.
- El centro de salud.
- Algunas familias que de manera clandestina realizaron sus conexiones.

Conversando con la vicepresidenta del comité de alcantarillado sanitario la Sra. María. nos manifestó su preocupación por la actual situación de la planta, puesto que nos informó de varios accidentes ocurridos en el lugar como la caída de animales a la laguna de estabilización donde algunas lograron salir (vacas) y otras no (ovejas), esto por la falta de cerramiento perimetral, y también porque constantemente los niños se acercan a jugar a los alrededores poniendo en riesgo sus vidas por la profundidad del reactor y también por el mal uso de los sanitarios, al tirar material de aseo, trapos.etc a los inodoros y también de manera directa en las instalaciones de la planta.

Pero en Octubre de 2011 se procedió a la terminación de la malla perimetral, para posteriormente realizar la conexión de alcantarillado sanitario a cada una de la familias beneficiarias que aproximadamente son 283, según fuente de la vicepresidenta del comité.

También cabe mencionar que no se tiene definida aun la tarifa de cobro por el alcantarillado sanitario.

En el siguiente capítulo se realizara la respectiva evaluación del efluente para determinar si el sistema implantado en San Andrés cumple con el Reglamento de Contaminación Hídrica de la Ley de Medio Ambiente 1333.

CAPITULO V

ENSAYOS DE LABORATORIO

5.1.- INTRODUCCION.

Para la interpretación de los resultados de los análisis de laboratorio y su aplicación práctica, es requisito fundamental el realizar antes un muestreo adecuado.

La toma de muestra de aguas es una operación delicada, que debe llevarse a cabo con el mayor cuidado, esta debe ser homogénea, representativa y no se deben modificar las características fisicoquímicas o biológicas del agua (gases disueltos, materias en suspensión, etc.).

5.2.- TOMA Y CONSERVACIÓN DE LA MUESTRA.

El objetivo de la toma de muestras es la obtención de una porción de material cuyo volumen sea lo suficientemente pequeño como para que pueda ser transportado con facilidad y manipulado en el laboratorio sin que por ello deje de representar con exactitud al material de donde procede.

Antes de llenar el envase con la muestra hay que lavarlo dos o tres veces con el agua que se va a recoger, la toma debe realizarse con cuidado para garantizar que el resultado analítico represente la composición real.

5.2.1.- TIPO DE MUESTRAS.

MUESTRAS SIMPLES O PUNTUALES.

Una muestra simple o puntual representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su captación.

MUESTRAS COMPUESTAS

En la mayoría de los casos, el término "muestra compuesta" se refiere a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos, es considerada como estándar para la mayoría de los ensayos, que deben ser tomadas en un período de 24 h. Sin embargo, bajo otras circunstancias puede ser preferible una muestra compuesta que represente un cambio, o un menor lapso de tiempo, o un ciclo completo de una operación periódica.

MUESTRAS INTEGRADAS

En algunos casos la información necesaria se obtiene mejor, analizando mezclas de muestras individuales recogidas en distintos puntos al mismo tiempo o con la menor separación posible.

5.2.2.- MÉTODOS DE TOMA DE MUESTRA.

TOMA MANUAL

En la toma manual se supone que no se utiliza equipo alguno, pero este procedimiento puede resultar demasiado costoso en tiempo y dinero para programas de toma rutinaria de muestras o a gran escala.

TOMA AUTOMÁTICA

Mediante la toma automática se pueden eliminar los errores humanos en la manipulación, se reducen los costes laborales y se proporciona la posibilidad de hacer tomas con mayor frecuencia.

5.2.3.- CONSERVACIÓN DE LA MUESTRA

Con independencia del tipo de muestras de que se trate nunca puede conseguirse la estabilidad completa de todos sus componentes, pero es recomendable mantener la muestra en la oscuridad y a baja temperatura.

INTERVALO DE TIEMPO ENTRE LA TOMA DE MUESTRA Y EL ANÁLISIS.

Cuanto menor sea el tiempo que transcurre entre la toma de muestra y el análisis más fiable será el resultado. Es imposible establecer con exactitud el tiempo máximo que puede transcurrir entre la toma de muestra y su análisis. Para reducir al máximo la posible volatilización o biodegradación entre la toma de muestra y el análisis, se debe mantener la muestra a la menor temperatura posible, sin que llegue a congelarse. Las muestras se analizarán lo antes posible una vez llegadas al laboratorio. Si no es posible hacerlo de manera inmediata, se recomienda conservarlas a 4°C en la mayoría de los casos.

ENVASES.

En general los envases están hechos de plástico o vidrio, y según los casos puede resultar preferible uno u otro de los materiales. Para muestras que contienen compuestos orgánicos conviene evitar los envases de plástico.

CANTIDAD.

Para la mayoría de los análisis físicos - químicos se necesitan muestras de 2lt. y sin embargo para otros ensayos pueden requerirse volúmenes mayores.

5.3.- ANALISIS DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE SAN ANDRÉS.

Operaciones previas a la toma de muestras

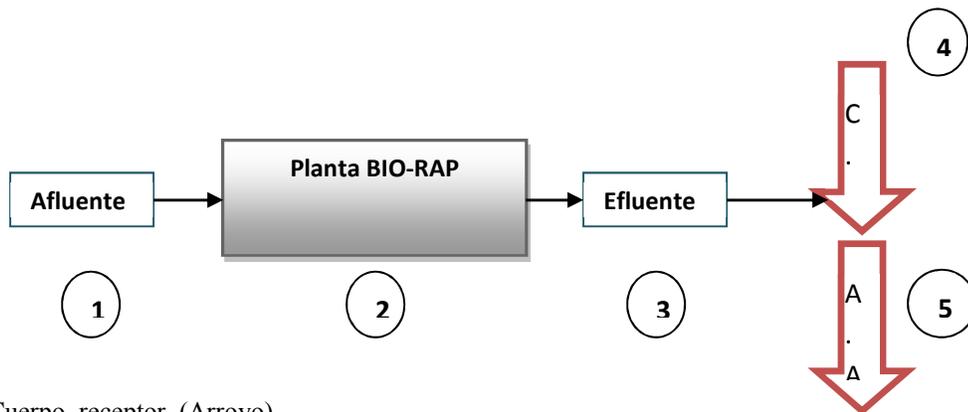
- El primer paso previo a una campaña de muestreo de aguas consiste en realizar una serie de operaciones de puesta a punto de los materiales y equipos para la toma de muestras.
- Preparación de la documentación de campo: libretas de campo, etiquetas.
- Limpieza de todos los equipos a utilizar. Se lavará el material con detergente y se enjuagará tres veces con agua corriente y dos veces con agua desionizada.

- Etiquetado y referenciado de las botellas. Se realizará preferentemente con etiquetas adhesivas y rotulador indeleble (resistente al agua), antes de la toma de muestras.
- Se realizo la limpieza y desbroce, de los puntos de análisis.

Toma de muestras compuestas

Se tomaron porciones individuales de agua de acuerdo a los puntos de estudio establecidos, en botellas de boca ancha cada media hora y se combinaron en una sola botella al momento de tomarlas. El muestreo del afluente (entrada) y efluente (salida) nos permitirá establecer las eficiencias de remoción y el funcionamiento de la PTAR existente en la comunidad de San Andrés.

Figura 5.1
Puntos de muestreo.



Donde:

C.R = Cuerpo receptor. (Arroyo)

AA = Aguas abajo (unión del arroyo y efluente)

A continuación describiremos brevemente la metodología empleada en la recolección de las muestras de la PTAR de la comunidad de san Andrés, los ensayos hacer realizados y finalmente la tabla de resultados.

Cuadro 5.1
Tabla resumen

Toma de muestras de aguas residuales de la comunidad de san Andrés		
Tipos de muestra	Simple o puntual	Al instante
	Compuesta	Intervalos de 30 min.
Envases	Botellas de plástico.	2 lt.
	Botes pequeños (ensayos microbiológicos)	250 ml
Conservación.	Refrigeración y en la oscuridad.	

Fuente: Elaboración propia.

Las muestras de agua residual fueron tomadas como se detallan en el siguiente cuadro:

Cuadro 5.2
Tipos de muestra.

Muestreo Planta de tratamiento de Aguas residuales de San Andrés.				
Tipo de muestra	Puntos.	Fecha	Hora.	
Puntual.	Entrada.	15 de Septiembre	18:30	
	Reactor (ultima cámara).	15 de Septiembre		
	Efluente.	15 de Septiembre		
Compuesta.	Entrada.	28 de Septiembre	Inicio.	Fin.
	Reactor (ultima cámara).	28 de Septiembre	08:00	14:00
	Efluente.	28 de Septiembre		
Compuesta.	Efluente.	13 de Octubre	Inicio.	Fin.
	Arroyo	13 de Octubre	08:00	14:00
	Aguas abajo	13 de Octubre		
Compuesta.	Entrada.	27 de Octubre.	Inicio.	Fin.
	Efluente.	27 de Octubre.		
	Aguas abajo	27 de Octubre.	08:00	14:00

Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.- CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS.

Los parámetros de control más importantes de las aguas residuales según el Reglamento de Contaminación Hídrica 1333 y adoptados por el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID” de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la UAJMS, se detallan en el siguiente cuadro:

Cuadro: 5.3
Parámetros de control de las aguas residuales y técnicas de análisis.
Reglamento de Contaminación Hídrica 1333

PARAMETRO	TECNICA
A. MICROBIOLÓGICO:	
Coliformes fecales	Número mas probable
Coliformes totales	Número mas probable
B. FISICOQUÍMICOS:	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Volumetría
Demanda Química de Oxígeno	Espectrofotometría
Fosforo total	Espectrofotometría
Grasas y aceites	Gravimetría
Nitrógeno amoniacal	Volumetría
Nitrógeno total	Volumetría
pH	Potenciometría
Sólidos suspendidos	Gravimetría
Temperatura	Termometría

Fuente: CEANID

En el presente trabajo se consideraron los siguientes parámetros:

Cuadro 5.4
Ensayos de laboratorio

Ensayos de laboratorio de las muestras tomadas.	
Parámetros Fisicoquímico	
pH	Nitrógeno Total
Turbiedad	Nitrógeno Amoniacal
Sólidos Sedimentables	Nitrógeno Orgánico
Sólidos Totales	Fosforo Total.
DBO5	DQO
Parámetros Microbiológicos.	
Coliformes Fecales	
Coliformes Totales.	

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se dará una explicación breve de los diferentes ensayos realizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, adjuntando los resultados de los mismos en una tabla.

5.4.- DETERMINACIÓN DE pH

Método: Del potenciómetro.

DEFINICIÓN:

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución, el pH del agua varía según el tipo de sustrato, cantidad de plantas, peces y la presencia de rocas que pueden alcalinizar el agua excesivamente.

Equipo y material

- pH-metro
- Balanza

- Matraces volumétricos de 500 ml.
- Vaso de precipitación.
- Soluciones buffer de pH 4.00 7.00 y 9.00
- Agua destilada.

Procedimiento

Debido a las diferencias de pH-metros, entre las múltiples marcas y modelos existentes en el comercio, es imposible dar instrucciones para cada instrumento, en cada una seguir las instrucciones de fabricante.

1. Encender el pH-metro 15 minutos antes de efectuar la medición
2. Sacar el electrodo del agua y enjuagar con agua destilada.
3. Secar suavemente los electrodos con papel absorbente.
4. Calibrar el pH-metro de acuerdo a las instrucciones del fabricante con una frecuencia que depende de la exactitud deseada y la estabilidad del instrumento (por lo menos una vez al día)
5. Enjuagar el electrodo minuciosamente primero con agua destilada y luego con la muestra a ser analizada.
6. Realizar la medición, debe hacerse por TRIPLICADO y sin agitar la muestra para evitar la pérdida o absorción de dióxido de carbono u otros componentes volátiles, los cuales alteran los valores de pH.
7. Anotar el pH y la temperatura de la muestra.
8. Enjuagar los electrodos y sumergir en agua hasta la próxima medida.

Observaciones

Antes de usar el pH-metro, este debe estar calibrado.

RESULTADOS DEL PH

Tabla de resultados del análisis del afluente, efluente, arroyo y aguas abajo de la PTAR de la comunidad de San Andrés:

Tabla 5.1
Resultados del ph

TABLA DE RESULTADOS.		
pH		
Muestra N°1	Entrada	7,22
	Reactor (ultima cámara).	7,16
	Efluente.	6,85
Muestra N°2	Entrada	7,13
	Reactor (ultima cámara).	7,34
	Efluente.	7,18
Muestra N°3	Arroyo.	7,11
	Efluente.	7,23
	Aguas Abajo	7,37
Muestra N°4	Entrada	7,45
	Efluente.	7,34
	Aguas Abajo	6,96

Fuente: Elaboración propia con la información de los exámenes de muestra.

5.5.- DETERMINACION DE TURBIDEZ

Método: Nefelométrico

DEFINICIÓN

La turbiedad en el agua se da debido a la desintegración y erosión de materiales arcillosos, limos o rocas, pero también de residuos industriales, productos de la corrosión así como también por los restos de plantas y microorganismos. La presencia de detergentes y jabones

en las aguas residuales domesticas e industriales causan, de igual forma un aumento en la turbiedad del agua.

Muestreo y preservación.

Se debe realizar la determinación en el día en que se realiza el muestreo. De lo contrario, almacenar la muestra hasta 24hs en la oscuridad.

Equipos y materiales.

- Espectrofotómetro.
- Tubos para la muestra de vidrio transparente y limpio de 25 ml.
- Vasos de precipitación.

Procedimiento.

1. Homogenizar la muestra.
2. Echar en los vasos de precipitación.
3. Lectura en el espectrofotómetro.

RESULTADOS DE LA TURBIEDAD.

Tabla de resultados del análisis del afluyente, efluente, arroyo y aguas abajo de la PTAR de la comunidad de San Andrés:

**Tabla 5.2.
Resultados de la turbiedad**

TABLA DE RESULTADOS.		
TURBIEDAD (UNT)		
Muestra N°1	Entrada	163
	Reactor (ultima cámara).	76
	Efluente.	821
Muestra N°2	Entrada	184
	Reactor (ultima cámara).	20
	Efluente.	31
Muestra N°3	Arroyo.	19
	Efluente.	30
	Aguas Abajo	20
Muestra N°4	Entrada	127
	Efluente.	66
	Aguas Abajo	18

Fuente: Elaboración propia con la información de los exámenes de muestra.

5.6.- SÓLIDOS SEDIMENTABLES.

Método: Volumétrico.

DEFINICIÓN.

La determinación de sólidos sedimentables es de particular importancia en los análisis de desagües. Esta prueba es llevada a cabo en un cono Imhoff, dándole una hora de sedimentación en condiciones de quietud. Las muestras deben ajustarse a la temperatura del cuarto aproximadamente y la prueba debe llevarse a cabo donde la acción directa de los rayos solares no interfieran. Los resultados son medidos e informados en miligramos por litro de sólidos sedimentables.

Muestreo y preservación de la muestra

Recolectar la muestra en envases de vidrio o de plástico de 1L de capacidad. Refrigerar a 4°C. Analizar lo antes posible.

Materiales

- Cono Imhoff graduado de 1000 ml de capacidad.

Procedimiento

1. Coloque un litro de muestra en un cono Imhoff y deje sedimentar por una hora.
2. Luego haga la lectura en la parte final (graduada) del cono.
3. Exprese los resultados en ml/litro/hora

RESULTADOS DE LOS SÓLIDOS SEDIMENTABLES.

Tabla de resultados del análisis del afluente, efluente, arroyo y aguas abajo de la PTAR de la comunidad de San Andrés:

Tabla 5.3.
Resultados de los solidos sedimentables

TABLA DE RESULTADOS.		
SOLIDOS SEDIMENTABLES (mg/lt)		
Muestra N°1	Entrada	0,30
	Reactor (ultima cámara).	0,50
	Efluente.	5,00
Muestra N°2	Entrada	0,30
	Reactor (ultima cámara).	0,10
	Efluente.	0,10
Muestra N°3	Arroyo.	0,10
	Efluente.	0,10
	Aguas Abajo	0,10
Muestra N°4	Entrada	0,55
	Efluente.	0,10
	Aguas Abajo	0,10

Fuente: Elaboración propia con la información de los exámenes de muestra.

5.7.- SÓLIDOS TOTALES.

Método: Gravimétrico.

DEFINICIÓN

Es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en una estufa a temperatura definida.

Los sólidos totales son los residuos resultantes luego de la evaporación y secado de la muestra en una estufa a 103-105°C. Los sólidos totales incluyen volátiles y fijos.

Muestreo y preservación de la muestra

Recolectar la muestra en envases de vidrio o plástico de 1 L de capacidad. Refrigerar a 4°C. Analizar antes de los 7 días.

Equipos y materiales

- Balanza analítica, sensible 0.001 mg.
- Estufa con regulador de temperatura ajustado a 103°C más o menos 2°C
- Cápsulas de porcelana o aluminio de 50 cm³ de capacidad.
- Desecador.
- Pinza
- Pipeta de 50 cm³ aforada
- Termometro

Procedimiento

1. Llevar una cantidad de la muestra necesaria a temperatura aproximada de 20 °C, mezclar bien mediante agitación suave hasta que este homogénea.
2. Tarado de la cápsula: Colocar la cápsula en la estufa de 103 °C , por un tiempo de 50 a 60 minutos, sacar y enfriar en un desecador, pesar la cápsula vacía en una balanza analítica.
3. Tratamiento de la muestra: Se agrega a la cápsula 50 cm³ de la muestra de agua, con una pipeta aforada , y se evapora a sequedad en la estufa, por un tiempo necesario a temperatura de 103 °C.
4. Se coloca la cápsula en un desecador para enfriar, luego se pesa.
5. Se repite la operación de secado y pesado hasta obtener un peso constante.

RESULTADOS DE LOS SÓLIDOS TOTALES.

Tabla de resultados del análisis del afluente, efluente, arroyo y aguas abajo de la PTAR de la comunidad de San Andrés:

Tabla 5.4.
Resultados de los sólidos totales.

TABLA DE RESULTADOS.		
SOLIDOS TOTALES (mg/lt)		
Muestra N°1	Entrada	264
	Reactor(ultima cámara)	218
	Efluente.	1636
Muestra N°2	Entrada	388
	Reactor(ultima cámara).	248
	Efluente.	152
Muestra N°3	Arroyo.	248
	Efluente.	228
	Aguas Abajo	78
Muestra N°4	Entrada	380
	Efluente.	75
	Aguas Abajo	215

Fuente: Elaboración propia con la información de los exámenes de muestra.

5.8.- NITRÓGENO TOTAL.

Método: Kjeldahl

DEFINICIÓN

El nitrógeno se presenta en diferentes formas químicas, en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total Kendahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. Varios compuestos de

nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso, es causa de eutrofización.

Equipos y materiales.

- Equipo destilador.
- Matraces de 500 ml.
- Pipetas.
- Reactivos.
- Balones Kjeldahl

Procedimiento:

1. Tomar una cantidad de muestra y añadir 25 ml de reactivo para la digestión, llevar a digerir hasta que salgan humos blancos, continuar hasta que en el balón queden 2 ml de una solución incolora, si por algún motivo no se pusiera transparente, entonces se vuelve a añadir 25 ml de reactivo de digestión y se continua la misma.
2. Una vez concluida la digestión, adicionar 250 ml de agua libre de amoníaco, 5 gotitas de fenolftaleína, 25 ml de solución de hidróxido de sodio – tiosulfato de sodio y piedras de ebullición.(si en el paso anterior añadimos 25 ml de reactivo de digestión para volver a digerir, entonces debemos agregar 25 ml mas de solución de hidróxido de sodio – tiosulfato de sodio, es decir se debe añadir los mismos volúmenes de reactivo para la digestión y de la solución de hidróxido de sodio – tiosulfato de sodio)
3. Llevar a destilación y recibir en 500 ml de solución indicadora de ácido bórico hasta un total de 250 ml.
4. El destilado titular con ácido sulfúrico 0,02 N.

RESULTADOS DEL NITRÓGENO TOTAL.

Tabla de resultados del análisis del afluente, efluente, arroyo y aguas abajo de la PTAR de la comunidad de San Andrés:

Tabla 5.5.
Resultados del nitrógeno total.

TABLA DE RESULTADOS.		
NITROGENO TOTAL (mg NT/lt)		
Muestra N°1	Entrada	99,56
	Reactor (ultima cámara).	91,70
	Efluente.	50,30
Muestra N°2	Entrada	70,21
	Reactor (ultima cámara).	79,64
	Efluente.	10,48
Muestra N°3	Efluente.	64,45
	Arroyo.	2,10
	Aguas Abajo	48,21
Muestra N°4	Entrada	112,74
	Efluente.	27,79
	Aguas Abajo	58,72

Fuente: Elaboración propia con la información de los exámenes de muestra.

5.9.- NITRÓGENO AMONIACAL.

Método: Kjeldahl

DEFINICIÓN

El amoníaco es un compuesto nitrogenado, gaseoso, incoloro y alcalino. Es más liviano que el aire y su olor es muy reconocible y particular. Se caracteriza por su alta solubilidad en agua, reaccionando con ella, por lo que se forman dos iones, uno de amonio (NH_4) y otro de oxidrilo (OH^-). Podemos concluir esta explicación exponiendo que la solución de

amoníaco en el agua presenta una parte en forma de amoníaco libre no ionizado y otra de amoníaco sí ionizado.

El amoníaco no ionizado existe por sí mismo, mientras que el ionizado solo puede existir como parte de un compuesto, como el hidróxido de amonio o el cloruro de amonio.

Materiales y equipo.

- Equipo destilador.
- Matraces de 500 ml.
- Pipetas.
- Reactivos.
- Matraces aforados de 25 y 50ml.
- Balones Kjeldahl

Procedimiento.

1. Tomar una cantidad de muestra, añadir 200 ml de agua destilada, 25 ml de solución amortiguadora de borato y llevar a un pH de 9.5 con hidróxido de sodio.
2. Llevar a destilación, recoger el destilado en 50 ml de solución indicadora de ácido bórico, destilar hasta 250 ml.
3. El destilado titular con ácido sulfúrico 0.02N.

RESULTADOS DEL NITRÓGENO AMONICAL.

Tabla de resultados del análisis del afluente, efluente, arroyo y aguas abajo de la PTAR de la comunidad de San Andrés:

Tabla 5.6.
Resultados del nitrógeno amoniacal.

TABLA DE RESULTADOS.		
NITROGENO AMONIACAL (mg NA/lit)		
Muestra N°1	Entrada	41,39
	Reactor (ultima cámara).	40,97
	Efluente.	34,06
Muestra N°2	Entrada	62,35
	Reactor (ultima cámara).	78,60
	Efluente.	60,78
Muestra N°3	Arroyo	25,15
	Efluente.	55,02
	Aguas Abajo	27,25
Muestra N°4	Entrada	103,22
	Efluente.	19,39
	Aguas Abajo	58,16

Fuente: Elaboración propia con la información de los exámenes de muestra.

5.10.- NITRÓGENO ORGÁNICO.

Método: Kjeldahl

5.10.1.-DEFINICIÓN.

El nitrógeno orgánico se define funcionalmente como el nitrógeno ligado orgánicamente en el estado de oxidación. No incluye a todos los compuestos orgánicos del nitrógeno. Analíticamente el nitrógeno orgánico y el amoniacal se pueden determinar juntos y se ha denominado “Nitrógeno Kjeldahl”.

Preparación de la muestra: Homogenizar la muestra antes de empezar las mediciones.

Materiales y equipo.

- Equipo destilador.
- Matraces de 500 ml.
- Pipetas.
- Reactivos.
- Balones Kjeldahl

Procedimiento.

1. Al destilado que queda de haber realizado el nitrógeno amoniacal se le añade 25 ml de reactivo para la digestión, llevar a digerir hasta que salgan humos blancos, continuar hasta que en el balón queden 2 ml de una solución incolora, si por algún motivo no se pusiera transparente, entonces se vuelve a añadir 25 ml de reactivo de digestión y se continua la misma.
2. Una vez concluida la digestión, adicionar 250 ml de agua libre de amoniaco, 5 gotitas de fenolftaleína, 25 ml de solución de hidróxido de sodio – tiosulfato de sodio y piedras de ebullición.(si en el paso anterior añadimos 25 ml de reactivo de digestión para volver a digerir, entonces debemos agregar 25 ml mas de solución de hidróxido de sodio – tiosulfato de sodio, es decir se debe añadir los mismos volúmenes de reactivo para la digestión y de la solución de hidróxido de sodio – tiosulfato de sodio)
3. Llevar a destilación y recibir en 500 ml de solución indicadora de acido bórico hasta un total de 250 ml.
4. El destilado titular con acido sulfúrico 0,02 N

RESULTADOS DEL NITRÓGENO ORGANICO.

Tabla de resultados del análisis del afluyente, efluente, arroyo y aguas abajo de la PTAR de la comunidad de San Andrés:

Tabla 5.7.
Resultados del nitrógeno orgánico.

TABLA DE RESULTADOS.		
NITROGENO ORGANICO (mg NO/lit)		
Muestra N°1	Entrada	58,16
	Reactor (ultima cámara).	50,72
	Efluente.	16,24
Muestra N°2	Entrada	7,86
	Reactor (ultima cámara).	1,05
	Efluente.	5,24
Muestra N°3	Arroyo.	24,78
	Efluente.	9,43
	Aguas Abajo	20,96
Muestra N°4	Entrada	9,52
	Efluente.	8,40
	Aguas Abajo	0,56

Fuente: Elaboración propia con la información de los exámenes de muestra.

5.11.- FOSFORO TOTAL.

Método: Espectrofotometría

DEFINICIÓN.

El fósforo así como el nitrógeno, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización.

El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.

Preparación de la muestra: Homogenizar la muestra antes de empezar las mediciones.

Materiales y equipo.

- Equipo digestor.
- Matraces de 25,50 ml.
- Vasos graduados.
- Pipetas.
- Reactivos.
- Balones Kjeldahl

Procedimiento.

1. Tomar cierta cantidad de muestra, esto de acuerdo al porcentaje de fósforo que se crea que tenga la misma, mientras más contenido de fósforo menos será la cantidad de muestra que habrá que tomar.
2. Posteriormente añadir 1 ml de ácido sulfúrico concentrado y 5 ml de ácido nítrico concentrado, a cada balón, llevar a digerir hasta que salgan los vapores de la digestión y quede en el recipiente 2 ml aproximadamente de una solución incolora.
3. Añadir a cada balón 20 ml de agua destilada, una gota de fenolftaleína e hidróxido de sodio 6 N hasta que vire a rosado.
4. Llevar a balones de 100 ml, enrasar con agua destilada, debe quedar libre de color y turbidez. Si quedase el color rosado añádase solución de ácido fuerte gota a gota para decolorarla.
5. Adicionar 4 ml de reactivo molibdato I y 0,5 ml (10 gotas) de cloruro estagnoso I
6. Al cabo de los 10 minutos pero antes de los 12, mídase el color fotométricamente a 690 nm.

RESULTADOS DEL FOSFORO TOTAL

Tabla de resultados del análisis del afluente, efluente, arroyo y aguas abajo de la PTAR de la comunidad de San Andrés:

Tabla 5.8.
Resultados del fosforo total

TABLA DE RESULTADOS.		
FOSFORO TOTAL (mg P/lit)		
Muestra N°1	Entrada	3,40
	Reactor (ultima cámara)	2,95
	Efluente	6,30
Muestra N°2	Entrada	2,32
	Reactor (ultima de cámara)	2,30
	Efluente	2,85
Muestra N°3	Arroyo	0,62
	Efluente	0,67
	Aguas Abajo	0,75
Muestra N°4	Entrada	4,08
	Efluente	4,02
	Aguas Abajo	1,40

Fuente: Elaboración propia con la información de los exámenes de muestra.

5.12.- DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO.

Método: Volumetría.

DEFINICIÓN

Es la cantidad de oxígeno que utilizan los microorganismos para llevar a cabo la reducción de la materia orgánica

Todo organismo vivo necesita del oxígeno en una u otra forma para mantener su proceso metabólico, del cual obtiene la energía necesaria para su crecimiento y reproducción.

Aguas con alta demanda de oxígeno y por consiguiente bajo o nulo contenido de oxígeno disuelto, se asocian en general con aguas de mala calidad, en cambio aguas de baja o nula demanda de oxígeno y alto contenido de oxígeno, son consideradas como de buena calidad.

Materiales y equipo.

- Probeta graduada de 100, 200, 500 ml
- Frasco de vidrio de 500 ml (provisto con equipo)
- Tapón hermético de goma (provisto con equipo)
- Barra agitadora magnética
- Hidróxido de litio

Procedimiento

1. Colocar una barra agitadora magnética en cada botella de la muestra.
2. Echar la muestra en los frascos de vidrio.
3. Con el embudo añadir el contenido de una bolsa de hidróxido de litio en cada tapón hermético. Evitar que caiga en la muestra partículas de hidróxido de litio. Si ello ocurre, desechar la muestra y preparar otra.
4. Colocar el equipo en la incubadora a una temperatura de 20°C.
5. Lectura al cabo de los 5 días.

RESULTADOS DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO. (DBO5)

Tabla de resultados del análisis del afluente, efluente, arroyo y aguas abajo de la PTAR de la comunidad de San Andrés:

Tabla 5.9
Resultados del dbo5

TABLA DE RESULTADOS.		
DBO5 (mg/lit)		
Muestra N°1	Entrada	162,0
	Reactor.	40,5
	Efluente.	42,7
Muestra N°2	Entrada	204,0
	Reactor	49,3
	Efluente	52,0
Muestra N°3	Arroyo	25,7
	Efluente	20,2
	Aguas Abajo	43,2
Muestra N°4	Entrada	296,0
	Efluente	48,7
	Aguas Abajo	38,9

Fuente: Elaboración propia con la información de los exámenes de muestra

5.13.- DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)

Método: Espectrofotometría.

DEFINICIÓN

La DQO es una medida del oxígeno equivalente al contenido de materia orgánica de una muestra que es susceptible a oxidación por un oxidante químico fuerte. La oxidación bajo ciertas condiciones de acidez, temperatura y tiempo, transforma la materia orgánica en dióxido de carbono y agua.

Materiales

- Pipetas volumétricas de 2 ml.
- Tubos de digestión de aprox. 20 ml ya listas con el reactivo.
- Toallas de limpieza (clinex – papel higiénico suave).
- Espectrofotómetro.
- Reactor DQO
- Termómetro (parte del reactor)

Procedimiento.

1. Calentar el digestor hasta una temperatura de 145 °C
2. Echar 2 ml de muestra en los tubos ya preparados con el reactivo.
3. Llevar al digestor por un lapso de 2 hrs.
4. Una vez enfriado leer en el espectrofotómetro.

RESULTADOS DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO.

Tabla de resultados del análisis del efluente, arroyo y aguas abajo de la PTAR de la comunidad de San Andrés:

Tabla 5.10
Resultados de la demanda química de oxígeno dbo5

TABLA DE RESULTADOS.		
DQO (mg/lit)		
Muestra N°1	Entrada	317
	Reactor(ultima cámara)	233
	Efluente	583
Muestra N°2	Entrada	398
	Reactor(ultima cámara)	91
	Efluente	13
Muestra N°3	Arroyo	76
	Efluente	127
	Aguas Abajo	120
Muestra N°4	Entrada	550
	Efluente	193
	Aguas Abajo	69

Fuente: Elaboración propia con la información de los exámenes de muestra

5.14.- ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

5.14.1.- COLIFORMES TOTALES

El grupo de los coliformes totales incluye a bacterias aerobias y anaerobias facultativas, G (-) no formadoras de esporas, con forma de bacilos, que fermentan la lactosa con producción de gas dentro de las 48 horas a la temperatura de 35°C. A este grupo pertenecen la E.coli. Enterobacter Klebsiella y Citrobacter. Diariamente los humanos y los animales descargan a través de sus heces fecales gran número de estos microorganismos (2×10^9 CT/persona por día) pero no todos los miembros de este heterogéneo grupo de microorganismo son de origen fecal. Este grupo de microorganismo indicador es utilizado para determinar la calidad de un agua potable, y aguas de recreación. Los coliformes totales en las plantas de tratamiento de agua son utilizados como indicadores de la eficiencia de la planta.

5.14.2.- COLIFORMES FECALES

A este grupo pertenecen los coliformes que son de origen fecal, e incluyen a aquellos microorganismos que tienen la característica de fermentar la lactosa a la temperatura de 44.5° C. La presencia de coliformes fecales indica la presencia de material fecal procedente del hombre o de los animales de sangre caliente; sin embargo, mediante esta técnica no es posible diferenciar entre la de origen humano o la de los animales. Ellos tienen como inconveniente que bajo condiciones adecuadas, pueden crecer en las aguas y las aguas residuales.

Nota: Los siguientes resultados fueron obtenidos directamente del CEANID.

Tabla 5.11
Análisis microbiológicos

TABLA DE RESULTADOS		
ANALISIS MICROBIOLOGICOS		
Muestra Nº 1	Coliformes Totales.	Coliformes Fecales.
Entrada	1.6×10^7	1.7×10^6
Reactor(ultima camara)	9.0×10^4	4.0×10^4
Efluente.	1.6×10^6	3.5×10^5
Muestra Nº 2	Coliformes Totales.	Coliformes Fecales.
Entrada	1.6×10^7	3.5×10^6
Efluente.	1.6×10^6	3.0×10^5
Arroyo	1.3×10^4	5.0×10^3

Fuente: Resultados del Laboratorio del CEANID.

CAPITULO VI

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

6.1.- INTRODUCCIÓN:

En el presente capítulo se hará un análisis de la planta, realizando una comparación entre el diseño inicial del proyecto y el ejecutado (planos As-built), además se efectuará la caracterización de las aguas residuales y la contrastación de parámetros medidos en el laboratorio, con el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley 1333 de medio ambiente.

6.2.- DEMANDAS CON RESPECTO A LA CALIDAD DEL EFLUENTE DE LA PLANTA

En Bolivia existe un reglamento en materia de contaminación hídrica, basado en la Ley 1333 de Medio Ambiente, que determina los parámetros de calidad de un curso de agua en base a su uso.

Cuadro 6.1.

Valores límite para el efluente de PTAR.
(Para cuerpos receptores no clasificados)

Valores límite para el efluente de una PTAR.		
Parámetro.	Valor diseño.	Unidad.
DBO5	80	mg /lt
DQO	250	mg /lt
Coliformes fecales.	1.0×10^3	CF / 100 ml

Fuente: Texto de recomendación para la elección de PTAR para Bolivia Dr.Ing. Wolfgang Wagner

Es necesario, determinar las características del cuerpo receptor (arroyo, río u otros) y el uso previsto del agua tratada (Por ejemplo consumo humano, riego, industria, ganadería y otros).

Cuadro 6.2. Composición típica de las aguas residuales domésticas sin tratar

PARAMETROS.		CONCENTRACIONES.		
Contaminantes.	Unidad.	Débil.	Media	Fuerte
Sólidos Totales.(ST)	mg/lt	350	720	1200
Sólidos sedimentables.	ml/lt	5	10	20
Demanda Bioquímica de oxígeno a los 5 días,20 °C.	mg/lt	110	220	400
Demanda Química de oxígeno. DQO	mg/lt	250	500	1000
Nitrógeno total. N	mg/lt	20	40	85
Nitrógeno orgánico.	mg/lt	8	15	35
Fosforo total. P	mg/lt	4	8	15
Coliformes totales.	n/100ml.	$10^6 - 10^7$	$10^7 - 10^8$	$10^8 - 10^9$

Los valores deben aumentarse en función de la cantidad presente en las aguas de abastecimiento domésticos.

Nota: $1.8 (\text{grados C}) + 32 = \text{grados F}$.

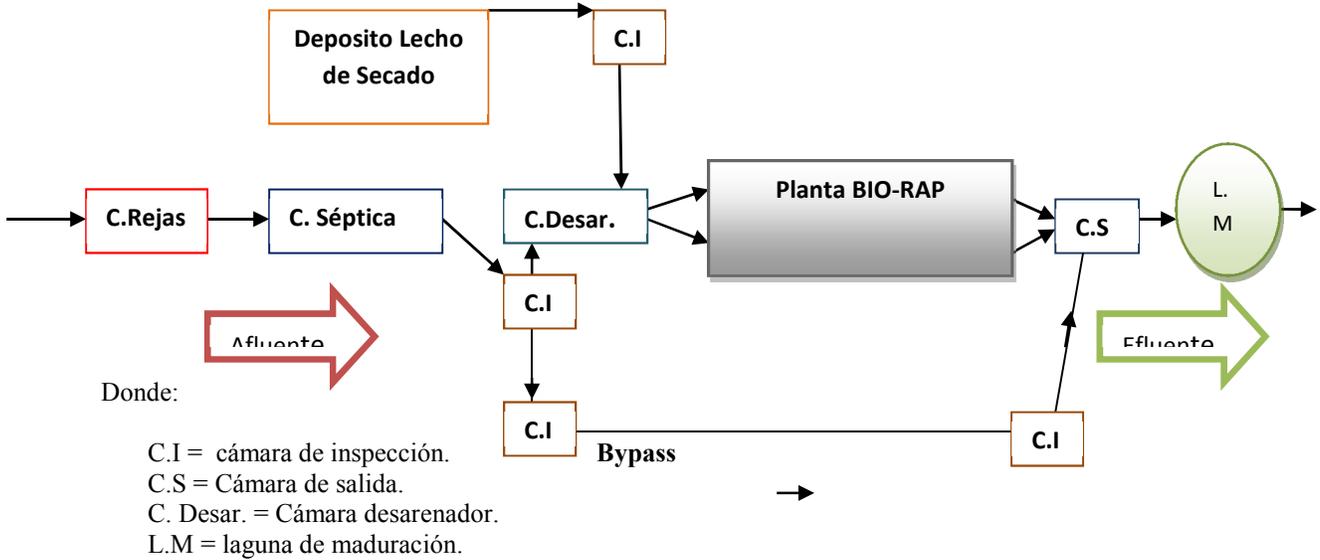
Fuente: Larry W. Canter. Manual de evaluación de impacto ambiental.

6.3.- EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO ACTUAL.

ESQUEMA GENERAL DEL DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE SAN ANDRÉS

En un inicio la planta fue diseñada de la siguiente manera:

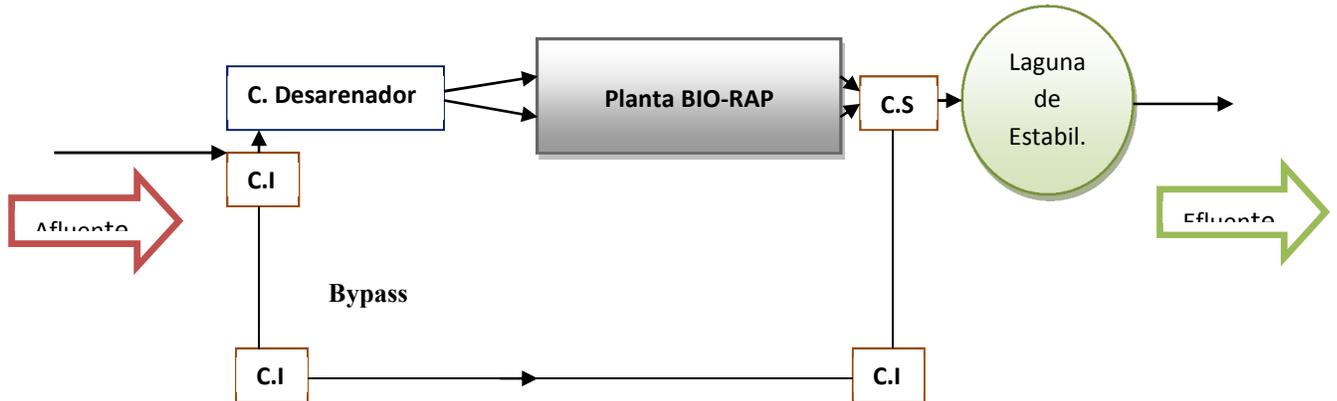
Figura 6.1. Esquema de Diseño Original.



6.4.- ESQUEMA DE DISEÑO ACTUAL. (Planos AS-BUILT)

En la actualidad el sistema de tratamiento está constituido por los siguientes componentes:

Figura 6.2. Esquema de diseño actual.



Dónde:

- C.I = Cámara de inspección.
- C. Desar. = Cámara desarenador.
- L.M = Laguna de maduración.
- C.S = Cámara de salida.

Como podemos observar se omitieron algunos de los componentes del diseño original, que fueron rediseñados en el contrato modificatorio, como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 6.3. Obras concluidas de la PTAR de San Andrés.

Diseño inicial de la PTAR	Obras concluidas de la PTAR	Obras no concluidas de la PTAR.
Cámara de rejillas.		NO
Cámara séptica.		NO
Cámara desarenador de ingreso.	SI	
Planta Bio- Rap	SI	
Cámara de salida.	SI	
Cámaras de inspección.	SI	
Laguna de estabilización de tierra.	SI	
Deposito lecho de lodos.		NO

Fuente: Elaboración propia.

6.5.- EFECTOS QUE OCASIONA EL HABER OMITIDO CIERTOS ELEMENTOS (en la etapa constructiva).

6.5.1.- CÁMARA DE REJAS.

- Al ingresar material flotante obstruyeron una de las tuberías de ingreso al reactor (el izquierdo), ocasionando una mala dispersión y una velocidad de ingreso excesiva. Además se observó en el reactor material de higiene, plásticos, trapos, etc. Debido a la omisión de la cámara de rejillas.
- Al llegar materiales flotantes a la laguna de estabilización como ser los plásticos, que impiden el ingreso de los rayos UV afectando en el proceso de eliminación de patógenos.

En estudios específicos de algunos investigadores, se encontró que el daño ocasionado por la luz a los coliformes fecales, proceso conocido como foto oxidación, es completamente dependiente del oxígeno. Este mecanismo actúa sinérgicamente con un pH elevado, tal vez debido a que las formas tóxicas dañan la membrana interna de los coliformes fecales. No es sorprendente encontrar que la foto oxidación se vea afectada por la luz, pH y la concentración del oxígeno disuelto (Curtis et al. 1992).

Curtis concluye también que la luz destruye más coliformes fecales en lagunas turbias que en lagunas claras, si las lagunas turbias tienen un pH suficientemente alto y oxígeno disuelto.

6.5.2.- CÁMARA SÉPTICA

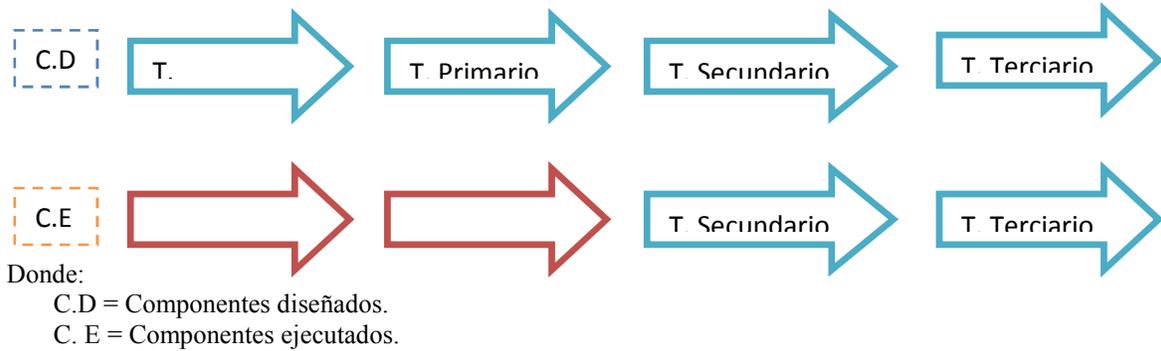
- En la cámara séptica se producen: retención de espumas, sedimentación de sólidos y digestión de materia orgánica sedimentada en exceso.
- La ausencia de la cámara séptica ocasiona el ingreso de sólidos suspendidos, que disminuyen la eficiencia del tratamiento en el reactor.
- En la cámara se retiene hasta el 80 % de los sólidos que arrastra el agua residual, los que son digeridos por las bacterias que allí se desarrollan, la omisión de dicha cámara incide en la colmatación de sedimentos en las cámaras del reactor.

6.5.3.- DEPOSITO LECHO DE SECADO

- No hay un espacio específico para el tratamiento de los lodos extraídos, en el mantenimiento del reactor Bio– Rap.
- La falta del lecho de secado para extraer y tratar, el material sedimentado en el reactor, impedirá efectuar el mantenimiento respectivo; puesto que si se tiende dicho material sobre la superficie del terreno, contaminara el suelo y a las aguas subterráneas por infiltración.

En resumen el sistema de tratamiento en el diseño original, contemplaba todos los componentes necesarios para depurar el agua residual, tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y finalmente el tratamiento terciario, que en la etapa constructiva no se efectuaron en su totalidad debido al contrato modificadorio (incremento de costo) que se explicó en el capítulo III, afectando en la calidad de efluente puesto que se suprimieron el tratamiento preliminar y el primario.

Figura 6.3. Componentes diseñados y ejecutados



6.6.- EVALUACIÓN DE EFICIENCIAS

Para determinar la evaluación de eficiencias, primeramente realizaremos la caracterización de las aguas residuales de la Comunidad de San Andrés y verificaremos la validación de cada uno de los parámetros medidos, comparando con las diferentes Tablas extraídas de la Norma Boliviana y la colombiana.

6.6.1.- CARACTERIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES

Una correcta caracterización de las aguas residuales arroja información valiosa para el análisis de alternativas de tratamiento y para soportar las decisiones que se toman en el diseño y dimensionamiento de las unidades de tratamiento.

Cuando se proyecta una instalación de tratamiento de aguas residuales domesticas es importante hacer una determinación completa de los sólidos presentes en el agua y la determinación de DBO y DQO.

6.6.2.- VALIDACIÓN DE DATOS

Para validar los resultados obtenidos en el laboratorio se consideró la información de la siguiente tabla:

Tabla.6.1. Características de los compuestos más típicos en un agua residual doméstica bruta

Tipo de parámetro	Parámetro	Total
Físico	Sólidos Totales	300 mg/lit
	Temperatura	10 - 20°C
Químico	DBO ₅	250 mg/lit
	DQO	500 mg/lit
	Nitrógeno Total	40 mg/lit
	Fosforo Total	9 mg/lit
Microbiológico	Coliformes totales	1x10 ⁸ - 1x10 ⁹ N/lit
	coliformes fecales	1x10 ⁹ - 1x10 ¹⁰ N/lit

Fuente: Ingeniería Ambiental Volumen II Gerard Kiely

Como se observa en la Tabla 6.2, existe mucha similitud entre los valores obtenidos del agua residual domestica bruta de la comunidad de San Andrés con los de la Tabla 6.1 lo cual nos indica que los datos conseguidos de los diferentes ensayos están dentro los valores característicos de un agua residual domestica bruta.

Tabla6.2. Validación del agua residual bruta de San Andrés.

Tipo de parámetro	Parámetro	Total	Afluente de San Andrés	
			Total	Validación
Físico	Sólidos Totales	300 mg/lit	388 mg/lit	Aceptable
Químico	DBO ₅	250 mg/lit	296 mg/lit	Aceptable
	DQO	500 mg/lit	550 mg/lit	Aceptable
	Nitrógeno Total	40 mg/lit	119,84 mg/lit	No aceptable
	Fosforo Total	9 mg/lit	4,08 mg/lit	Aceptable
Microbiológico	Coliformes totales	1x10 ⁸ - 1x10 ⁹ N/lit	1,6 x10 ⁸ N/lit	Aceptable
	Coliformes fecales	1x10 ⁹ - 1x10 ¹⁰ N/lit	2,6x10 ⁷ N/lit	Aceptable

Fuente: Elaboración Propia.

6.6.3.- CONDICIONES INICIALES

La caracterización previa de afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la PTAR de la Comunidad de San Andrés nos servirá para determinar las condiciones de operatividad de la planta.

Tabla.6.3. Resultados físico- químicos agua residual

Tipo de Parámetro	Características del agua residual bruta de San Andrés.		
	Parámetro	Afluente	Efluente
Físico	pH	7,45	7,34 mg/lit
	S. Sedimentables.	0,55 mg/lit	0,1 mg/lit
	Sólidos. Totales	388 mg/lit	228 mg/lit
Químico	DBO5 (mg /lit)	296 mg/lit	48,7 mg/lit
	DQO (mg/lit)	550 mg/lit	193 mg/lit
	Nitrógeno Total	119,84 mg/lit	64,45 mg/lit
	Fosforo Total	4,08 mg/lit	4,02 mg/lit
Microbiológico	Coliformes Totales	1,6 x10 ⁷ N/ 100ml	1,6 x10 ⁶ N/ 100ml
	Coliformes Fecales	2,6x10 ⁶ N/100ml	3,25x10 ⁵ N/ 100ml

Fuente: Elaboración propia.

A partir de estos datos se determinó la carga orgánica, utilizando un caudal promedio del afluente a la PTAR de San Andrés, con un valor de 0.003 lt/s obtenido a través del método volumétrico como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6.4. Determinación del caudal

Caudal			
Volumen (ml)	Tiempo (s)	Q= V/t (ml/s)	Q= V/t (l/s)
830	267,7	3,1005	0,0031
828	265,6	3,1175	0,0031
832	268	3,1045	0,0031
831	266,9	3,1135	0,0031
Caudal promedio		3,1090	0,0031

Fuente: Elaboración Propia

CALCULO DE LA CARGA CONTAMINANTE “C”

$$C = Q \left(\frac{lt}{s} \right) * Concentracion \left(\frac{Kg}{lt} \right) * 86400/dia$$

Tabla 6.5. % de Remoción del agua residual

Parámetro	Q (lt/s)	C Afluente (kg/d)	C Efluente (kg/d)	% de remoción
S. Sedimentables	0,003	0,01	0,00	81,82
S. Totales	0,003	10,06	5,91	41,24
DBO	0,003	7,67	1,26	83,55
DQO	0,003	14,26	5,00	64,91
Nitrógeno Total	0,003	3,11	1,67	46,22
Fósforo Total	0,003	0,11	1,47	1,47
Coli. Fecal	0,003	6,74E+09	8,4 E+08	87,50
Coli. Total	0,003	4,15E+10	4,15E+09	90,00

Fuente: Elaboración Propia

La Fig.6.4, muestra la capacidad de tratamiento del sistema de tratamiento de la comunidad San Andrés representado con el % de remoción o eliminación de la materia orgánica y la colimetría.

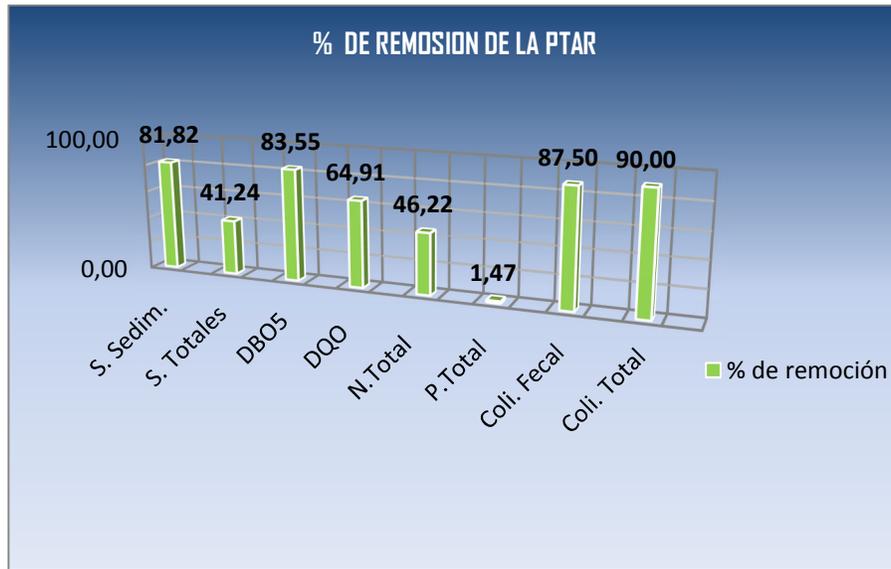


Figura. 6.4. % de Remoción de la PTAR de San Andrés

6.6.4.- APORTES PER CÁPITA DEL AGUA RESIDUAL DE SAN ANDRÉS

Para la validación de los valores per cápita del agua residual, calculada de la PTAR de la comunidad de San Andrés; se tomó como referencia la Tabla 6.6 presentada en la Norma RAS 2000 de Colombia y el valor de DBO obtenido por COSAALT.

Tabla 6.6. Aportes per Cápita para aguas residuales domésticas

Parámetro	Intervalo	Valor Sugerido
DBO 5 g/hab/día	25 - 80	50
S. en suspensión g/hab/día	30 -100	50
Nitrógeno Total g/hab/día	9,3 – 13,7	12
Coli. Totales N/hab/día	2×10^8 – 2×10^{11}	2×10^{11}

Fuente: RAS 2000 Norma Colombiana

Como se observa en la siguiente los valores obtenidos de los cálculos, están dentro los rangos establecidos de la Tabla6.6.

Tabla 6.7. Valores per cápita de Agua residual de San Andrés

Parámetro	C. Afluyente (g/hab/día)	Valores per Cápita			
		Ras 2000	Tarija COSAALT	San Andrés	
S. Sedim.	0,07				
S. Totales	47,44	50 g/hab/día		47,44	Aceptable
DBO5	36,19	50 g/hab/día	45 g/hab/día	36,19	Aceptable
DQO	67,25				
N.Total	14,65	12 g/hab/día		14,65	Aceptable
P.Total	0,50				
Coli. Fecal	3,18E+10				
Coli. Total	1,96E+11	2x10 ¹¹ N/hab/día		1,96E+11	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

CONCENTRACIÓN DEL AFLUENTE

Realizando una verificación de los resultados obtenidos en el laboratorio, con el Cuadro 6.2 de la composición típica de las aguas residuales sin tratar; se obtiene el tipo de concentración del afluyente de la PTAR de la comunidad de San Andrés que va de una concentración media a una fuerte, considerando los parámetros de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Nitrógeno Total y Fósforo Total.

Cuadro 6.4. Concentración del Efluente de la PTAR

PARAMETROS.		Afluente	CONCENTRACIONES.			Concentración
Contaminantes.	Unidad.		Débil.	Media	Fuerte	
Sólidos Totales.(ST)	mg/lit	388	350	720	1200	Débil
Sólidos sedimentables.	ml/lit	0.55	5	10	20	Débil
Demanda Bioquímica de oxígeno a los 5 días,20 °C.	mg/lit	296	110	220	400	Media
Demanda Química de oxígeno. DQO	mg/lit	550	250	500	1000	Fuerte
Nitrógeno total. N	mg/lit	119.84	20	40	85	Fuerte
Fosforo total. P	mg/lit	4.08	4	8	15	Media
Coliformes totales.	n/100ml.	2.6 x10⁶	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁸ - 10 ⁹	Débil

Fuente: Elaboración propia.

6.6.5.- ANÁLISIS DE ALGUNOS PARÁMETROS

PARÁMETRO DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)

La Fig. 6.11 muestra el comportamiento en la remoción de DQO, donde se observa mucha diferencia entre las curvas de las muestras N°1 y N°2 puesto que en la primera en vez de reducir la DQO se vio un aumento, debido a que la primera muestra presentaba bastante materia orgánica a diferencia de la segunda muestra que recibió una carga de 398 mg/lit de DQO y disminuyó a 13 mg/lit en la descarga.

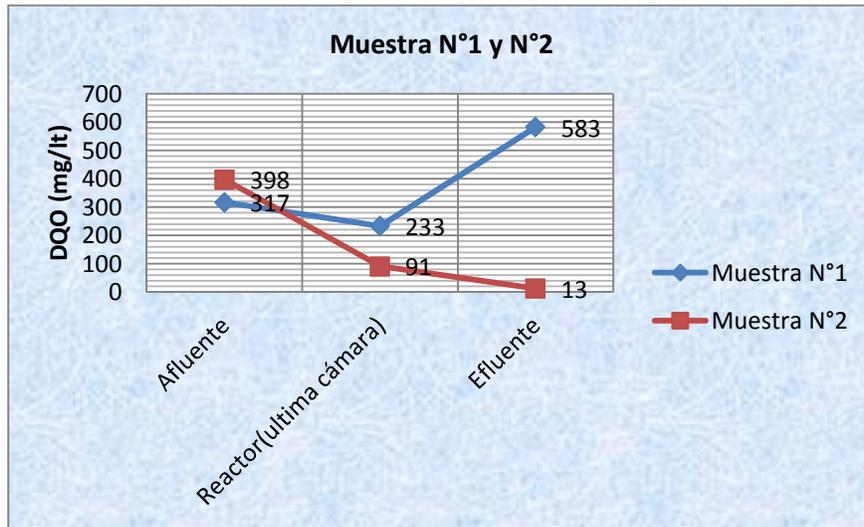


Figura. 6.5. Demanda química de oxígeno

PARÁMETRO DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO5)

La DBO5 indica la cantidad de materia orgánica presente en el agua entre las que se encuentran proteínas, carbohidratos, grasas y aceites; es uno de los principales parámetros para determinar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales.

En la Fig. 6.5 de la muestra N° 2 se observa que el efluente ingresa con una media con una media de 296 mg/lt. de DBO5 y se reduce a 48.70 mg/lt en el efluente, convirtiendo a este tratamiento con reactores uno de los más eficientes en remoción de DBO5.

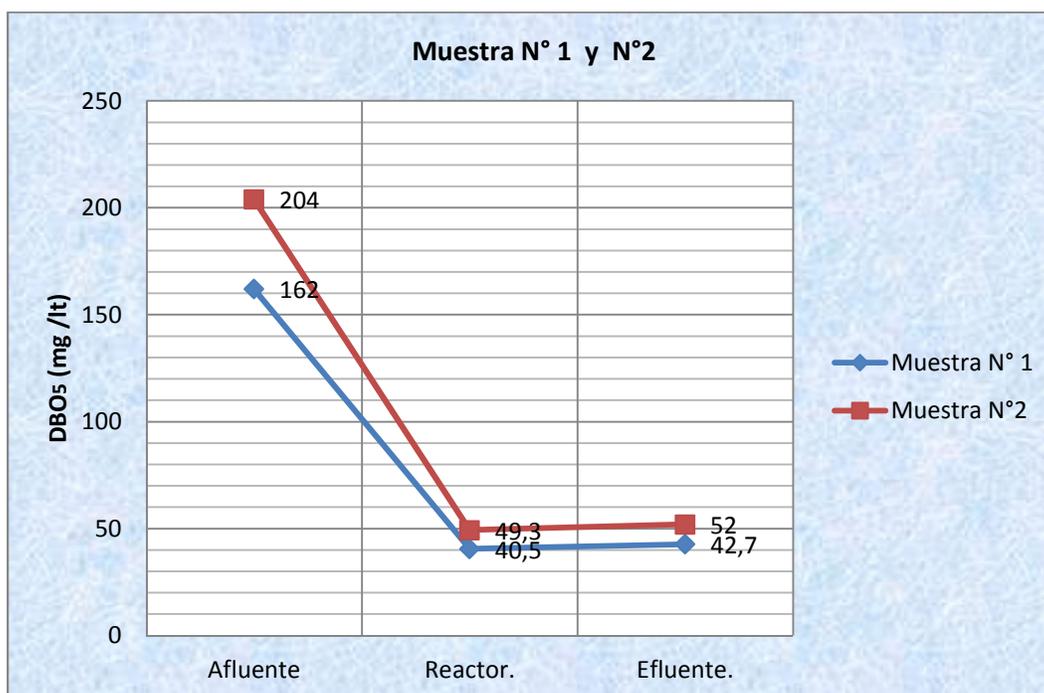


Figura. 6.6. Demanda bioquímica de oxígeno

ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD

En procesos de depuración de agua residual, es importante la relación que existe entre la DBO/DQO. El cociente de estos factores nos dará una idea de la capacidad del agua para ser degradada biológicamente. Si tenemos un factor DBO/DQO superior a 0,6 implica un agua muy biodegradable, siendo totalmente biodegradable con una relación de 1, cuando la DQO es igual que la DBO.

También puede darse el caso de aguas residuales muy poco biodegradables con relaciones de DBO/DQO menores de 0,2. En este caso tenemos un problema ya que el efecto de las depuradoras biológicas convencionales utilizadas habitualmente para aguas residuales urbanas no producirá el efecto deseado ya que las bacterias no podrán digerir la materia presente en el agua. Fuente: HIDRITEC publicada 040112.

Tabla 6.8. Índice de Biodegradabilidad

N° Muestra	AFLUENTE			Biodegradable	No biodegradable
	DBO5 mg/lt	DQO mg/lt	DBO5/DQO	DBO5/DQO > 0,6	DBO5/DQO < 0,2
Muestra N°1	162	317	0,5	Biodegradable	-
Muestra N°2	204	398	0,5	Biodegradable	-
Muestra N°4	296	550	0,5	Biodegradable	-

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 6.8 el afluente de la PTAR tiene contaminantes de naturaleza biodegradable que puede ser tratada con este tipo de reactor.

PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Las Figuras 6.7 y 6.8 presentan la remoción de coliformes totales y fecales, que se obtuvieron de los ensayos realizados durante este estudio, en la que se observa un incremento de coliformes totales y fecales en el efluente.

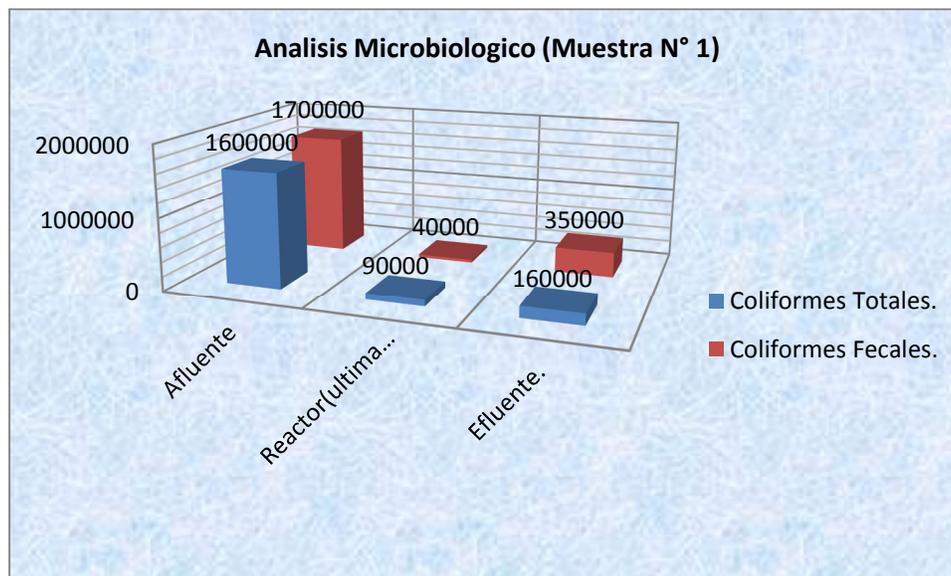


Figura. 6.7. Análisis microbiológico Muestra N°1

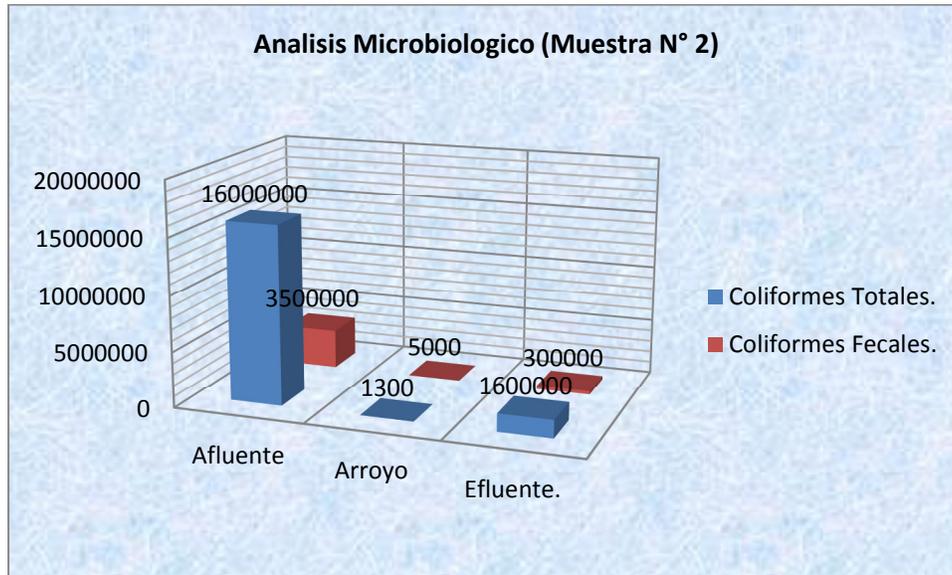


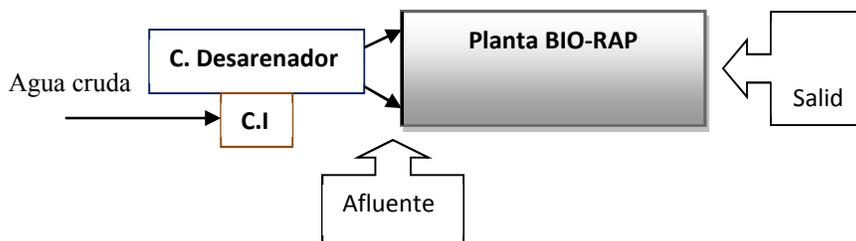
Figura 6.8. Análisis microbiológico Muestra N°2

6.6.6.- EVALUACIÓN DE EFICIENCIAS DE LA PTAR

6.6.6.1.- Planta BIO – RAP (reactor anaeróbico a pistón)

Para el tratamiento de aguas residuales el reactor anaerobio de flujo a pistón (RAP), genera muchos inconvenientes ,dentro de los cuales se puede mencionar, generación de olores, limpieza difícil y deficiencia en la remoción de nutrientes como ser el nitrógeno y fosforo.(Metcalf,1998). La finalidad del reactor anaeróbico a pistón, es remover el material orgánico y en suspensión, a través de procesos biológicos, aprovechando la acción de microorganismos que en su proceso de alimentación degradan la materia orgánica.

Figura 6.9. Punto de análisis Bio-Rap



Donde: CI = Cámara de inspección.

Después de realizar los ensayos con muestras del afluente y de la última cámara del reactor, se determinó el % de remoción en la siguiente tabla:

Tabla 6.9. Eficiencia del reactor BIO-RAP

TABLA DE RESULTADOS			
PARAMETRO	Afluente	Salida reactor	% de Remoción
pH	7.45	7.16	3.89
S. Sedimentables. (mg/lit)	0.55	0.2	63.64
Turbiedad.(UNT)	184	76	58.70
DBO5 (mg/lit)	296	44.9	84.83
S. Totales (mg/lit)	388	248	36.08
Nitrógeno Total. (mg NT/lit)	119.84	85.67	28.51
Fosforo Total (mg P/lit)	4.08	2.95	27.70
DQO (mg/lit)	550	162	70.55
Coli. Fecal	2.6×10^6	4×10^4	98.46

Fuente: Elaboración propia

La Fig. 6.9 representa una comparación entre los valores obtenidos del afluente y salida del reactor (última cámara), donde se ve una reducción gradual de todos los componentes del agua residual con lo que se concluye que el reactor Bio – Rap efectivamente está tratando esas aguas.

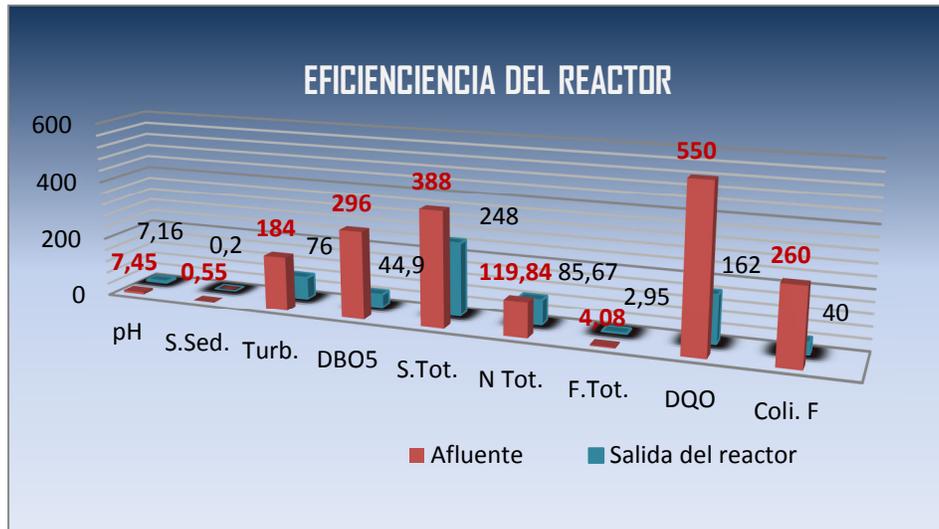


Figura. 6.10. Tratamiento del reactor BIO -RAP

En la fig. 6.10 se muestra el porcentaje de remoción del reactor, donde el parámetro que fue tratado con mayor eficiencia fue la DQO con un 70.55%, DBO5 con un 84.8 % y los coliformes totales con un 98.46 %, lo que nos indica que el reactor está funcionando.



Figura 6.11. %de Remoción del reactor BIO-RAP

6.6.6.2.- LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN

Con los valores obtenidos se evaluó el % de remoción de la laguna de estabilización considerando los resultados de la última cámara del reactor y del efluente.

Figura 6.12. Punto de Análisis de L.E.

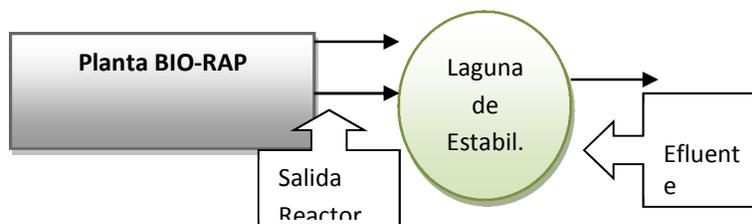


Tabla 6.10. Eficiencia de la laguna de estabilización (Tipo facultativa)

TABLA DE RESULTADOS			
PARAMETRO	Reactor.	Efluente.	% de Remoción
pH	7.16	7.34	Aumenta
S. Sedimentables. (mg/lit)	0.2	0.1	50,00
Turbiedad.(UNT)	76	66	13,16
DBO5 (mg/lit)	44.9	48.7	Aumenta
S. Totales (mg/lit)	248	228	8,06
Nitrógeno Total. (mg NT/lit)	85.67	64.45	24,77
Fosforo Total (mg P/lit)	2.95	4.02	Aumenta
DQO (mg/lit)	162	193	Aumenta
Coli. Fecal	4.0×10^4	3.25×10^5	Aumenta

Fuente: Elaboración Propia.

La fig. 6.21 representa una comparación entre los valores obtenidos afluente (última cámara del reactor) y la laguna de estabilización, donde se ve una reducción no muy relevante en los sólidos sedimentables, totales, turbiedad, y nitrógeno total; y un aumento considerable de

Demanda química de oxígeno (DQO), coliformes fecales, fosforo total, Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y pH. Concluyendo que la laguna de estabilización (tipo facultativa) encargada de eliminar los patógenos existentes en el agua residual, no está cumpliendo sus funciones más al contrario está incrementando estos valores debido a diferentes causas.

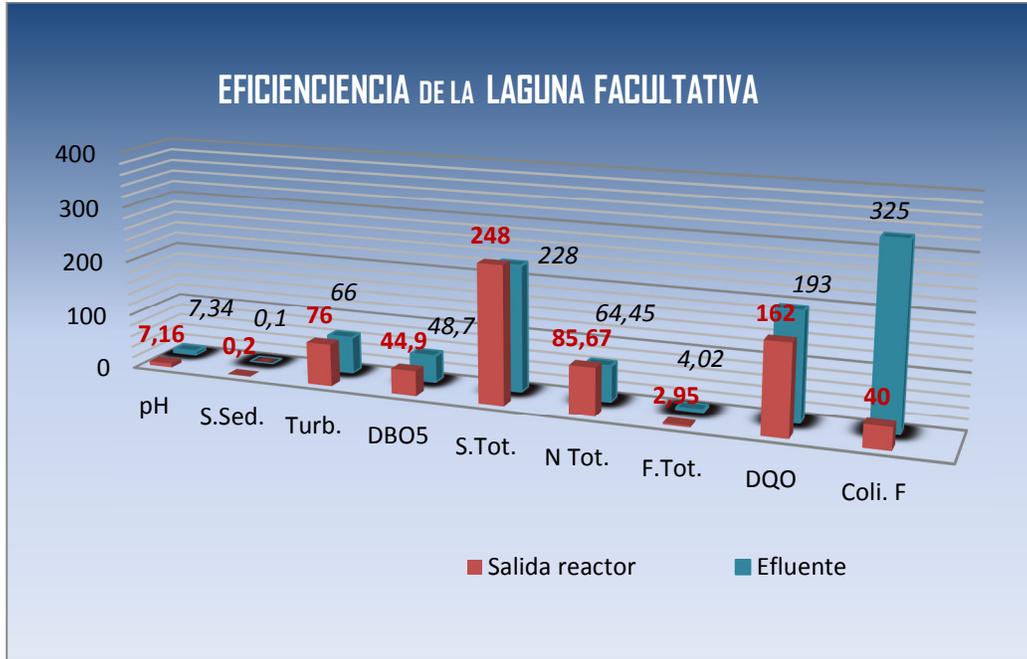


Figura 6.13. Tratamiento Laguna Facultativa

En la Figura 6.22 se observa con mayor claridad los % de remoción de la descarga en el cuerpo receptor, donde tenemos en algunos parámetros 0% de remoción, por la contaminación que existe en la laguna de estabilización.

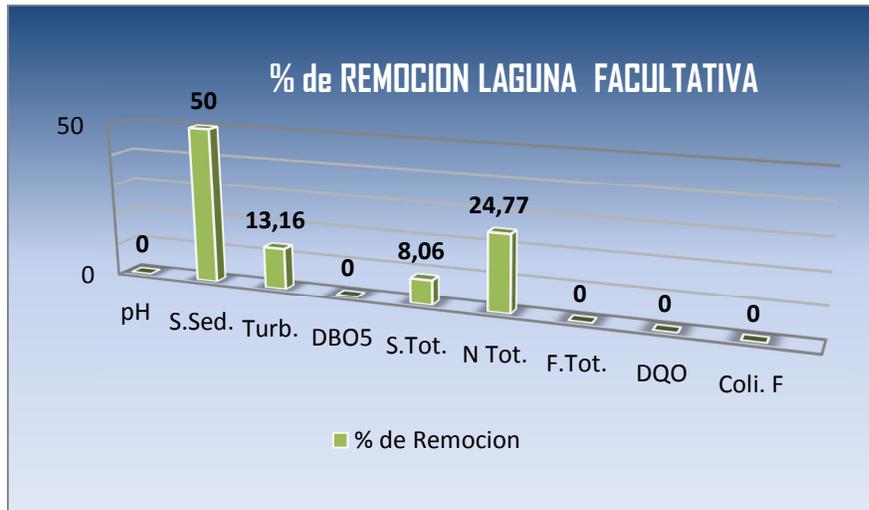


Figura 6.14. % de Remoción Laguna Facultativa.

6.6.6.3.- PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A continuación realizaremos el análisis de eficiencia de la Planta de tratamiento de aguas residuales de la Comunidad de San Andrés como se muestra en la Fig.6.23.

Figura 6.15. Punto de Análisis PTAR

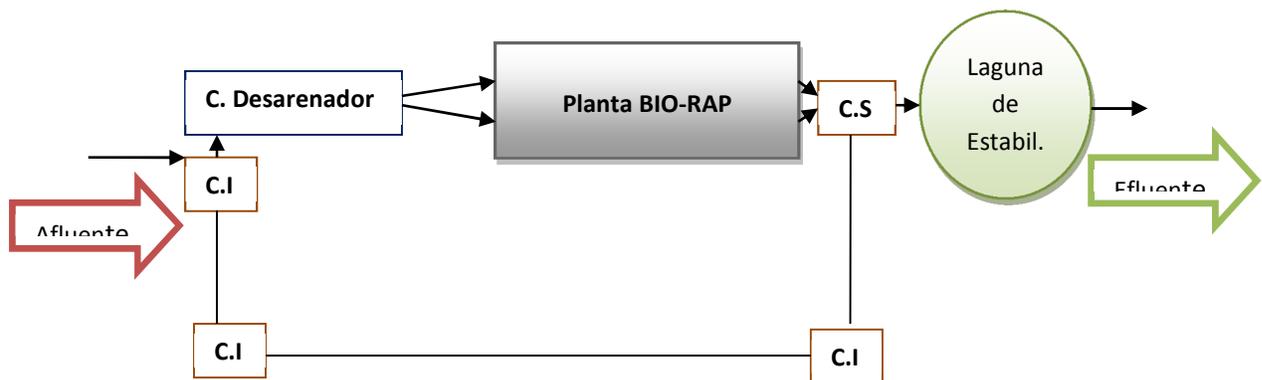


Tabla 6.11. Eficiencia de la PTAR

Eficiencia de la PTAR			
Parámetro	Afluente	Efluente	%de Remoción
pH	7.45	7.34	1.48
S. Sedimentables. (mg/lit)	0.55	0.10	82
Turbiedad.(UNT)	184	66	64.13
DBO5 (mg/lit)	296	48.70	83.55
S. Totales (mg/lit)	388	228	41.24
Nitrógeno Total.(mg NT/lit)	119.84	64.45	94.62
Fosforo Total.(mg P/lit)	4.08	4.02	1.47
DQO (mg/lit)	550	193	64.91
Coli. Fecal	2.6×10^6	3.25×10^5	87.45

Fuente: Elaboración Propia

En la Fig. 6.13 se representa una comparación entre los valores del afluente y efluente, donde se puede apreciar una reducción de los diferentes componentes del agua residual, donde se presenta un mínimo de remoción del PT (fosforo total) de 4.08 a 4.02 mgP/lit. y un máximo en la DQO de 550 a 193 mg/lit.

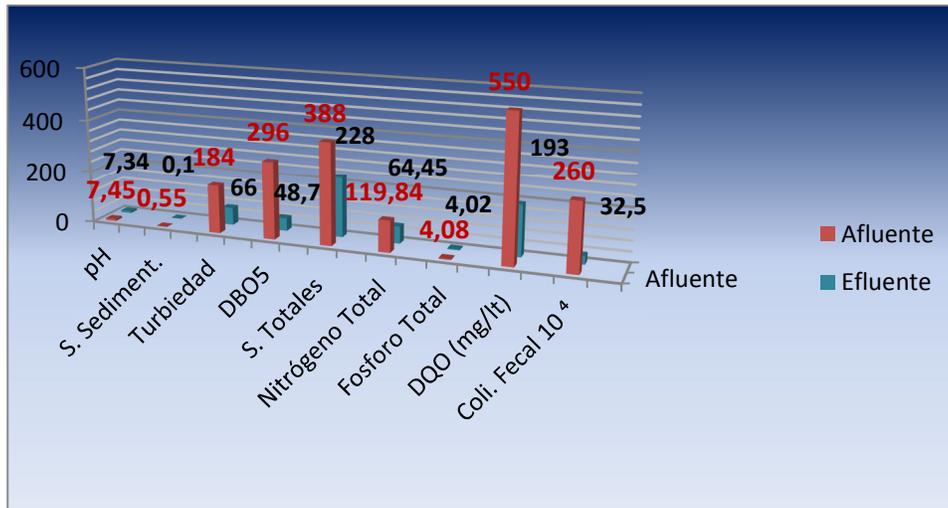


Figura 6.16. Tratamiento de la PTAR de San Andrés

En la Fig. 6.14 se representa una gráfica de barras del % total de remoción de la PTAR, donde se tiene un máximo de 94.62% en el tratamiento del NT (nitrógeno total) y un mínimo 1.47 % en el tratamiento de PT (fósforo total), de donde podemos concluir que la PTAR está tratando el afluente con una eficiencia promedio de 58 %.

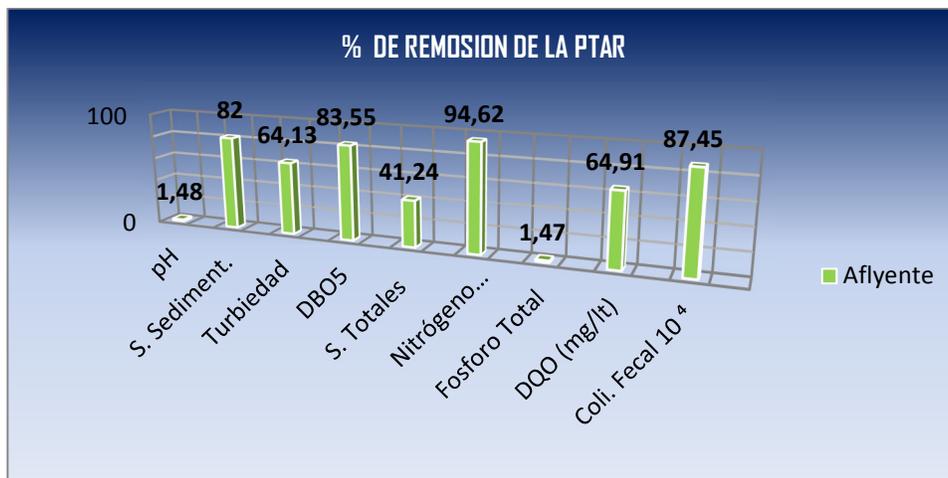


Figura 6.17. % de Remoción de PTAR de San Andrés

6.6.7.- VERIFICACIÓN DEL EFLUENTE.

6.6.7.1.- CLASIFICACIÓN DEL CUERPO RECEPTOR

El Arroyo (cuerpo receptor de la descarga de la PTAR de la comunidad de San Andrés) no se encuentra clasificado por MDSMA según lo indica el Reglamento, entonces se procedió a la verificación de los parámetros obtenidos con el Cuadro A-2 del Reglamento en Contaminación Hídrica de la Ley de Medio Ambiente 1333 para determinar la posible clasificación del cuerpo receptor. (Ver en anexos la Tabla A-2).

Figura 6.18. Punto de Análisis cuerpo receptor.

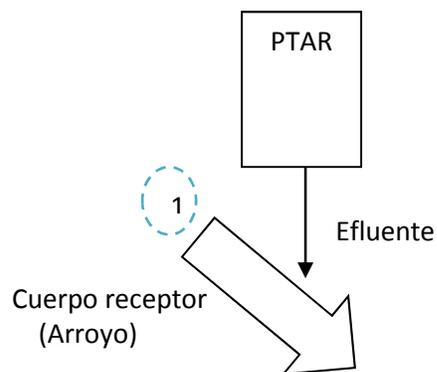


Tabla 6.12. Clasificación del arroyo

ARROYO				
Nº	Parámetro	Análisis	Ley del Medio A.	CLASE
1	pH	7,11	6 a 8,5	A
2	Turbidez	19	<50	B
3	Sólidos Sedimentables	0,1	<10	A
4	Sólidos Totales	248	1000	A
5	Nitrógeno Total	2,1	5 c. N	A
8	Fósforo Total	0,62	0,5 - 1	B - C
9	DBO ₅	25,7	<30	D
10	DQO	76	<60	D
12	Coliformes Fecales	5 x 10 ³	<50000 a <1000	C

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Para clasificar un curso de agua es necesario considerar más de una muestra (compuestas de 24 hrs) y en diferentes puntos, a cargo de autoridades competentes y evaluadas MDSMA (Art.4 del Cap.III del RCH de la Ley 1333), por factores económicos en el presente proyecto se tomó una muestra (aguas arriba del punto de descarga de la PTAR).

Según los datos obtenidos en laboratorio y considerando la DBO₅, DQO y los coliformes fecales como los parámetros de mayor importancia para determinar la calidad del agua según lo establece el Reglamento en el Art.6 del Capítulo III Clasificación de cuerpos de aguas; el cuerpo receptor estaría clasificada como un agua de clase D. (ver Tabla A-1 2e los anexos)

Agua de CLASE “D” definida como, aguas de calidad mínima que para consumo humano en los casos extremos de necesidad pública, requieren un proceso inicial de pre sedimentación, pues pueden tener una elevada turbiedad por el elevado contenido de

sólidos en suspensión, y luego tratamiento físico-químico completo y desinfección bacteriológica especial contra huevos y parásitos intestinales. Fuente: Ley del Medio Ambiente 1333.

6.6.7.2.- ANÁLISIS DEL EFLUENTE SEGÚN EL TIPO DE CLASIFICACIÓN

Una vez clasificado el cuerpo receptor, se verificaron los datos obtenidos con los valores de la Tabla A-2 (ver los anexos) para un tipo de agua CLASE “D” como se representa a continuación:

Tabla 6.13. Verificación del efluente según clasificación del cuerpo Receptor CLASE “D”

EFLUENTE			
PARAMETRO	Análisis	LMA 1333	VERIFICACION
pH	7.34	6.0 – 9.0	CUMPLE
S. Sedimentables. (mg/lit)	0.10	100 - < 1 ml/lit	CUMPLE
Turbiedad.(UNT)	66	< 200	CUMPLE
DBO5 (mg/lit)	48.70	< 30	NO CUMPLE
S. Totales (mg/lit)	228	1500	CUMPLE
Nitrógeno Total. (mg NT/lit)	64.45	12	NO CUMPLE
Fosforo Total (mg P/lit)	4.02	1.0	NO CUMPLE
DQO (mg/lit)	193	< 60	NO CUMPLE
Coli. Fecal	1.6×10^6	5×10^4	NO CUMPLE

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en la Tabla 6.13 de todos los parámetros considerados: el pH, sólidos sedimentables, turbiedad y sólidos totales cumplen con lo especificado en el Reglamento de Contaminación Hídrica y los demás parámetros considerados de mayor importancia no cumplen como ser: la DBO5, Nitrógeno Total, Fosforo Total, DQO y Coliformes fecales, por tanto el efluente descargado en el arroyo (cuerpo receptor) no está dentro los límites establecidos en la Cuadro A-2 (ver los anexos).

6.6.7.3.- ANÁLISIS DEL EFLUENTE.

Como ya se mencionó anteriormente el cuerpo receptor de la descarga de la PTAR de la comunidad de San Andrés no se encuentra clasificado, entonces comparamos los valores obtenidos y determinamos el agua como uno de CLASE “D”; pero sin embargo en el Reglamento de contaminación hídrica encontramos una Tabla de límites permisibles para descargas líquidas (ver Tabla A-3 de los anexos), para cuerpos de agua no clasificados.

Tabla 6.14. Verificación del efluente.

EFLUENTE			
PARAMETRO		LMA 1333	VERIFICACION
pH	7.34	6.9	NO CUMPLE
S. Sedimentables. (mg/lt)	0.10		
Turbiedad.(UNT)	66		
DBO5 (mg/lt)	48.70	80	CUMPLE
S. Totales (mg/lt)	228	60	NO CUMPLE
Nitrógeno Total. (mg NT/lt)	64.45		
Fosforo Total (mg P/lt)	4.02		
DQO (mg/lt)	193	250	CUMPLE
Coli. Fecal	1.6×10^6	10×10^3	NO CUMPLE

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Para verificar los parámetros obtenidos con la Tabla A-3 (de los anexos) se deben realizar los ensayos con muestras compuestas de 24 hrs; por razones económicas en el presente estudio se tomaron muestras compuestas en un intervalo de 6 hrs.

Como podemos observar en la Tabla 6.14 de todos los parámetros considerados: la DBO5 (demanda bioquímica oxígeno) y DQO (demanda química de oxígeno) cumplen con lo especificado en el Reglamento de Contaminación Hídrica y los demás parámetros como

ser: el pH, Sólidos Totales y Coliformes fecales, no cumplen con los límites establecidos en el Cuadro A-3 (ver los anexos).

6.6.7.4.- COMPORTAMIENTO DEL ARROYO

En la siguiente tabla se puede observar que las aguas del arroyo, son efectivamente diluidas con las del efluente, reduciendo gradualmente todos los valores.

Tabla 6.15 Comportamiento del arroyo

Comportamiento del arroyo aguas abajo			
Parámetro	Arroyo(aguas arriba)	Efluente	Aguas abajo.
pH	7.11	7.34	7.37
S. Sedimentables. (mg/lit)	0.1	0.10	0.10
Turbiedad.(UNT)	19	66	20
DBO5 (mg/lit)	25.70	48.70	43.20
S. Totales (mg/lit)	248	228	215
Nitrógeno Total.(mg NT/lit)	2.10	64.45	62.72
Fosforo Total.(mg P/lit)	0.62	4.02	1.40
DQO (mg/lit)	76	193	120
Coli. Fecal	5x10 ³	1.6 x 10 ⁶	

Fuente: Elaboración propia.

6.6.8.- RESUMEN FINAL

Después de haber realizado la respectiva comparación con los valores del Reglamento de Contaminación Hídrica de la Ley del Medio Ambiente 1333 se determinó que los parámetros de descarga no cumplen con los rangos establecidos en el anexo A-3. (Ver anexos).

Tabla 6.16. Resumen

Según la ley de Medio Ambiente 1333	
Parámetros Físicoquímico	
pH	No Cumple
Sólidos Totales	Cumple
DQO	Cumple
DBO5	Cumple
Parámetros Microbiológicos.	
Coliformes Fecales	No cumple
Coliformes Totales.	No cumple

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VII

PROPUESTAS DE MEJORA

7.1.- INTRODUCCIÓN

Después de haber analizado, y evaluado cada componente del sistema de tratamiento, podríamos dar las siguientes propuestas o alternativas de mejora, en búsqueda del reuso de las aguas tratadas, en nuestro caso para riego considerando su clasificación de tipo “C” según lo establecido en el Reglamento de la Ley 1333.

7.2.- PRINCIPIO DE DISEÑO DE PTAR

Hay factores que afectan el dimensionamiento y diseño de una planta de tratamiento.

- El volumen de las aguas a ser tratado.
- Las características físicas, químicas y biológicas, de las aguas residuales.
- La calidad requerida, que se tenga del efluente final del sistema (planta de tratamiento).
- El clima.

Antes de diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales, primero se debe establecer los valores para los tres primeros factores.

El volumen de aguas residuales dependerá, en primer lugar, de la población estimada para la zona a ser servida al final del periodo de diseño del sistema, (que se asume usualmente entre veinte y treinta años) y en segundo lugar, se tiene el coeficiente de vuelco.

Las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales. Principalmente del contenido de materia orgánica, que se mide a través de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), esto es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica contenida en las aguas residuales y usualmente se mide en miligramos por litro (mg/l).

La calidad del efluente final de la planta de tratamiento, dependerá del uso a que se destine el efluente o de la forma en que se hará su disposición final. Para medir la calidad de los efluentes se usan tres criterios: La DBO que se usa como una medida del contenido de materia orgánica, los sólidos suspendidos (SS) que es una medida de la cantidad de material sólido suspendido y la calidad bacteriana que usualmente se expresa con el número de bacterias coliformes fecales (CF) por 100 ml de efluente.

En el Cuadro 7.1, se indican los valores sugeridos de los diferentes parámetros para el reúso del efluente, en este caso para riego.

Cuadro 7.1. Agua para riego según el Reglamento 1333

Agua para riego Clase "C"	
Parámetro	LMA 1333
Ph	6,0 - 9,0
Sólidos. Totales	1500 mg/lit
DBO5 (mg /lit)	< 20
DQO (mg/lit)	< 40
Coliformes Fecales	< 5x10 ⁵ y <1x10 ³

Fuente: Elaboración propia

7.3.- REUSO DEL EFLUENTE DE LA PTR A DE SAN ANDRES

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de San Andrés del Depto. de Tarija fue construida con la finalidad de descargar agua apta para riego, considerando el tipo de cultivos que se producen en la zona esta agua correspondería a uno de Tipo "C"

puesto que principalmente se siembra papa, maíz, alimentos que se consumen previamente cocidos. Según lo establecido en el Reglamento de Contaminación Hídrica 1333.

7.3.1.- SISTEMA DE DISEÑO ACTUAL

CARGA CONTAMINANTE DEL AGUA RESIDUAL DE LA COMUNIDAD DE SAN ANDRÉS.

Tabla 7.1. Resultados físico- químicos agua residual

Tipo de Parámetro	Características del agua residual bruta de San Andrés.		
	Parámetro	Afluyente	Efluente
Físico	pH	7,45	7,34
	Sólidos. Totales	388 mg/lit	228 mg/lit
Químico	DBO5 (mg /lit)	296 mg/lit	48,7 mg/lit
	DQO (mg/lit)	550 mg/lit	193 mg/lit
Microbiológico	Coliformes Fecales	2,6x10 ⁶ N/100ml	3,25x10 ⁵ N/ 100ml

Fuente: Elaboración propia.

El sistema de diseño actual, no está cumpliendo con la calidad del efluente, esto se verificó a través del análisis de los resultados de laboratorio determinando que el agua tratada corresponde a una de Tipo "D", que es inapropiada para riego para ello presentaremos diferentes alternativas de solución.

7.3.2.- EFICIENCIAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO ACTUAL.

Tabla 7.2. % de Remoción de la PTAR

Tipo de Parámetro	% Eficiencias de remoción de la PTAR			
	Parámetro	Afluyente	Efluente	% Eficiencia
Físico	pH	7,45	7,34	1,48
	Sólidos. Totales	388 mg/lit	228 mg/lit	41,24
Químico	DBO5 (mg /lit)	296 mg/lit	48,7 mg/lit	83,55
	DQO (mg/lit)	550 mg/lit	193 mg/lit	64,91
Microbiológico	Coliformes Fecales	2,6x10 ⁶ N/100ml	3,25x10 ⁵ N/ 100ml	87,5

Fuente: Elaboración propia.

El sistema de tratamiento no está funcionando completamente debido muchos factores como ser el haber omitido alguno de los componentes del diseño original, la cámara séptica y rejilla de entrada, además por el descuido de las instalaciones y deficiente operación y mantenimiento aun que los niveles de tratamiento son elevados pero no son suficientes como para cumplir la LMA 1333 ocasionando un perjuicio para el entorno y un daño considerable al medio ambiente.

Tabla 7.3. Verificación con la LMA1333

Parámetro	Afluente	Efluente	LMA 1333	Verificación Clase "C"
pH	7,45	7,34	6,0 - 9,0	Cumple
Sólidos. Totales	388 mg/lt	228 mg/lt	1500 mg/lt	Cumple
DBO5 (mg /lt)	296 mg/lt	48,7 mg/lt	< 20	No cumple
DQO (mg/lt)	550 mg/lt	193 mg/lt	< 40	No cumple
Coliformes Fecales	2,6x10 ⁶ N/100ml	3,25x10 ⁵ N/ 100ml	< 5x10 ⁵ y <1x10 ³	No cumple

Como se puede observar en la tabla 7.3 los valores de los efluentes no cumplen con las características exigidas en el Reglamento de Contaminación Hídrica de la Ley 1333 de nuestro país.

La mayoría de las descargas de las plantas de tratamiento van a cuerpos de agua natural (ríos) que son empleados en riego, de diversos cultivos ya sea de consumo crudo o cocido y para no afectar la salud, estos deben cumplir ciertas características en nuestro caso un agua de Clase "C" definida como un agua de utilidad general y para riego de tubérculos, cereales, etc. alimentos que se consuman hervidos y no crudos.

7.4.-ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

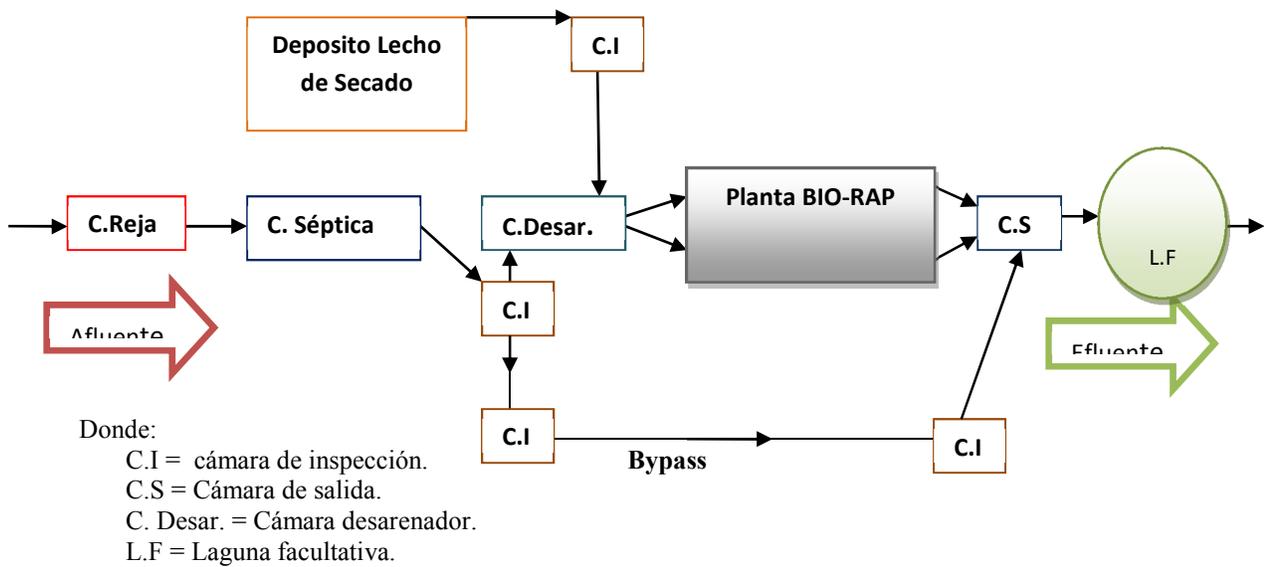
A continuación presentaremos 3 alternativas de solución al Sistema de Tratamiento de la Comunidad de San Andrés con la finalidad de alcanzar un agua de Tipo "C" apta para riego de alimentos que se consumen cocidos.

7.4.1.- ALTERNATIVA “A”

7.4.1.1.-IMPLEMENTAR LOS COMPONENTES FALTANTES DEL DISEÑO INICIAL

En un inicio la planta fue diseñada de la siguiente manera:

Figura 7.1. Esquema de Diseño Original.



Cuadro 7.2. Obras concluidas de la PTAR de San Andrés.

Diseño inicial de la PTAR	Obras concluidas de la PTAR	Obras no concluidas de la PTAR. A implementar.
Cámara de rejillas.		NO
Cámara séptica.		NO
Cámara desarenador de ingreso.	SI	
Planta Bio- Rap	SI	
Cámara de salida.	SI	
Cámaras de inspección.	SI	
Laguna de estabilización de tierra.	SI	
Deposito lecho de lodos.		NO

Fuente: Elaboración propia

TRATAMIENTO PRELIMINAR.

Cámara de rejás

Su finalidad es retener sólidos gruesos, de dimensiones relativamente grandes, que estén en suspensión o flotantes (como ser los trapos, plásticos, maderas, etc.).

Cámara desarenador

Se trata de la unidad destinada a retener partículas abrasivas, tales como gravas y arenas, que podrían favorecer el desgaste de equipos y a cúmulos que perjudiquen las unidades de tratamiento.

TRATAMIENTO PRIMARIO

Cámara séptica

El tanque séptico es un depósito (que puede ser de uno o más compartimientos), impermeable, de escurrimiento continuo y forma rectangular o cilíndrica que recibe, la excreta y agua residual proveniente del alcantarillado sanitario. Su construcción es generalmente subterránea y puede hacerse de piedra, ladrillo, hormigón u otro material resistente a la corrosión. (Duncan, 1982; Hopkins, 1951; Unda, 1993).

TRATAMIENTO SECUNDARIO

Reactor bio-rap

La planta BIO – RAP consta de un compartimento inicial y una segunda sección con una serie de reactores deflectores. Los deflectores son utilizados para dirigir el flujo de las aguas residuales en una forma de flujo ascendente a través de una serie de reactores de manto de lodos. Esta configuración proporciona un contacto más íntimo entre la biomasa anaeróbica y las aguas residuales, lo que contribuye a la mejora del rendimiento del tratamiento.

La eficacia del tratamiento que se consigue es de 70-95 % por la remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), haciendo que la calidad de los vertidos sea moderada.

TRATAMIENTO TERCIARIO

Laguna facultativa

Las lagunas facultativas se usan para remover patógenos y la DBO. Estas lagunas, pueden ser las primeras del tratamiento o recibir los efluentes del tratamiento anaerobio, los procesos que efectúa son:

- La digestión de los sólidos sedimentados o el fondo, los efectúa anaeróbicamente.
- En la capa superior estas lagunas contienen oxígeno, las algas crecen en esta por fotosíntesis y producen oxígeno proporcionando los nutrientes para las bacterias aeróbicas que estabilizan la materia orgánica.

7.4.1.2.-CÁLCULO DE LAS EFICIENCIAS

Para saber de manera concreta se efectuara la evaluación de las eficiencias con la implementación de los componentes faltantes del diseño original, en base a los resultados obtenidos de laboratorio y verificar si el efluente es apto para usarlo como riego que corresponde a un agua de Clase “C” según lo establece el Reglamento de Contaminación de Recursos Hídricos 1333.

Tabla 7.4. Alternativa “A”

ALTERNATIVA “ A”				
Parámetro	Efluente (actual)	Efluente (propuesto)	LMA 1333	Verificación Clase "C"
pH	7,34	7,34	6,0 - 9,0	Cumple
Sólidos. Totales	228 mg/lit	37,09	1500 mg/lit	Cumple
DBO5 (mg /lit)	48,7 mg/lit	3,80	< 20	Cumple
DQO (mg/lit)	193 mg/lit	32,92	< 40	Cumple
Coliformes Fecales	3,25x10 ⁵ N/ 100ml	2,60E+02	< 5x10 ⁵ y <1x10 ³	Cumple

Fuente: Elaboración propia

DISEÑO ORIGINAL DE PTAR

Las dimensiones de cada unidad de tratamiento, es el de diseño original descrito en el Capítulo IV.

7.4.1.3.- ANÁLISIS DE COSTOS

En la siguiente tabla se presenta un monto total aproximado de 745,118.81 Bs, considerando que el costo total ejecutado es el real, de acuerdo a información obtenida en el Departamento Técnico de la Sub - Alcaldía de la Prov. Cercado; y el de las demás unidades fueron aproximadas en base al proyecto de saneamiento del Municipio el Puente.

Tabla 7.5. Costo Total Alternativa “A”

PRESUPUESTO DISEÑO ORIGINAL DE LA PTAR			
#	UNIDADES DE TRATAMIENTO	Parcial (Bs)	En \$US.
1	COSTO TOTAL DEL SISTEMA EJECUTADO ACTUALMENTE	670,194.56	94,794.14
2	CÁMARA DE REJILLA	1,852.08	261.95
3	CÁMARA SÉPTICA	13,120.00	1,855.72
4	DEPÓSITO LECHO DE SECADO	59,952.17	8,564.57
Total		745,118.81	106,445.54
Tipo de Cambio: 7,07			

Fuente: Elaboración propia.

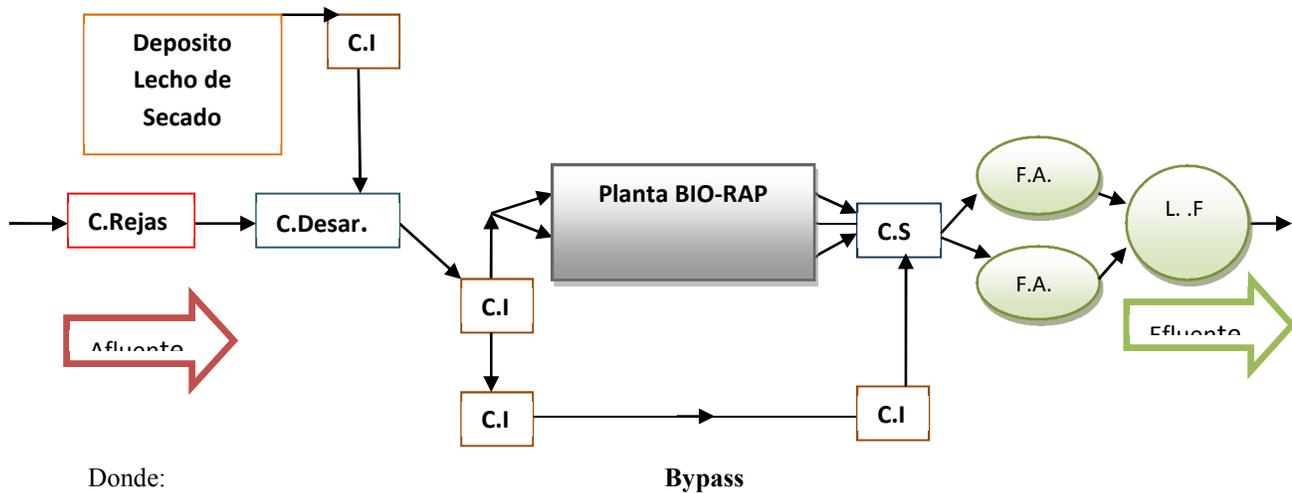
7.4.2.-ALTERNATIVA “B”

7.4.2.1.- FILTRO BIOLÓGICO ANAERÓBICO.

Es un reactor donde la materia orgánica es estabilizada, por la acción de microorganismos que quedan retenidos en la parte perimetral del material soporte, lo que constituye el lecho, a través del cual las aguas residuales escurren.

Al agua residual se la hace atravesar un lecho circular o rectangular que contiene un medio de soporte (piedras o material sintético), donde se produce el proceso anaeróbico de contacto con la biopelícula que se ubica alrededor de los componentes del medio filtrante. En resumen es un filtro de piedra granular de 25 a 50 mm de diámetro ubicados en un tanque circular o rectangular por el que a traviesa el líquido de la parte de abajo, a la superficie como liquido tratado.

Figura 7.2. Esquema de Diseño Alternativa “B”



Donde:

- C.I = cámara de inspección.
- C.S = Cámara de salida.
- C. Desar. = Cámara desarenador.
- LF = Laguna Facultativa.
- F.A= Filtro Anaeróbico

7.4.2.2.- CÁLCULO DE LAS EFICIENCIAS

Para saber de manera concreta se efectuara la evaluación de las eficiencias con la implementación de un par filtros biológicos circulares después del reactor BIO-RAP y antes de la laguna facultativa, en base a los resultados obtenidos de laboratorio y las eficiencias teóricas y verificar si el efluente es apto para usarlo como riego que corresponde a un agua de Clase "C" según lo establece el Reglamento de Contaminación de Recursos Hídricos 1333.

Tabla 7.6. Alternativa "B"

ALTERNATIVA " B "				
Parámetro	Efluente (actual)	Efluente (propuesto)	LMA 1333	Verificación Clase "C"
pH	7,34	7,34	6,0 - 9,0	Cumple
Sólidos. Totales	228 mg/lit	28,84	1500 mg/lit	Cumple
DBO5 (mg /lit)	48,7 mg/lit	1,90	< 20	Cumple
DQO (mg/lit)	193 mg/lit	13,72	< 40	Cumple
Coliformes Fecales	3,25x10 ⁵ N/ 100ml	5,20E+02	< 5x10 ⁵ y <1x10 ³	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

7.4.2.3.- PRE DISEÑO DEL FILTRO ANAERÓBICO

Se asume la suma de las siguientes alturas recomendadas en la Norma Boliviana de Instalaciones sanitarias-Alcantarillado Sanitario, Fluvial y Tratamiento de aguas Residuales NB 688.

NB 688: altura medio de soporte 1.5 a 3.5 m. para medio natural

h1: altura medio filtrante = 1,5
h2: losa de soporte = 0,1
h3: cámara distribuidora = 0,3
h4: Altura desde sup. Agua al medio = 0,3

Altura total o altura útil: 2,2 m.

Diámetro del reactor : 3,5 m

El medio filtrante: Piedras esféricas entre 5.0 a 10 cm.

Tabla 7.7. Pre diseño filtro anaeróbico

PRESUPUESTO FILTRO BIOLÓGICO ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE						
#	Descripción ítem	Und.	Cant.	Unit.	Parcial (Bs)	En \$US.
1	REPLANTEO DE ESTRUCTURAS	M2	13,49	7,18	96,86	13,76
2	EXCAVACION COMUN (T. SEMIDURO)	M3	47,20	52,50	2,478.00	350,70
3	CONTRAPISO DE PIEDRA Y CEMENTO (E=3 CM)	M2	13,49	87,80	1,184.42	167,55
4	HORMIGON ARMADO LOSA DE FONDO	M3	2,70	2,991.39	8,076.75	1,142.40
5	HORMIGON ARMADO MUROS	M3	10,78	3,673.14	39,596.45	5,600.64
6	HORMIGON ARMADO FONDO FALSO FILTRO	M3	0,96	3,384.32	3,248.95	459,54
7	REVOQUE DE CEMENTO IMPERMEABLE (SIKA 1)	M2	73,54	117,94	8,673.31	11,226.65
8	RELLENO DE GRAVA SELECCIONADA (FILTRO)	M3	14,43	174,97	2,524.82	357,14
Tipo de cambio:			7,07	TOTAL	65,879.56	9,318.38

Fuente: Elaboración Propia.

7.4.2.4.-ANÁLISIS DE COSTOS

Tabla 7.8. Costo de implementación - filtro anaeróbico

Filtro Anaeróbico de flujo Ascendente	
Diámetro: 3,5 m	Altura : 2,20 m

Fuente: Proyecto Saneamiento el Puente (DESING S.R.L)2010

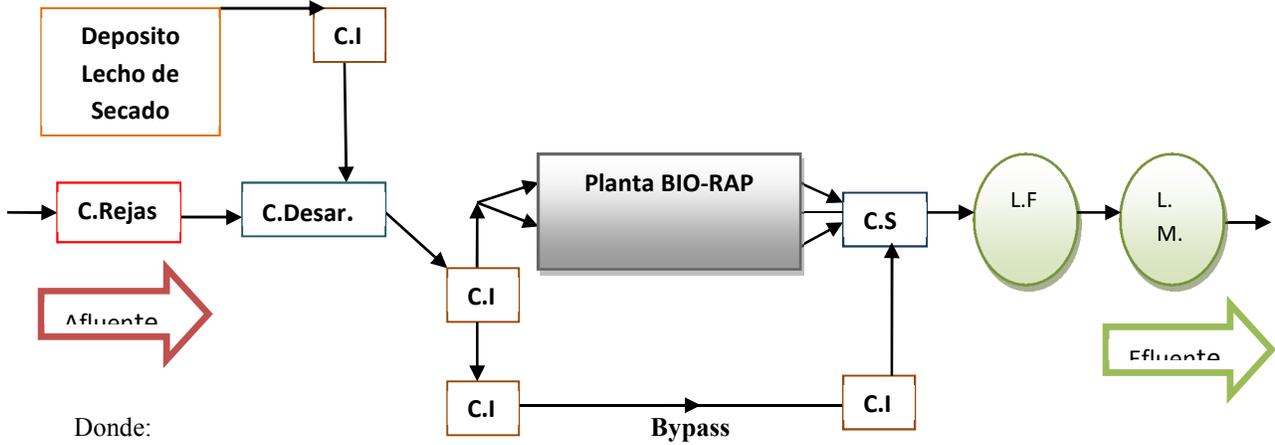
Como podemos observar en la Tabla presupuesto general de un filtro biológico alcanza la suma de 65,879.56 Bs y de dos filtros sería 131,759.12

7.4.3.-ALTERNATIVA “C”

7.4.3.1.- LAGUNA DE MADURACIÓN

Las lagunas de maduración se usan para mejorar el afluente de las lagunas facultativas, ellas son aerobias, porque tienen baja concentración de materia orgánica, pero alta cantidad de algas.

Figura 7.3. Esquema de Diseño Alternativa “C”



Donde:

- C.I = cámara de inspección.
- C.S = Cámara de salida.
- C. Desar. = Cámara desarenador.
- L.F = Laguna Facultativa
- L.M = Laguna de maduración

7.4.3.2.- CÁLCULO DE LAS EFICIENCIAS

Tabla 7.9. Alternativa “C”

ALTERNATIVA “ C”				
Parámetro	Efluente (actual)	Efluente (propuesto)	LMA 1333	Verificación Clase "C"
pH	7,34	7,34	6,0 - 9,0	Cumple
Sólidos. Totales	228 mg/lit	82,4112	1500 mg/lit	Cumple
DBO5 (mg /lit)	48,7 mg/lit	2,53	< 20	Cumple
DQO (mg/lit)	193 mg/lit	62,70	< 40	No Cumple
Coliformes Fecales	3,25x10 ⁵ N/ 100ml	5,20E+00	< 5x10 ⁵ y <1x10 ³	Cumple

El efluente de la PTAR BIO-RAP de la comunidad de San Andrés, tiene un DQO de 62,70 mg/lit, el cual es 50 % mayor que el límite permisible para cuerpos de agua de Clase “C” según el Reglamento de la Ley 1333. Sin embargo un buen porcentaje de la carga orgánica arrastrada por el efluente es lodo digerido y estable, el cual no causa malos olores, ni atrae moscas.

7.4.3.3.- PRE DISEÑO DE LA LAGUNA DE MADURACIÓN.

Las lagunas deben ubicarse alejadas de los núcleos organizados, siendo la distancia de 300 a 1000 m de acuerdo al grado de desarrollo.

La dirección de los vientos predominantes debe coincidir con el sentido de flujo de la laguna en lo posible.

Se deben ubicar entradas y salidas en los extremos de las lagunas y no utilizar tiempos de retención menores a 5 días.

La configuración de la laguna dependerá de las condiciones topográficas. En las zonas poco irregulares la relación largo ancho debe ser de 3 a 6 y la altura libre de 0,5 m.

De acuerdo a la Guía Técnica de Proyectos de Saneamiento del Ministerio de Servicios y Obras Públicas de nuestro país se sugiere que las lagunas de maduración para los valles, tengan una altura de 1,20 m y un tiempo de retención hidráulica de 5 días.

Tabla 7.10. Pre diseño Laguna de maduración.

Laguna de maduración	
Diámetro: 15 m	Altura : 1.20 m

Fuente: Elaboración propia.

7.4.3.4.- ANÁLISIS DE COSTOS

Se tomo como precio referencial de 12,036.90 Bs. para implementar la laguna de maduración al sistema de tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Andrés. Dato que se obtuvo de la guía técnica de Proyectos de Saneamiento del Ministerio de Servicios y Obras Públicas de nuestro país.

7.5.- OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

7.5.1.- CÁMARA SÉPTICA.

La cámara séptica debe ser inspeccionada cada tres meses. Al abrir las tapas de registro para hacer la inspección o limpieza, se debe dejar ventilando al menos 30 minutos para la evacuación de los gases producidos en la planta. Nunca deben encenderse fósforos ni cigarrillos.

La inspección tiene por objeto determinar:

- La distancia del fondo de la nata al extremo inferior del tubo de salida o deflector, que no debe ser inferior 10 cm.
- El espesor de los lados acumulados.
- Que la cámara de inspección de salida no presente sedimentos, hecho que indicara un mal funcionamiento de la planta.
- El espesor de la capa de natas se mide con un bastón o pértiga al cual se ha fijado una aleta con una bisagra. el bastón se fuerza a través de la capa de nata hasta que la aleta se mueve a la posición horizontal; al elevar el bastón, posteriormente es posible apreciar el fondo de la capa de nata. Si la acumulación de natas excede lo admisible se deben retirar las natas o espumas que estén flotando con un cernidor de malla milimétrica fina de plástico.
- La nata se debe enterrar en una zanja por lo menos a una profundidad de 60 cm. Y cubrirla posteriormente con tierra. Hay que cuidar que ha dicha profundidad no se encuentre el nivel freático.

- La manipulación debe efectuarse con mucha precaución, empleando guantes y botas. Una vez concluida esta tarea, deben lavarse y desinfectarse todos los materiales empleados y el operador debe realizar un buen aseo personal.

Extracción de lodos.

Para medir la altura de los lodos se utiliza un bastón en cuya parte inferior se envuelve una tela blanca. Después de varios minutos, el bastón se iza con cuidado y se puede distinguir la línea de lodos por las partículas que quedan adheridas a los tejidos.

Comúnmente la extracción de lodo se realiza por medio de un balde provisto con un mango largo. Para llevar a cabo esta tarea, se recomienda escoger un día de sol (en época de verano) cuando la entrada de aguas residuales sea mínima.

No se debe extraer todos los lodos, sino dejar una pequeña cantidad que servirá para que el proceso en la planta no sea interrumpido; en general debe dejar de extraerse lodo cuando se vea que está muy diluido o el nivel del agua en la cámara ha bajado a la mitad.

Así mismo la cámara séptica no se debe lavar ni desinfectar después de haber extraído el lodo.

Los lodos deben ser dispuestos en lechos de secado o ser enterrados, en caso de ser enterrados, debe hacérselo en zanjas, tipo trinchera, con una profundidad de 60cm y 40 cm de ancho. Posteriormente debe taparse la zanja con tierra. Debe evitarse el acceso de gente y animales a los sitios de enterramiento de los lodos y natas. Asimismo, debe asegurarse que el nivel freático diste al menos 2 m de la profundidad de enterramiento de los lodos.

Control de olores en cámaras sépticas

Cuando se tengan olores fuertes (olor a podrido) deberán efectuarse las siguientes tareas:

- Preparar agua con cal, colocando en un recipiente por cada 10 lt media libra de cal. Mezclar y dejar reposar por un tiempo de 5 min.

- Arrojar suficiente cantidad de esta solución en la entrada, poco a poco – aproximadamente un balde de 20 lt en media hora.
- Si el olor persiste, repetir el mismo procedimiento al día siguiente.

7.5.2.- CÁMARA DESARENADOR

La limpieza de estas debe ser de forma manual cada 3 días, para evitar que se toponee.

7.5.3.- REACTOR BIO-RAP

Para la realización del mantenimiento del sistema se requiere de un mínimo de atención, con una persona realizando actividades de limpieza y control durante 2 a 3 horas por semana, para ello se anotan a continuación algunas pautas preliminares, para el control visual del proceso fermentativo en los reactores:

- En la superficie de todas las cámaras se debería observar explosiones de gas y lodo en forma más o menos continua.
- Las burbujas de biogás deben ser más pequeñas y dispersas (como en un vaso de refresco carbonatado), que grandes y localizadas.
- No se debería sentir malos olores a más de 10 metros a la redonda del reactor.
- Tanto el lodo como el agua residual tratada no deben atraer insectos (moscas).

7.5.4.-LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Remoción de lodos.

Será necesario remover los lodos de las lagunas anaeróbicas cada 3 o más años, cuando la altura de lodos llegue a 1/3 de la profundidad de la laguna.

La altura de lodos en una laguna se mide con un bastón de varios metros de largo, envuelto con una tela blanca. se introduce el bastón hasta el fondo de la laguna, se retira y se mide la altura de lodo en la tela.

En todos los casos, debe efectuarse periódicamente la limpieza de los diques o taludes de las lagunas, evitando la acumulación de vegetación y la proliferación de mosquitos y otros insectos, el exceso de algas se debe retirar mensualmente.

7.5.5.-FILTROS BIOLÓGICOS.

El funcionamiento apropiado de los filtros biológicos no presenta problemas particulares. Una vez en operación debe cuidarse que el relleno de grava está bien construido; así como la calidad del relleno de grava o piedra debe encontrarse limpio de material fino como arcilla o limo.

La puesta en marcha de los filtros biológicos no presenta problemas particulares. Una vez en operación debe cuidarse que el relleno de grava no se colme o se bloquee. De presentarse esta situación o al cabo de 2 o 3 años, deberá reducirse el caudal para posibilitar que la capa de organismos que rodea a las piedras o gravas reduzca su volumen.

Deben limpiarse quincenalmente las canaletas de recolección del agua filtrada y las cámaras de salida, para evitar focos de infección.

7.5.6.- LECHOS DE SECADO PARA LODOS

Los lechos de secado deben llenarse con lodos en verano o durante la temporada seca del año. Los lodos pueden extenderse en el lecho con una profundidad máxima de 20 cm.

Una vez que su consistencia permita que puedan ser recogidos con una pala, los lodos pueden ser retirados del lecho de secado. Nunca se debe colocar más lodo antes de haber retirado los lodos secos.

Una vez retirados los lodos se debe realizar la limpieza del lecho.

La manipulación debe efectuarse con mucha precaución, empleando guantes, y botas. Una vez concluida esta tarea, debe lavarse y desinfectarse todas las herramientas empleadas y el operador debe realizar un buen aseo personal.

Periódicamente debe ser reemplazado la capa de arena hasta alcanzar su espesor original. Una parte de la capa de arena se pierde cada vez que se remueve el lodo seco. la arena que se utilice para reponer el espesor original debe ser de la misma característica que la especificada en la construcción.

Normalmente, el volumen de lodos se reduce un 60% o más por medio de la deshidratación.

Remoción del lodo de los lechos de secado.

El mejor momento para retirar los lodos de los lechos de secado depende de: la adecuada resquebrajadura del lodo, la necesidad de drenar un nuevo lote de lodos del digestor, el contenido de humedad de los lodos en el lecho de secado.

Herramientas requeridas.

Una de las mejores herramientas es la pala y el tridente. Con el tridente el lodo seco puede ser removido con mucha menor pérdida de la arena con la pala.

Un equipo de gran ayuda es la carretilla para retirar el lodo al punto de disposición final. Para lo cual se deben colocar tablas para facilitar el desplazamiento de la carretilla

Disposición

El lodo removido de los lechos de secado puede ser dispuesto en el relleno sanitario o almacenado por un tiempo para lograr una mayor deshidratación y de esta manera un menor volumen y peso que facilite el transporte hacia el lugar de disposición final.

Fuente: Guía para la operación y mantenimiento de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización de la organización panamericana de la salud.

7.5.7.- CONSEJOS IMPORTANTES.

Las plantas de tratamiento deben encontrarse convenientemente cercadas, de manera de evitar el ingreso de personas no autorizadas o animales. es recomendable arborizar el perímetro de la planta para proteger las condiciones sanitarias del área.

Si la planta no es operada y mantenida correctamente, se generara un gran daño a la salud de los habitantes y las poblaciones adyacentes.

Si la planta es abandonada por uso terminal, deberá ser cerrada y rellenada con piedra y tierra.

Fuente: Manual de operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales en poblaciones rurales ministerio del agua. Viceministerio de servicios básicos. La paz - Bolivia ,2007

7.6.- PRODUCCIÓN DE LODOS.

APROXIMACIÓN DE LOS SÓLIDOS TOTALES SEDIMENTADOS EN LA PTAR

Sólidos totales = 108,06 gr /hab - día P. futura.= 309

Sólidos totales = 33390,54 gr /día

Sólidos totales = 12187547,1 gr /anual

Anual

12187,5471 kg/anual

12,1875471 Ton/anual

Suponiendo que el 1,5 % del peso total que ingresa al sistema de tratamiento ,es el lodo sedimentado entonces se tiene :

Sólidos totales = 0,182813207 Ton /anuales
sedimentados

182,8132065 Kg / anuales

Convertido en Volumen tendríamos:

Se forma 0,5 m³ o 20 Kg de lodo seco para 1000 m³ de agua residual.

$$\text{Volumen anual de lodos} = 4,57 \text{ m}^3 \approx 5\text{m}^3$$

Que serán extraídos manualmente de acuerdo a lo descrito anteriormente en operación y mantenimiento, será extendido en lecho de secado de lodos para su deshidratación y posterior traslado a lugares donde se requiera relleno, alejados de la población.

7.7.- COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

De acuerdo a las características del proyecto éste necesita realizar una serie de actividades de mantenimiento, donde la más importante consiste en extraer el lodo de las diferentes unidades de tratamiento, para realizar esta actividad se requiere de unas 2 personas que trabajen de forma manual.

El costo para llevar adelante esta actividad es de 10.450,00 Bs/anual y se consideró el mismo presupuesto de operación y mantenimiento, para las tres alternativas, que se gastaran anualmente.

Tabla 7.11. Costos de operación y Mantenimiento

O&M				
#	Materiales	Cantidad	Parcial (Bs)	Total (Bs)
1	Palas	4	70,00	280
2	Carretillas	4	500,00	2.000,00
3	Azadones	4	85,00	340,00
4	Valdes metálicos	4	60,00	240,00
5	Coladera	6	45,00	270,00
6	Flexómetro	2	20,00	40,00
7	Salarios - Personal	2	250,00	6.000,00
8	EPP	4	320,0	1.280,00
Total				10.450,00

Fuente: Elaboración Propia.

7.8.- ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Para determinar la mejor alternativa de solución al problema, realizaremos una evaluación financiera por el método de CAES de donde se escogerá el menor valor.

Tabla 7.12. Presupuesto de las alternativas

PRESUPUESTO DE ALTERNATIVAS			
#	ALTERNATIVA	Parcial (Bs)	En \$US.
1	ALTERNATIVA "A"	745,118.81	106,445.54
2	ALTERNATIVA "B"	876,877.98	125.082,30
3	ALTERNATIVA "C"	757,155.71	108,148.06

Fuente: Elaboración propia.

7.8.1.- EVALUACION FINANCIERA

Para el cálculo de los indicadores de la evaluación se consideró el flujo de fondos del proyecto donde sobresalen los siguientes aspectos.

1. El horizonte de evaluación es de 20 años.
2. Precios en bolivianos constantes observados en el mercado el año 2012 para toda la proyección.
3. Tasa de descuento recomendada por el Viceministerio de Inversión Pública y Financiamiento Externo (VIPFE), para evaluación privada de 12,81% y social 12,67%.
4. Las inversiones estimadas en el estudio técnico y costos de operación.
5. Los indicadores considerados son Costo Anual Equivalente (CAE).

Costo Anual Equivalente

El costo anual equivalente (CAE) es un método de evaluación fundamentado en un análisis de costos, utilizado especialmente en la evaluación de alternativas de inversión que no generen ingresos.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS (CAEP – CAES)

Cuadro7.3. ALTERNATIVA “A”

PROYECTO	COMPONENTES	INVERSION PRIVADA (Bs.)	VIDA UTIL (Años)
<i>Planta de Tratamiento de aguas residuales San Andrés</i>	ASISTENCIA TÉCNICA Y CAPACITACIÓN	3,725.594	20
	INFRAESTRUCTURA	745,118.81	20
TOTAL		748,844.404	20

Tasa Privada de Descuento: 12.81 % Anual.

VACP = 819.266,78 Bs.

CAEP = 114.319,63 Bs./ año

Cuadro7.4. ALTERNATIVA “B”

PROYECTO	COMPONENTES	INVERSION PRIVADA (Bs.)	VIDA UTIL (Años)
<i>Planta de Tratamiento de aguas residuales San Andrés</i>	ASISTENCIA TÉCNICA Y CAPACITACIÓN	4,384.380	20
	INFRAESTRUCTURA	876,877.98	20
TOTAL		881,262.370	20

Tasa Privada de Descuento: 12.81 % Anual.

VACP = 949.724,10 Bs.

CAEP = 18.931,93 Bs./ año

Cuadro 7.5. ALTERNATIVA “C”

PROYECTO	COMPONENTES	INVERSION PRIVADA (Bs.)	VIDA UTIL (Años)
<i>Planta de Tratamiento de aguas residuales San Andrés</i>	ASISTENCIA TÉCNICA Y CAPACITACIÓN	3,785.77	20
	INFRAESTRUCTURA	757,155.71	20
TOTAL		760,941.498	20

Tasa Privada de Descuento: 12.81 % Anual.

VACP = 831.184,42 Bs.
 CAEP = 115.982,60 Bs./ año

7.9.-SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS CONVENIENTE (CRITERIO DE MÍNIMO COSTO).

El mínimo costo se utiliza para comparar alternativas de solución a un problema, esta técnica del Costo Mínimo busca por medio de la identificación de los costos de un proyecto, seleccionar de las alternativas analizadas, la que menos costo representa.

Cuadro 7.6. Resumen de Alternativas

Alternativas	VACP		CAEP	
	\$US	Bs.	\$US /año	Bs./año
A	117.038	819.266,78	16.331,38	114.319,63
B	135.675	949.724,10	18.931,93	132.523,51
C	118.741	831.184,42	16.568,94	115.982,60
Menor valor de CAEP				114.319,63

Fuente: Elaboración propia.

La alternativa “A” es la más recomendada para solucionar el problema existente en la Planta de Tratamiento de aguas Residuales en la Comunidad de San Andrés, porque representa al menor costo actual.