

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
CARRERA DE CONSTRUCCIONES CIVILES



**USO DE LA TOTORA EN PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES**

Trabajo de aplicación para la obtención del Grado de Licenciatura

POR: EFRAIN COARITE MAMANI

TUTOR: Arq. ABDUL ARENAS ROJAS

LA PAZ – BOLIVIA
Noviembre, 2018

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
CARRERA DE CONSTRUCCIONES CIVILES

Examen de grado:

DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

**Trabajo de aplicación del uso de la totora en planta de
tratamiento de aguas residuales**

Presentado por: Univ. Efrain Coarite Mamani

Para optar el grado académico en **Licenciado en Construcciones
Civiles**

Nota numeral:.....

Nota literal:.....

Ha sido:

Director de la carrera de Construcciones Civiles: Lic. Máximo Calle
Condori.

Tutor: Arq. Abdul Arenas Rojas

Tribunal:

Tribunal:

Tribunal:.....

A mis padres, Julio Coarite y Francisca Mamani,
quienes me apoyaron en todo momento
en mis estudios.

RESUMEN

Este trabajo de aplicación se lo realizó con la finalidad de tener información del uso de la totora en las plantas de tratamiento de aguas residuales que se presentarán a continuación. El objetivo principal fue de analizar a la planta denominada Titora para su uso como descontaminante de las aguas residuales provenientes de desechos líquidos provenientes de residencias, instituciones, fábricas , como también de desechos líquidos provenientes de los hábitos higiénicos del hombre en actividades domésticas.

Todo con el objetivo principal de que los líquidos no contaminen las lagunas, acuíferos, ríos o lagos, que son la fuente principal de vida animal, vegetal y también de uso humano.

Los resultados del presente trabajo denotan los niveles de descontaminación hídrica de las aguas residuales con el uso de la totora, que en la mayoría de los casos sobrepasaron los rangos permisibles antes de este método de tratamiento.

GLOSARIO

Absorción: La absorción tiene lugar principalmente en los pelos radicales, que son una extensión de las células epidérmicas de la raíz.

Adaptación: Capacidad de un organismo para acomodarse a su propio medio o a un medio ambiente diferente.

Aerobio: Organismo que necesita de oxígeno para vivir.

Agua potable: Es aquella que por sus características químicas físicas y bacteriológicas son aptas para el consumo humano.

Agua residual: Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales).

Agua: Sustancia líquida sin olor, color ni sabor que se encuentra en la naturaleza en estado más o menos puro formando ríos, lagos y mares, ocupa las tres cuartas partes del planeta Tierra y forma parte de los seres vivos; está constituida por hidrógeno y oxígeno (H₂O).

Aguas Residuales: Aquellas procedentes de cualquier actividad humana, las cuales, según la fuente, pueden ser: industriales, agrícolas o de uso doméstico, entre otras. También se les denomina efluentes.

Alcantarillado sanitario: Sistema compuesto por un sólo tubo para todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de las aguas residuales domésticas y/o industriales.

Almacenamiento de Desechos Peligrosos: depósito temporal de desechos peligrosos bajo condiciones controladas y ambientalmente seguras, sin que se contemple ninguna forma de tratamiento ni transformación inducida de los desechos almacenados.

Ambiente: Conjunto de elementos naturales y sociales, relacionados e interdependientes, en un lugar y tiempo determinado, que en forma directa incluyen a todos los seres vivos.

Anaerobio: Organismo que puede desarrollarse en ausencia total de oxígeno libre.

Arqueobacterias: Las Archaea, arqueas o arqueobacterias, (Et: del griego ἀρχαία arkhaía, las antiguas, singular: arqueon, arqueonte o arqueota) son un grupo de microorganismos unicelulares de morfología procariota (Que no tiene el núcleo celular diferenciado mediante una membrana), que forman uno de los tres grandes dominios de los seres vivos.

Basura: Desperdicio resultado de la producción y consumo. Normalmente se refiere a material que no es reutilizable o reciclable.

Bráctea: Hoja que nace del pedúnculo de las flores de algunas plantas, que tiene distinta forma, consistencia y color que la hoja normal.

C.P.E.P.B: Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia.

Cambio climático: La idea de cambio climático, en este marco, alude a una variación del clima del planeta Tierra generada por la acción del ser humano.

Caracterización de las aguas residuales: Determinación del caudal y características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, según su procedencia.

CCA: Control de calidad ambiental.

Colectividades: Una colectividad es un conjunto de personas reunidas con un mismo fin. Se trata del grupo social al que un sujeto pertenece por compartir alguna característica u objetivo.

Coliformes: La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.

Compuestos Orgánicos: Sustancias cuyo componente básico estructural molecular, es una cadena de átomos de Carbono. Están presentes en los seres vivos en forma de moléculas biorgánicas, pero también en el petróleo, el carbón y hasta en formas simples en el espacio.

Conservación Ambiental: Uso racional y sostenible de los recursos naturales y el ambiente. Entre sus objetivos encontramos garantizar la persistencia de las especies y los ecosistemas y mejora de la calidad de vida de las poblaciones, para el beneficio de la presente y futuras generaciones.

Contaminación: Presencia de sustancias exógenas en los sistemas naturales, los agro-ecosistemas o los ecosistemas humanos, que ocasionan alteraciones en su estructura y funcionamiento.

Cromatografía: Es un método físico de separación para la caracterización de mezclas complejas, la cual tiene aplicación en todas las ramas de la ciencia; es un conjunto de técnicas basadas en el principio de retención selectiva, cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla, permitiendo identificar y determinar las cantidades de dichos componentes.

Cyperaceas: Las Cyperaceae forman una familia de plantas monocotiledóneas parecidas a los pastos, muchas de ellas polinizadas por viento.

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

Degradación: Es la transformación de la energía de una forma a otra menos apta para producir un trabajo mecánico y con carácter irreversible.

Densidad de población: Número de personas que habitan dentro de un área tributaria determinada, generalmente expresada en hab/ha.

Desarrollo comunitario: Estrategia social centrada en la gente, que permite la participación de mujeres y hombres, adolescentes, niñas y niños, en todas las actividades de la implementación del sistema, que están determinados por su contexto socio-cultural, económico y ambiental.

Descomposición: La descomposición es un proceso común en biología y química. En biología, el término descomposición se refiere a la reducción del cuerpo de un organismo vivo a formas más simples de materia.

Disacáridos: Los disacáridos son un tipo de glúcidos formados por la condensación (unión) de dos monosacáridos mediante un enlace O-glucosídico.

Disposición final: Destino final del efluente de aguas residuales a una planta de tratamiento o cuerpo receptor de agua.

Dotación: Cantidad de agua promedio diaria por habitante que suministra el sistema de agua potable, expresada en litros por habitante por día.

Educación sanitaria y ambiental: Proceso educativo por el cual los usuarios de los servicios, identifican y modifican los comportamientos y hábitos que pueden afectar o contribuir en su salud y su entorno ambiental.

Efluente: Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

EIA: Evaluación del impacto ambiental.

Emisario: Conducto, canal o tubería que tiene como origen el punto más bajo del sistema y que conduce las aguas residuales al sitio donde se someterán a tratamiento. Se caracteriza porque a lo largo de su recorrido no recibe contribución alguna.

Espectroscopia: La espectroscopia es el estudio de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia, con absorción o emisión de energía radiante. Tiene aplicaciones en astronomía, física, química y biología, entre otras disciplinas científicas.

Estanque: Depósito artificial de agua con fines ornamentales o prácticos, como la cría de peces o el riego.

Eucariotas: Es el dominio (o imperio) que incluye los organismos formados por células con núcleo verdadero.

Evaluación de Impacto Ambiental: Identificación de los posibles impactos del proyecto al ambiente; se determinan en forma preliminar las medidas de

mitigación correspondientes, con el fin de obtener la categorización del estudio a realizarse mediante la emisión de un certificado de descargo (Categorías I y II) o mediante un certificado de dispensación (Categorías III y IV).

Evaluación financiera: Comparación de los beneficios y costos atribuibles a la ejecución del proyecto desde el análisis de la relación costo - beneficio.

Evaluación socio-económica: Estudio que permite fundamentalmente conocer las condiciones por estratos Socioeconómicos de la población y su predisposición de pago por los servicios.

Flujo Pistón: El reactor tubular (PFR) se usa para modelar transformaciones químicas de compuestos que se transportan en sistemas que parecen tuberías. ... Es decir, cada recarga de fluido hecha por el pistón se considera una entidad separada que va bajando por la tubería.

Gestión Integrada de Recursos Hídricos: La gestión integrada de recursos hídricos es un proceso sistemático para el desarrollo, asignación y monitoreo de los usos del agua, de acuerdo con objetivos sociales, económicos y ambientales que buscan el desarrollo sostenible.

Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos: Es el conjunto de acciones normativas, financieras y de planeamiento, que se aplican a todas las etapas del manejo de los residuos y desechos sólidos desde su generación hasta su disposición final.

Helofitas: Es una planta que crece de manera natural en áreas afectadas por salinidad en las raíces o aerosoles de sal, como en los desiertos salinos, litorales.

Humedal: Un humedal es una zona de tierra, generalmente plana, cuya superficie se inunda de manera permanente o intermitentemente.

Impacto Ambiental: Alteración con efectos sobre el ambiente (positivo o negativo). Suele estimarse mediante evaluaciones previas (Evaluaciones de Impacto Ambiental – EIA), con miras a estimar las consecuencias o

repercusiones sobre el medio físico, incluyendo su incidencia económica, social, cultural y ecológica.

Laguna aeróbica: En el tratamiento de las aguas servidas, se llaman lagunas aeróbicas o lagunas de oxidación, cuando se usa el oxígeno molecular disuelto como aceptador de electrones, el proceso es aeróbico y se conoce también como respiración aeróbica.

Laguna anaeróbica: La laguna anaeróbica o laguna anaerobia es un bioreactor que combina la sedimentación de sólidos y su acumulación en el fondo, con la flotación de materiales del agua residual en la superficie y con biomasa activa suspendida en el agua residual o adherida a los lodos sedimentados y a la nata flotante.

Laguna de maduración: Las lagunas de maduración tienen como objetivo principal la de reducir la concentración de bacterias patógenas. Estas lagunas generalmente son el último paso del tratamiento antes de volcar las aguas tratadas en los receptores finales o de ser reutilizadas en la agricultura.

Macrofitas: Son plantas adaptadas a los medios muy húmedos o acuáticos tales como lagos, estanques, charcos, estuarios.

Manejo de Sustancias, Materiales, Residuos y Desechos: conjunto de operaciones dirigidas a darle a las sustancias, materiales, residuos y desechos (peligrosos y no peligrosos) el destino más adecuado, de acuerdo con sus características, con la finalidad de prevenir daños a la salud y al ambiente.

Materia coloidal: un coloide, sistema coloidal, suspensión coloidal o dispersión coloidal es un sistema conformado por dos o más fases, normalmente una fluida (líquido) y otra dispersa en forma de partículas generalmente sólidas muy finas, de diámetro comprendido entre 10^{-9} y 10^{-5} m.

Medio Ambiente: El medio ambiente es el entorno centrado en la biodiversidad de especies, donde se incluyen elementos naturales y artificiales que se relacionan entre sí; y que pueden verse modificados a partir del comportamiento humano.

MMAyA: Ministerio de medio ambiente y agua.

Parámetro: Función definida sobre valores numéricos que caracteriza una población o un modelo.

Patógenos: Un patógeno o agente biológico patógeno es aquel elemento o medio capaz de producir algún tipo de enfermedad o daño en el cuerpo de un animal, un ser humano o un vegetal, cuyas condiciones estén predispuestas a las ocasiones mencionadas.

Planta de tratamiento: Unidad o conjunto de unidades destinadas a mejorar la calidad del agua de tal forma que produzcan en los cuerpos receptores, efectos compatibles con las exigencias legales y/o con la utilización aguas abajo de la población.

Potabilización: Se denomina agua potable o agua para el consumo humano al agua que puede ser consumida sin restricción para beber o preparar alimentos.

Preservación: Mantenimiento en su estado original, de una especie animal o vegetal, grupos de especies, o un recurso natural (aire, suelo o agua). La preservación puede ser ex situ, cuando se realiza fuera de sus lugares habituales de existencia (ocurrencia), Jardines Botánicos.

Procesamiento o Tratamiento: Es la modificación de las características físicas, químicas o biológicas de los residuos y desechos sólidos, con el objeto de reducir su nocividad, controlar su agresividad ambiental y facilitar su manejo.

Propágulos: en biología es un tipo de germen, parte o estructura de un organismo (planta, hongo o bacteria), producido sexual o asexualmente, capaz de desarrollarse de manera separada para dar lugar a un nuevo organismo idéntico al que lo formó.

PSID: Con siglas en inglés (pounds per square inch, differential)

PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales.

Raigambre: Conjunto de raíces de plantas y otros vegetales entrecruzadas en el terreno.

Reactor UASB: Los reactores UASB (del inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket), también conocido como RAFA (reactor anaerobio de flujo ascendente) son un tipo de biorreactor tubular que operan en régimen continuo y en flujo ascendente, es decir, el afluente entra por la parte inferior del reactor, atraviesa todo el perfil longitudinal, y sale por la parte superior.

Recolección: Acción de recoger los residuos y desechos sólidos, para ser transportados a áreas de tratamiento o disposición final.

Recuperación: Acción de utilizar materiales provenientes de los residuos y desechos sólidos, con características y condiciones que permitan su uso posterior con fines diversos

Recursos Naturales: Cualquier elemento del ambiente natural, que pueda significar algún provecho para las poblaciones humanas. Dependiendo de su capacidad de regeneración, se clasifican en renovables o no renovables.

Residuos Sólidos Domiciliarios: Son todos aquellos elementos sólidos que nosotros desechamos de nuestras casas y a los que comúnmente llamamos basura.

Rizomas: Es un tipo de tallo que crece de manera subterránea y en sentido horizontal, dando lugar al surgimiento de brotes y raíces a través de sus nudos. Gracias a su crecimiento indefinido, los rizomas pueden avanzar y cubrir una superficie muy importante.

Saneamiento Ambiental: Medidas encaminadas a controlar, reducir o eliminar la contaminación, con el fin de lograr mejor calidad de vida para los seres vivos y especialmente para el hombre.

Saneamiento básico: Saneamiento básico es el mejoramiento y la preservación de las condiciones sanitarias óptimas de: Fuentes y sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano. Disposición sanitaria de excrementos y orina, ya sean en letrinas o baños. Manejo sanitario de los residuos sólidos, conocidos como basura.

SASL: Sistema de Agua Superficial Libre.

Sedimentación: Es el proceso por el cual los materiales son transportados por distintos agentes (escorrentía, glaciares, viento) y procedentes de la erosión y la meteorización de las rocas son depositados, pasando a ser sedimentos.

Sistema de alcantarillado combinado: Sistema que recolecta y transporta conjuntamente aguas residuales y pluviales, en un solo tubo.

Sistema de alcantarillado pluvial: Conjunto de colectores secundarios, principales, cámaras de inspección, tuberías de conexión, cámaras de conexión, sumideros y conjunto cordón - cuneta, que recogen y transportan aguas pluviales hasta su disposición final. Denominado también sistema de recolección y evacuación de aguas pluviales.

Sistema de alcantarillado sanitario condominial: Sistema destinado a recolectar y transportar aguas residuales utilizando el ramal condominial como unidad básica de conexión.

Sistema de alcantarillado sanitario separado: Sistema destinado a recolectar y transportar aguas residuales, con un solo tubo.

Sistema de alcantarillado sanitario: Conjunto de colectores secundarios, principales, interceptores, emisarios, bombeo, cámaras de inspección, terminales de limpieza y tubos de inspección y limpieza, que recogen y transportan aguas residuales hasta la planta de tratamiento o disposición final. Denominado también sistema de recolección y evacuación de aguas residuales.

Substrato o Sustrato: Medio en el que se desarrollan una planta o un animal fijo.

Tanque IMHOFF: Es un tipo de tanque de doble función recepción y procesamiento para aguas residuales. Pueden verse tanques Imhoff en muchas formas, rectangulares y hasta circulares, pero siempre disponen de una cámara o cámaras superiores por las que pasan las aguas negras en su período de sedimentación, además de otra cámara inferior donde la materia

recibida por gravedad permanece en condiciones tranquilas para su digestión anaeróbica.

Taxonomía: Ciencia que trata de los principios, métodos y fines de la clasificación, generalmente científica; se aplica, en especial, dentro de la biología para la ordenación jerarquizada y sistemática de los grupos de animales y de vegetales.

Todepuradoras: El procedimiento y el resultado de depurar se conocen como depuración. El verbo depurar, por su parte, refiere a purgar, higienizar, filtrar o reacondicionar una cosa.

ÍNDICE

CAPITULO I -----	1
1.1. INTRODUCCIÓN-----	2
1.2. Antecedentes-----	4
1.2.1. El uso de agua residual para riego en Bolivia. -----	5
1.3. Formulación del Problema que Justifique el Tema -----	6
1.4. Objetivos del Proyecto: -----	6
1.4.1. General -----	6
1.4.2. Específicos -----	6
CAPITULO II -----	7
2.1. MARCO TEÓRICO -----	8
2.1.1. El surgimiento de las Plantas de Tratamiento. -----	8
2.1.2. Cifras de Inversión Nacional -----	13
2.1.3. Características físicas, químicas y biológicas del Agua Residual ---	14
2.1.3.1. Características físicas -----	16
2.1.3.2. Sólidos totales -----	16
2.1.3.3. Olores -----	17
2.1.3.4. Temperatura -----	18
2.1.3.5. Densidad -----	19
2.1.3.6. Color -----	19
2.1.3.7. Turbiedad -----	20
2.1.4. Características químicas -----	21

2.1.4.1. Materia orgánica -----	21
2.1.4.1.1. Medición del contenido orgánico-----	22
2.1.4.2. Materia inorgánica-----	23
2.1.4.3. Gases presentes en el agua residual -----	23
2.2. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales-medios Biológicos-----	24
2.2.1.1. Sistema de Humedales Artificiales-----	24
2.2.1.1.1. Humedales Artificiales de Flujo libre o Superficial-----	25
2.2.1.1.2. Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial-----	25
2.2.2. Generalidades de la Totorá -----	26
2.2.2.1. Características generales de la Totorá -----	27
2.2.2.2. Taxonomía -----	29
2.2.2.3. Características botánicas-----	30
2.2.2.4. Morfología de la totora -----	31
2.2.2.4.1. Raíces -----	31
2.2.2.4.2. Rizoma -----	32
2.2.2.4.3. Tallo-----	33
2.2.2.4.4. Xilema -----	34
2.2.2.4.5. Floema -----	35
2.2.2.4.6. Inflorescencia-----	35
2.2.2.5. Reproducción-----	36
2.2.2.6. Características fenológicas de la totora -----	37
2.2.2.7. Límites permisibles en plantas acuáticas y plantas en general -	37
2.2.2.8. Vegetación acuática -----	38
2.2.2.9. Determinación de coliformes fecales en la Totorá de agua -----	40

2.2.2.10. Grado de contaminación de los metales pesados en la Titora. -----	40
2.2.3. Tipos de humedales artificiales -----	42
2.3. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales -----	44
2.3.1. Características biológicas -----	47
2.4. Bases Legales -----	55
2.4.1. Derecho al medio ambiente -----	55
2.4.2. Medio ambiente, recursos naturales, tierra y territorio -----	56
2.4.2.1. Recursos hídricos -----	56
2.4.3. Ley 1333 de Medio Ambiente - 27 de abril de 1992 -----	56
2.4.4. Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica - 1995 -----	57
2.4.5. Ley de Riego N.º 2878 -----	58
2.4.6. Ley de los derechos de la Madre Tierra N.º 300 -----	58
2.4.7. Ley general del turismo. “BOLIVIA TE ESPERA”. LEY N° 292. -----	59
2.5. Plan Sectorial de Desarrollo de Saneamiento Básico -----	60
2.6. Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) -----	60
2.7. Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios en Saneamiento Básico (SENASBA) -----	61
2.8. NORMA 688 Instalaciones sanitarias -alcantarillado sanitario, pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales -----	61
CAPITULO III -----	64
3.1. MARCO PRÁCTICO -----	65
3.1.1. Estructuras o instalaciones. -----	65

3.2. Ejemplo de cálculo de una Planta de Tratamiento -----	67
3.2.1. Humedales sub superficiales de flujo Horizontal -----	67
3.2.1.1. Cálculo del área superficial -----	68
3.2.1.2. La profundidad del humedal -----	70
3.2.1.3. Pendiente -----	70
3.2.1.4. Substrato-----	71
3.2.1.5. Relación Largo – Ancho -----	72
3.2.2. Humedales sub superficiales de flujo vertical. -----	75
3.2.2.1. Cálculo del área necesaria-----	76
3.2.2.2. Profundidad del humedal-----	78
3.2.2.3. Pendiente-----	78
3.2.2.4. Substrato-----	79
3.3. Monitoreo y muestreo de Humedales Artificiales-----	83
3.3.1. Planificación y ubicación de los puntos de muestreo -----	83
3.3.2. Planificación del muestreo a largo plazo -----	84
3.3.3. Selección de los parámetros a analizar-----	85
3.3.4. Localización de los puntos de muestreo-----	87
3.3.5. Metodología de recolección de muestras -----	89
3.3.6. Tipos de muestreo-----	89
3.3.7. Recolección de agua residual -----	92
3.3.8. Cantidad de muestra-----	93
3.3.9. Procedimiento de etiquetado y registro -----	93
3.3.10. Conservación y almacenamiento de muestras-----	94
3.4. Control de la exposición humana -----	96

CAPITULO IV	99
4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
5.1. BIBLIOGRAFIA	101
ANEXOS	111
Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado – SEMAPA.....	112
A.2. Planta de tratamiento POR FUNHABIT – PUJILÍ	126
A.2.1. Funcionamiento	127
A.2.2. Condiciones	128
A.2.3. Plantas emergentes en la depuración.....	131
A.2.4..Aspectos importantes a tomar en cuenta	132

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Río Choqueyapu, sector zona Sur. -----	9
Ilustración 2 Volumen de aguas residuales en plantas de tratamiento, según departamento, 2015. -----	11
Ilustración 3 Tipos de humedales artificiales. -----	25
Ilustración 4 Las orillas de Yahuarcocha y San Pablo son los principales sitios de cultivo. -----	26
Ilustración 5 Taxonomía de la totora. -----	29
Ilustración 6 Raíces de la Totora. -----	32
Ilustración 7 Rizoma de la Totora. -----	33
Ilustración 8 Tallo de la Totora. -----	33
Ilustración 9 Xilema de la Totora. -----	35
Ilustración 10 Floema de la Totora. -----	35
Ilustración 11 Inflorescencia de la Totora -----	36
Ilustración 12 Sistema de agua superficial libre (SASL). -----	42
Ilustración 13 Filtros de piedra y juncos de caña. -----	43
Ilustración 14 Filtros de piedra y juncos de caña desarrollada en la ex Alemania Oriental. -----	44
Ilustración 15 Esquema de tratamiento de aguas residuales -----	44
Ilustración 16 Constitución política del estado. -----	55
Ilustración 17 Contaminación Hídrica en ríos. -----	57
Ilustración 18 Cartilla educativa "Derechos de la Madre Tierra". -----	59
Ilustración 19 Ley general de turismo "BOLIVIA TE ESPERA". -----	60
Ilustración 20 Vista satelital de ampliación de planta de tratamiento de Puchokollo-El Alto. -----	69
Ilustración 21 Esquema de Humedales. -----	76
Ilustración 22 Tanque IMHOFF. -----	77

Ilustración 23 Esquema de una planta de tratamiento de aguas residuales. ---	88
Ilustración 24 Mapa de ubicación de las PTAR en Bolivia y categorización de las EPSA. -----	116
Ilustración 25 Planta de tratamiento de Puchukollo. -----	123
Ilustración 26 Ambientes de Laboratorio Puchukollo. -----	124
Ilustración 27 Punto de Muestreo - Afluente General (Canal Parshall).-----	124
Ilustración 28 Lagunas de estabilización (PTAR - Puchukollo).-----	125
Ilustración 29 Coloración del Agua Residual que llega al PTAR (muestra compuesta). -----	125
Ilustración 30 Humedal de Planta de Totorá.-----	126
Ilustración 31 Planta de Totorá.-----	127
Ilustración 32 Construcción de Planta de Tratamiento.-----	128
Ilustración 33 Caja de Revisión. -----	129
Ilustración 34 Relleno de la Planta. -----	131

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Inversión pública ejecutada en proyectos de agua potable y saneamiento básico por área y servicio según año y departamento (En miles de dólares americanos).-----	13
Cuadro 2 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual.-----	14
Cuadro 3 Contenido de metales en plantas acuáticas y terrestres sin efectos tóxicos.-----	38
Cuadro 4 Resumen de resultados de análisis de metales pesados en la Totora.-----	41
Cuadro 5 Costos y área requerida por los diferentes procesos de tratamiento.	45
Cuadro 6 Ventajas y desventajas de algunos de los procesos de tratamiento de aguas residuales.-----	48
Cuadro 7 Clasificación de las unidades de tratamiento.-----	65
Cuadro 8 Comparación de relaciones DBO5/DQO y DBO5/COT.-----	70
Cuadro 9 Características principales de los substratos usados en los humedales.-----	72
Cuadro 10 Parámetros de diseño de humedal sub superficial de flujo horizontal.-----	74
Cuadro 11 Alturas de sustrato según el tipo de tratamiento.-----	79
Cuadro 12 Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales verticales.-----	81
Cuadro 13 Parámetros de diseño de humedal sub-superficial de flujo Vertical.-----	82
Cuadro 14 Valores referenciales de evaluación de agua para riego.-----	87
Cuadro 15 Ejemplo de cálculo de alícuotas para muestra compuesta.-----	91
Cuadro 16 Recomendaciones para el muestreo y preservación de muestras.	96
Cuadro 17 Volúmenes de agua residual reportadas por la EPSA periodo 2005.-----	117

Cuadro 18 Relación de porcentajes de Agua Residual tratada y sin tratarla - 118
Cuadro 19 Control de calidad de efluentes reportados por las EPSA. ----- 119
Cuadro 20 Parametros de ControlL.----- 120
Cuadro 21 Componentes de infraestructura en 15 PTAR diagnosticadas. --- 121

CAPITULO I

1.1. Introducción

El agua es un elemento natural indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades humanas, resultando difícil imaginar cualquier tipo de actividad en la que no se utilice este líquido elemento, de una u otra forma.

El crecimiento de la población en Bolivia y el mundo han aumentado el uso del agua para diferentes actividades, proporcionalmente han incrementado los niveles de contaminación acuífera. La misma se relaciona con los vertidos de origen doméstico, industrial y basura. En el caso de los residuos de origen doméstico, la carga contaminante está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos de origen fecal. En la actividad industrial y minera se arroja metales tóxicos y el daño producido es mayor al no ser química ni biológicamente degradables en un corto ni mediano plazo. Una vez emitidos, los metales pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Estos efectos adversos dañan directamente a los seres humanos, animales, vida acuática, y suelos. De hecho, la toxicidad de estos metales ha quedado documentada a lo largo de la historia.

Bolivia en busca de mejores oportunidades de vida; las migraciones más relevantes son las de la ciudad de El Alto y Potosí. La ciudad de La Paz se ha desarrollado a lo largo del río Choqueyapu, y de sus afluentes principales Orkojahuirá, Irpavi, Achumani el cual constituye el eje central del área urbana y el único cauce por el que se puede desechar aguas residuales. Como también la ciudad de El Alto recibe todas sus desembocaduras al gran y conocido río Seco que este a su vez atraviesa toda la ciudad y culmina su recorrido en una planta de tratamiento de aguas residuales en la localidad de Puchukollo.

Estos ríos transportan importantes cantidades de agua contaminada a lo largo de la urbe paceña, a su vez se puede apreciar a simple vista que el agua del río Choqueyapu y río seco no es limpia, sino al contrario se nota la contaminación excesiva; estas aguas contaminadas producen serios daños, sobre todo a la agricultura que se desarrolla río abajo, puesto que el agua es utilizada para el riego de todo tipo de sembradío, debido a que las áreas de cultivo están a orillas de estos ríos y que proporcionan mayor cantidad de alimentos a la ciudad de La Paz y El Alto respectivamente, las mismas que se encuentran sin ningún tipo de tratamiento o desinfección antes de su uso como riego a los sembradíos de (Río Abajo) ubicadas en el Municipio de Mecapaca en el caso de la ciudad de La Paz y para la ciudad de El Alto si bien cuentan con una planta de tratamiento de aguas residuales no son suficientes debido al incremento de la población y a consecuencia esto produce un excedente de contaminación que sale nuevamente a contaminar el río.

Si bien se realizaron trabajos anteriores con relación a este tema, no tuvieron la trascendencia esperada o no se le dio la importancia debida y es en este sentido que se hace este trabajo para poder implementar uno de las plantas denominada Tatora, como un método de descontaminación de las aguas provenientes de la ciudad de La Paz y de como cualquier otra población o industria que produjese estas aguas contaminadas, y así determinar si los resultados obtenidos después de pasar un proceso de purificación del agua, disminuyeron de acuerdo a los valores máximos aceptables para la Clase “B” de la norma mexicana AA-083-SCFI.2005 como parámetro de comparación para los sólidos disueltos de aguas o son aceptables y están dentro de los parámetros máximos permitidos por la norma Mexicana que regula esta situación.

1.2. Antecedentes

Como es de conocimiento general dentro de los departamentos de Bolivia (La Paz, Santa Cruz y Cochabamba), es donde se acumula la mayor parte de la población, consecuencia de la migración desde el campo hacia la ciudad, y el asentamiento irregular y descontrolada en zonas que carecen de los servicios básicos (agua potable y alcantarillado sanitario)

Para conseguir estos incrementos de servicios básicos, el Gobierno boliviano, con ayuda de la cooperación extranjera, pretende invertir alrededor de 500 millones de dólares en el sector del agua de Bolivia en los próximos años, teniendo como áreas de preferencia las zonas rurales y las zonas periurbanas de las grandes ciudades.

Fuente: Marthadina Mendizabal de Finot. ILDIS. La Paz un Ecosistema Frágil ante la Agresión Urbana. 1990 La Paz-Bolivia.

Como ejemplo tenemos el río Choqueyapu, que recibe en definitiva toda la carga de la ciudad de La Paz que se traduce en 500 mil litros de orina, 200 toneladas de excretas, parte de las 140 toneladas de basura no recogidas, residuos líquidos y sólidos de las industrias, desechos hospitalarios etc.

Fuente: Marthadina Mendizabal de Finot. ILDIS. La Paz un Ecosistema Frágil ante la Agresión Urbana. 1990 La Paz-Bolivia.

El río Choqueyapu es el principal colector de aguas de la ciudad de La Paz, cuya longitud en la zona urbanizada es de 25 km. de los cuales 15 km. están canalizados (12 abiertos y 3 cerrados). El curso superior e inferior no está canalizado. Al río confluyen alrededor de 20 ríos canalizados con una longitud de 50 Km. Entre los principales ríos se encuentran el Achachicala, Orckojahuirra, Irpavi y Achumani. En su curso superior, el río Choqueyapu se constituye en fuente de abastecimiento parcial de agua, previo tratamiento de la planta de Achachicala. Continuando su curso hacia el sur, el río se ha convertido en una

gran alcantarilla abierta que recibe los afluentes de la actividad industrial, doméstica y algunas aguas subterráneas que se acoplan a ella, además de una parte de la basura urbana que es echada por algunos habitantes de forma directa. En su curso inferior, las aguas del río Choqueyapu se conectan al río La Paz donde son aprovechadas para el riego de sembradíos que a futuro servirán de alimento para la misma ciudad. Las turbulencias ocasionadas en la pendiente del norte a sur facilitan la oxigenación de las aguas del río, sin embargo este proceso de auto purificación se hace crítico en períodos de mínima precipitación y de estiaje.

1.2.1. El uso de agua residual para riego en Bolivia.

El uso informal de las aguas residuales sin tratamiento para el riego agrícola, ya sea por aplicación directa o diluida por cauces naturales, es una práctica habitual en Bolivia. Al menos 5000 hectáreas de tierras de cultivo son regadas con aguas residuales sin algún tipo de tratamiento, de las cuales el 86 por ciento se encuentran en los departamentos de La Paz y Cochabamba, estando en su mayoría en zonas periurbanas de áreas metropolitanas.

De acuerdo con los anteriores datos, los principales problemas de contaminación hídrica se producen porque las poblaciones cercanas, las industrias, los centros hospitalarios vierten sus residuos a lo largo de estos ríos, que se ha convertido en alcantarillas de forma abierta. Es por esto que desde hace tiempo se ha estado trabajando en la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales o la mitigación de contaminación a los recursos hídricos, para ello en este sentido haremos énfasis en el uso de la totora como elemento de descontaminación en los grandes proyectos de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

1.3. Formulación del problema que justifique el tema

A pesar de todo lo abordado anteriormente actualmente hay muy pocos municipios que se encargan de esta situación, no tomando en cuenta el grado de importancia que deberíamos tomar a esta situación, debido a los efectos que conlleva la contaminación hídrica a las aguas residuales, por ello es que se hace este trabajo de aplicación, debido a que este recurso natural como la totora es de fácil adquisición y no requiere de mucho mantenimiento y cuidado ya que es característica de esta planta la de la absorción de la mayoría de la descomposición de los residuos tanto domésticos como industriales.

1.4. Objetivos:

1.4.1. GENERAL

Evaluar o ampliar el uso de la Totora (*Schoenoplectus Californicus*) en plantas de tratamiento de aguas provenientes de desechos líquidos provenientes de residencias, instituciones, fábricas o industrias, como también de desechos líquidos provenientes de los hábitos higiénicos del hombre en actividades domésticas; conocidas como aguas residuales.

1.4.2. ESPECÍFICOS

1. Identificar el nivel de tratamiento y la calidad de agua que se obtiene de las aguas residuales antes y después de ser tratadas con el uso de la Totora (*Schoenoplectus Californicus*) como un medio de desinfección.
2. Plantear mecanismos de operación y mantenimiento para las unidades de tratamiento de aguas residuales con el uso de la totora.
3. Identificar los impactos ambientales por efectos de las aguas residuales, y su consecuencia en la población.
4. Investigar y analizar el marco legal del aspecto ambiental, y las políticas de mitigación y prevención



CAPITULO II

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. EL SURGIMIENTO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO.

La problemática del manejo de las aguas residuales retomó mayor importancia con la llegada de la Revolución Industrial y con el crecimiento de la población mundial y ello desembocó que las antiguas fosas sépticas se empezaran a utilizar aproximadamente a comienzos del siglo XX.

Fuente: <http://www.aecid.bo/portal/2016/08/16/licitaciones-fcas-licitacion-para-la-construccion-de-la-ptar-plan-tres-mil-en-santa-cruz-de-la-sierra-bolivia-bol-001-m-fecasalc-cooperacion-espanola/>

Las principales fuentes de contaminación del agua en Bolivia se deben a las aguas residuales (Urbanas e industriales) y residuos del saneamiento alternativo urbano y rural, a las descargas de sedimento por erosión de las laderas de las cuencas y a los derivados de los procesos extractivos, entre ellos la minería y los procesos productivos agropecuarios extensivos.

Actualmente, la mayoría de las PTAR (Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales) construidas en Bolivia no tienen un funcionamiento adecuado o están en abandono. La causa común es la falta de sostenibilidad financiera y técnica de las mismas, ya que en muchas ocasiones los diseños son inadecuados y las tarifas que cobran las EPSA por este servicio no logran cubrir los costos de operación y mantenimiento. También se ha verificado que sus efluentes, aguas vertidas a los cauces naturales, no cumplen con los límites permisibles del reglamento de contaminación hídrica, lo que significa que estas plantas son ineficientes y que las aguas de los cauces naturales a las que se vierten sus efluentes están siendo contaminadas. Se informa que el 80% de las EPSA reguladas cumplen con el tratamiento y análisis del agua residual de la

PTAR que administran, pero solo 19% de ellas cuentan con controles satisfactorios.

Fuente: Edwin Laruta. (Director general de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario del Ministerio de Medio Ambiente y Agua)



Ilustración 1 Rio Choqueyapu, sector zona Sur.

Fuente: (fotografía) Leny Chuquimia / Pagina Siete / La Paz.

Las aguas recolectadas por sistemas de alcantarillado arrastran desde elementos patógenos hasta sustancias tóxicas para poblaciones y medio ambiente. La falta de recursos técnicos y económicos en municipios y operadoras de agua dificulta la implementación de unidades de saneamiento del líquido.

“Las condiciones en acceso a agua ya son buenas, nos falta el saneamiento. En el tratamiento del agua es donde, quizás, tenemos las mayores dificultades. Nuestro país no cuenta con muchas plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), apenas abarcamos un 40% de las aguas residuales. Tenemos que

mejorar”, admitió el director general de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA).

Fuente: Edwin Laruta. (Director general de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario del Ministerio de Medio Ambiente y Agua)

La autoridad, que participó en seminario “Soluciones basadas en la naturaleza” que se realizó por el Día Mundial del Agua (que se celebra el 22 de marzo), enfatizó que el saneamiento es una responsabilidad compartida. “Podríamos hablar mucho sobre las obligaciones de las alcaldías, las operadoras de agua potable y otras instituciones, pero sabemos que ellos también tienen dificultades de tipo técnico y económico”, sostuvo.

Fuente: Edwin Laruta. (Director general de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario del Ministerio de Medio Ambiente y Agua)

La función de las PTAR es la depuración de las aguas residuales urbanas que son recolectadas por las redes de alcantarillado. Estas plantas de tratamiento deben reducir las cargas orgánicas y patógenas a “límites permisibles” para su posterior reutilización.

Registros Administrativos de la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS), establecen que entre 2011 y 2015 el volumen de agua residual en plantas de tratamiento registró un aumento de 31.171,92 metros cúbicos, de 84.800,77 metros cúbicos el 2011 a 115.972,69 metros cúbicos el 2015.

A nivel departamental, Santa Cruz reporta el mayor volumen de aguas residuales en plantas de tratamiento con 67.120,1 miles de metros cúbicos, de lejos Cochabamba con 13.871,91 miles de metros cúbicos, La Paz y Tarija con 12.695,7 y 12.245,6 miles de metros cúbicos, respectivamente.

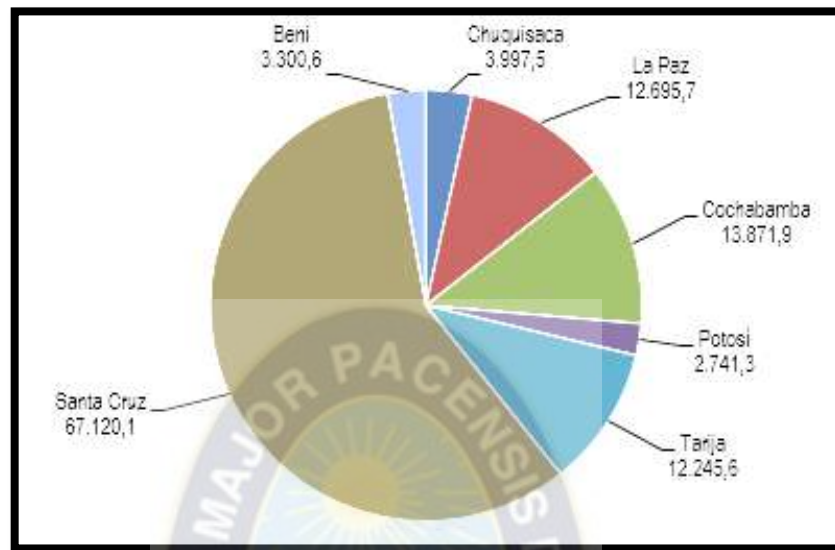


Ilustración 2 Volumen de aguas residuales en plantas de tratamiento, según departamento, 2015.

(En miles de metros cúbicos)

Fuente: Instituto Nacional de Estadística - Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2015

Nota: La información contempla EPSA con seguimiento regulatorio.

“Por cada pueblo -sea pequeñito o grande- deberíamos tener una sistema de agua y de alcantarillado sanitario con su respectiva planta de tratamiento. No obstante, en el eje central del país, donde está concentrada la mayor cantidad de habitantes, es donde tenemos más problemas”.

Fuente: Edwin Laruta. (Director general de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario del Ministerio de Medio Ambiente y Agua)

El municipio de La Paz es uno de los que mayor preocupación genera. Sin una planta de tratamiento, a diario el río Choqueyapu atraviesa toda la hoyada arrastrando en su cauce los residuos vertidos por el sistema de alcantarillado y los desechos industriales. Orines, excretas y elementos tóxicos van a parar a

las comunidades de Río Abajo, donde contaminan alimentos con su riego y generan problemas de salud. “Es un efecto muy fuerte”.

Sanear el río Choqueyapu es “un gran reto”. Después de años de gestiones y la crisis del agua que azotó la urbe en 2016, en noviembre pasado el Gobierno anunció la licitación del estudio a diseño final de la planta de tratamiento del río Choqueyapu.

La viceministra de Agua Potable y Servicios Básicos, **Julia Collado**, dijo que por su complejidad este estudio será realizado entre nueve a 12 meses. Una vez se tenga el proyecto se procederá a la búsqueda de financiamiento para la construcción. Se estima que requerirá un inversión de al menos 80 millones de dólares.

En El Alto hay una planta en construcción y otra en licitación para su ampliación, sin embargo, las aguas residuales son la principal causa de contaminación del lago Titicaca. Tacachira es uno de los proyectos que preocupa.

“En 2004 conseguimos el financiamiento suizo pero por resistencia de los vecinos que no querían la planta (por temor a los olores y la contaminación) y los constantes cambios en el proyecto perdimos el dinero. El 2009 conseguimos un nuevo dinero de la CAF pero ahora tenemos problemas con la empresa constructora porque la alcaldía no da su contraparte. Hay riesgo de que volvamos a perder la inversión”.

Fuente: Edwin Laruta. (Director general de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario del Ministerio de Medio Ambiente y Agua)

2.1.2. CIFRAS DE INVERSIÓN NACIONAL

Según información oficial, a través de los programas “Mi Agua” el documento también señala como uno de los avances que entre 2011 y 2018 se invirtieron 3.400 millones de bolivianos, ejecutando un total de 3.224 proyectos.

Y el Programa Mi Riego en sus fases I, II y III ejecutó 378 proyectos, con una inversión de 1.958 millones de bolivianos, beneficiando a 49.661 familias.

Fuente: *Construyendo Democracia, Comunica Bolivia*

Cuadro 1 Inversión pública ejecutada en proyectos de agua potable y saneamiento básico por área y servicio según año y departamento (En miles de dólares americanos).

DESCRIPCIÓN	TOTAL GENERAL	TOTAL	AGUA POTABLE	ALCANTARILLADO	RESIDUOS SOLIDOS	TOTAL AREA RURAL	AGUA POTABLE AREA RURAL	SANEAMIENTO(2)
1992 TOTAL	48.690,00	40.908,00	30.087,00	8.497,00	2.324,00	7.782,00	5.523,00	2.259,00
CHUQUISACA	8.179,00	6.899,00	5.838,00	311,00	750,00	1.280,00	964,00	316,00
LA PAZ	12.859,00	10.786,00	6.303,00	4.290,00	193,00	2.073,00	1.121,00	952,00
COCHABAMBA	14.916,00	14.298,00	12.295,00	622,00	1.381,00	618,00	479,00	139,00
ORURO	1.938,00	1.825,00	1.527,00	298,00	0,00	113,00	113,00	0,00
POTOSÍ	1.304,00	115,00	115,00	0,00	0,00	1.189,00	640,00	549,00
TARIJA	455,00	396,00	288,00	108,00	0,00	59,00	29,00	30,00
SANTA CRUZ	8.232,00	6.108,00	3.288,00	2.820,00	0,00	2.124,00	1.978,00	146,00
BENI	550,00	224,00	198,00	26,00	0,00	326,00	199,00	127,00
PANDO	257,00	257,00	235,00	22,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: *Instituto Nacional de Estadística - Dirección General de Saneamiento Básico (DIGESBAS) Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos* Afluente y Sistemas de Saneamiento insitu (letrinas) y de post construcción.

(1): Incluye fondos del FIS. Aporte Municipal y otras instituciones, no incluye proyectos especiales
 (2): Saneamiento está compuesto por sistemas de alcantarillado con tratamiento del
 (3): Área Rural, incluye residuos sólidos

2.1.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica como se muestra en el siguiente cuadro donde se ve las principales propiedades físicas, así como sus principales constituyentes químicos y biológicos y su procedencia. Es conveniente observar que muchos de sus parámetros que aparecen en el cuadro están relacionados entre ellos.

Cuadro 2 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual.

CARACTERÍSTICAS	PROCEDENCIA
Propiedades físicas: Color: Olor: Solidos: Temperatura:	Aguas residuales domesticas e industriales, degradación natural de materia orgánica. Agua residual en descomposición, residuos industriales. Agua de suministro, aguas residuales domesticas e industriales, erosión del suelo infiltración y conexiones incontroladas. Aguas residuales domesticas e industriales.
Constituyentes químicos: Orgánicos: Carbohidratos Grasas animales, aceites y grasa Pesticidas Fenoles Proteínas Contaminantes prioritarios Agentes tenso activos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. Residuos agrícolas. Vertidos industriales. Aguas residuales domésticas,

<p>Compuestos orgánicos volátiles Otros</p>	<p>industriales y comerciales. Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. Aguas residuales domésticas, industriales y Comerciales. Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. Degradación natural de materia orgánica.</p>
<p>Inorgánicos: Alcalinidad Cloruros Metales pesados Nitrógeno pH Fósforo Contaminantes prioritarios Azufre Gases: Sulfuro de hidrogeno Metano Oxigeno</p>	<p>Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea. Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea. Vertidos industriales. Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas. Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía. Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales. Descomposición de residuos domésticos. Descomposición de residuos domésticos. Agua de suministro; infiltración de agua superficial</p>
<p>Constituyentes biológicos: Animales Plantas</p>	<p>Cursos de agua y plantas de tratamiento. Cursos de agua y plantas de tratamiento.</p>

Protistas	
Eubacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
Arqueobacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
Virus	Aguas residuales domésticas.

Fuente: Rodrigo Marcelo Ayala Fanola y Greby Gonzales Marquez (Proyecto de grado Cbba. 2008).

2.1.3.1. 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.

2.1.3.2. Sólidos totales

Analíticamente se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación con una temperatura entre 103 a 105 °C como se detalla en el cuadro 2, no se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor.

Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica conocida como el cono de Inhoff, en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables expresados en unidades de ml/l, constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual.

Los sólidos totales, o residuo de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro, para este proceso de separación suele emplearse un filtro de fibra de vidrio con un tamaño nominal de poro de 1.2 micrómetros, aunque también suele emplearse filtro de membrana de policarbonato. Es conveniente destacar que los resultados que se obtienen empleando ambos tipos de filtros pueden presentar algunas diferencias, achacables a la diferencia estructural de ambos filtros.

Fuente: Rivera G. 2009. (Plantas de tratamiento de aguas negras, Apuntes de Cátedra. Universidad Mayor de San Andrés. Instituto de Ingeniería Sanitaria).

2.1.3.3. Olores

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual resiente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el agua residual séptica. El olor más peculiar del agua residual séptica es el debido a la presencia de sulfuro de hidrogeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamientos.

La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales, en los últimos años, con el fin de mejorar la opinión publica respecto a la implantación de los sistemas de tratamiento, el control y la limitación de los olores han pasado a ser factores de gran importancia en el diseño y proyecto de redes de alcantarillado, plantas de tratamiento y sistemas de evacuación de

aguas residuales. En muchos lugares, el temor al desarrollo potencial de olores ha sido causa del rechazo de proyectos relacionados con el tratamiento de aguas residuales.

La influencia de los olores sobre el normal desarrollo de la vida humana tiene más importancia por la tensión psicológica que generan que por el daño que puedan producir al organismo. Los olores molestos pueden reducir el apetito, inducir a menores consumos de agua, producir desequilibrios respiratorios, náuseas y vómitos y crear perturbaciones mentales. En condiciones extremas, los olores desagradables pueden conducir al deterioro de la dignidad personal y comunitaria, interferir en las relaciones humanas, desanimar las inversiones de capital, hacer descender el nivel socioeconómico y reducir el crecimiento.

Fuente: Rivera G. 2009. (Plantas de tratamiento de aguas negras, Apuntes de Cátedra. Universidad Mayor de San Andrés. Instituto de Ingeniería Sanitaria).

2.1.3.4. 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. Dado el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y solo son menores que ella durante los meses más calurosos del verano. 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. Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento en las velocidades de reacciones químicas que produce un aumento de temperatura, combinado con la reducción del oxígeno presente en las aguas superficiales, es causa frecuente de agotamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto durante los meses de verano. Estos efectos se ven amplificados cuando se vierten cantidades considerables de agua caliente a las aguas naturales receptoras.

Fuente: Rivera G. 2009. (Plantas de tratamiento de aguas negras, Apuntes de Cátedra. Universidad Mayor de San Andrés. Instituto de Ingeniería Sanitaria).

2.1.3.5. Densidad

Se define la densidad de un agua residual como su masa por unidad de volumen, expresada en Kg/m³. Es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento. La densidad de las aguas residuales domésticas que no contengan grandes cantidades de residuos industriales es prácticamente la misma que la del agua a la misma temperatura. En ocasiones, se emplea como alternativa a la densidad el peso específico del agua residual, obtenido como cociente entre la densidad del agua residual y la densidad del agua. Ambos parámetros, la densidad y el peso específico, dependen de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos en el agua residual.

Fuente: Rivera G. 2009. (Plantas de tratamiento de aguas negras, Apuntes de Cátedra. Universidad Mayor de San Andrés. Instituto de Ingeniería Sanitaria).

2.1.3.6. 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. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domésticas. En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual.

Fuente: Rivera G. 2009. (Plantas de tratamiento de aguas negras, Apuntes de Cátedra. Universidad Mayor de San Andrés. Instituto de Ingeniería Sanitaria).

2.1.3.7. 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. La materia coloidal dispersa o absorbe la luz, impidiendo su transmisión. Aun así, no es posible afirmar que exista una relación entre la turbiedad y la concentración de sólidos en suspensión de un agua no tratada. No obstante, si están razonablemente ligados la turbiedad y los sólidos en

suspensión en el caso de los efluentes procedentes de la decantación secundaria en el proceso de fangos activados.

Fuente: Rivera G. 2009. (Plantas de tratamiento de aguas negras, Apuntes de Cátedra. Universidad Mayor de San Andrés. Instituto de Ingeniería Sanitaria).

2.1.4. Características químicas

Fuente: Rivera G. 2009. (Plantas de tratamiento de aguas negras, Apuntes de Cátedra. Universidad Mayor de San Andrés. Instituto de Ingeniería Sanitaria).

El estudio de las características químicas de las aguas residuales se aborda en los siguientes cuatro apartados: Materia orgánica, La medición del contenido orgánico, La materia inorgánica, Los gases presentes en el agua residual.

2.1.4.1. 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.

Junto con las proteínas, los hidratos de carbono, las grasas, los aceites y la urea, el agua residual también contiene pequeñas cantidades de gran número de moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura puede ser desde muy simple a extremadamente compleja.

Como podemos citar a los agentes tenso activos, los contaminantes orgánicos prioritarios, los compuestos orgánicos volátiles y los pesticidas de uso agrícola. En los últimos años este hecho ha complicado notablemente los procesos de tratamientos de aguas residuales debido a la imposibilidad o a la extremada lentitud de los procesos de descomposición biológica de dichos compuestos.

2.1.4.1.1. 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, y los empleados para determinar las concentraciones a nivel de traza, para concentraciones 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. (Romero, 1999)

La determinación de las concentraciones de pesticidas suele llevarse a cabo mediante el método de extracción con carbono-cloroformo, que consiste en la separación de los contaminantes del agua haciendo pasar una muestra de agua por una columna de carbón activado, para luego separar los contaminantes del carbono empleando cloroformo.

2.1.4.2. 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 las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan. Las aguas naturales disuelven parte de las rocas y minerales con los que entran en contacto. Las aguas residuales, salvo en caso de determinados residuos industriales, no se suelen tratar con el objetivo específico de eliminar los constituyentes inorgánicos que se incorporan durante el ciclo del uso.

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.

2.1.4.3. 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 hidrogeno, 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).

2.2. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES-MEDIOS BIOLÓGICOS

2.2.1.1. SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES

Principalmente están compuestos por: un sustrato o material granular: sirve de soporte a la vegetación y permite la fijación de la biopelícula bacteriana que interviene en la mayoría de los procesos de eliminación de contaminantes presentes en las aguas a tratar.

La vegetación: principalmente compuesta por macrófitas emergentes que contribuyen a la oxigenación del sustrato a nivel de la biosfera, a la eliminación de nutrientes por absorción/extracción y al desarrollo de la biopelícula bacteriana; el agua a tratar o influente: circula a través del sustrato y la vegetación.

Los mecanismos por los que este tipo de sistemas son capaces de depurar las aguas residuales se basan en los siguientes principios:

- ◊ Eliminación de sólidos en suspensión gracias a fenómenos de filtración que tienen lugar entre el sustrato y las raíces.
- ◊ Eliminación de materia orgánica gracias a la acción de los microorganismos (principalmente bacterias). Los microorganismos que se desarrollan pueden ser aerobios (con O₂) o anaerobios (sin O₂). Eliminación de nitrógeno bien por acción directa de las plantas, bien por procesos de nitrificación-desnitrificación desarrollados por los microorganismos antes mencionados.
- ◊ Eliminación de fósforo principalmente debido a los fenómenos de adsorción sobre los componentes del sustrato.
- ◊ Eliminación de patógenos mediante la adsorción sobre partículas del sustrato, la toxicidad producida por las raíces de las plantas y la acción depredadora de bacteriófagos y protozoos.

2.2.1.1.1. HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO LIBRE O SUPERFICIAL

El agua circula por encima del sustrato continuamente. Se favorecen las condiciones aerobias al estar el agua directamente expuesta a la atmósfera. Se emplean para tratar efluentes procedentes de tratamientos secundarios y para crear y restaurar ecosistemas acuáticos.

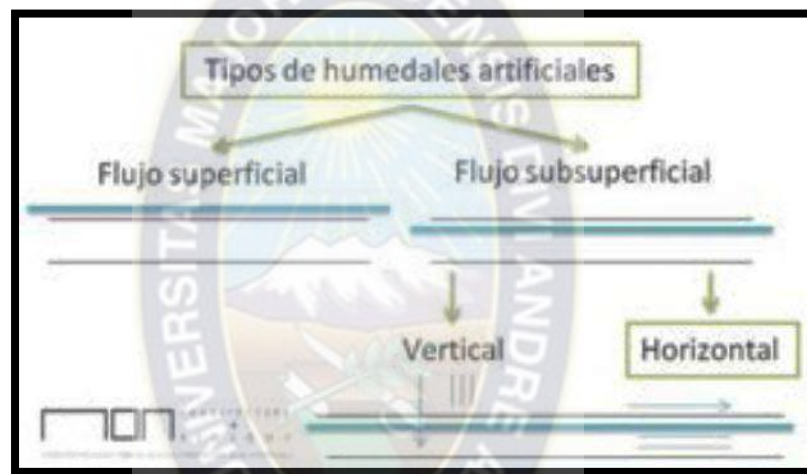


Ilustración 3 Tipos de humedales artificiales.

Fuente figura: www.iagua.es/sites/default/files/images/3-tipos%20humedales+lago.jpg

2.2.1.1.2. HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

El agua circula a través del sustrato. **ÁMBITOS DE APLICACIÓN** Aguas residuales de origen doméstico o municipal (municipios urbanos y rurales, centros de salud, campamentos, instalaciones hoteleras, clubes deportivos, escuelas, casas, villas, etc...). Aguas residuales de origen industrial (refinerías, fábricas de productos químicos, de papel, de curtiduría y textiles, de destilerías, mataderos, etc...). Aguas residuales de origen alimentario (producción y procesado de leche, quesos, patatas o azúcar, conserveras,

etc...). Aguas residuales de piscifactorías. Lixiviados de diferentes orígenes (de la agricultura, aeropuertos, autopistas, invernaderos, viveros, vertederos de basura, etc...).

2.2.2. GENERALIDADES DE LA TOTORA



Ilustración 4 Las orillas de Yahuarcocha y San Pablo son los principales sitios de cultivo.

Taucer (1993) menciona que, la totora es una macrófita de gran importancia en las zonas lacustres y de abundante humedad, los totorales cumplen la función de purificar el agua desde un nivel secundario ha avanzado, mejorando la calidad de las mismas hasta alcanzar niveles equivalente a aguas aptas para riego y hasta para ser utilizadas como aguas crudas en el proceso de potabilización. Por otra parte la totora constituye el recurso forrajero acuático de mayor uso para la alimentación del ganado lechero, por su fácil disponibilidad durante todo el año, esto ocurre particularmente en el Altiplano norte (sector lacustre) y el Altiplano central.

En cuanto a su productividad, según PELT - ADESU (2001) la Totora manejada sosteniblemente produce un promedio de 225 tn/ha. Por su parte Galiano

(1987), llegó a establecer que la productividad de totora en el lado peruano del lago

Titicaca (sector Puno) alcanza un promedio de 311,023 tn/ha en materia verde, mientras que en materia seca es de 37,6 tn/ha.

Una de las macrófitas más conocidas y difundidas en nuestro medio es la Totora (*Scirpus californicus*). Esta especie fue traída del Lago Titicaca a la Laguna Alalay, donde forma parte de la totora presente en la laguna y también se encuentra en abundancia en las zonas de inundación de la planta de tratamiento de Alba Rancho que se encuentra ubicada al Sur – Oeste de la ciudad Cochabamba. Esta macrófita, forma parte de la amplia gama de plantas todepuradoras empleadas en los sistemas no convencionales de depuración de aguas residuales. En este apartado presentamos las características de la totora como agente depurador. Asimismo, se presentan algunos resultados de la experiencia sobre su implantación en grava, realizada en Punata, dentro del marco del proyecto: “Zonas húmedas construidas para la depuración de aguas residuales en el municipio de Punata”, el cual pretende probar precisamente zonas húmedas construidas con totoras, para depurar aguas residuales provenientes de la planta de tratamiento con lagunas de estabilización, ubicada en la comunidad de Tajamar Centro, sudoeste del municipio de Punata.

2.2.2.1. Características generales de la Totora

El tipo de humedal artificial al que nos referiremos en es de lujo sub-superficial, por lo que nos centraremos en la descripción de las plantas que se usan en dicho tipo de humedal: las helófitas y en particular la totora.

Las helófitas son plantas adaptadas a condiciones de saturación de humedad e inundación, siempre que el agua no las cubra completamente. Es decir,

soportan una fuerte limitación en la disponibilidad de oxígeno en el suelo. Comprenden una parte debajo del nivel del agua, y otra parte aérea.

El papel de las helófitas en los humedales artificiales se resume en los siguientes aspectos:

◊ Servir de filtro para mejorar los procesos físicos de separación de partículas.

Fuente: Valdés et al., 2005. "Tolerancia de Phragmites y Typhaa la contaminación del agua" en Memoria del Encuentro Internacional en Fitodepuración, Lorca.

Plantas helófitas en medio acuático.

- Asimilación directa de nutrientes (en especial Nitrógeno y Fósforo) y metales, que son retirados del medio e incorporados al tejido vegetal

Fuente: Lahora Cano, 2004. "Los humedales artificiales como tratamiento terciario de bajo coste en la depuración de aguas residuales urbanas" en www.gem.es/MATERIALES/DOCUMENT/DOCUMENT/g01/d01203/d01203.htm

- Actuar a modo de soporte para el desarrollo de biopelículas de microorganismos, que actúan purificando el agua mediante procesos aerobios de degradación

Fuente: Valdés et al., 2005. "Tolerancia de Phragmites y Typhaa la contaminación del agua" en Memoria del Encuentro Internacional en Fitodepuración, Lorca.

- Transportar grandes cantidades de oxígeno desde los tallos hasta sus raíces y rizomas, donde es usado por dichos microorganismos

Fuente: Lahora Cano, 2004. "Los humedales artificiales como tratamiento terciario de bajo coste en la depuración de aguas residuales urbanas" en www.gem.es/MATERIALES/DOCUMENT/DOCUMENT/g01/d01203/d01203.htm

Además del oxígeno en la zona radicular, las bacterias son favorecidas por exudados de las plantas en la misma zona

Fuente: Stengel en Soto et al., 1999. "Role of Scirpus lacustris in bacterial and nutrient removal from wastewater" en Water Science Technology, 40(3), pp. 241-247.

Las helófitas más usadas en depuración son Typha, Scirpus, Phragmites y Carex. Si bien existen pequeñas diferencias en la eficiencia de remoción de contaminantes entre dichas especies, la recomendación es utilizar la especie de mayor adaptación y disponibilidad en el medio.

Fuente: Lahora Cano, 2004. "Los humedales artificiales como tratamiento terciario de bajo coste en la depuración de aguas residuales urbanas" en www.gem.es/MATERIALES/DOCUMENT/DOCUMENT/g01/d01203/d01203.htm

Scirpus californicus, comúnmente conocida como totora, es la especie que se encuentra en mayor proporción en el Valle Central cochabambino (Laguna Alalay, zonas de inundación de Alba Rancho y otros cauces de agua naturales).

2.2.2.2. Taxonomía

En este sentido trataremos de los principios, métodos y fines de la clasificación, generalmente científica; para la ordenación jerarquizada y sistemática dentro grupo vegetal. La totora corresponde a la siguiente clasificación taxonómica:



Ilustración 5 Taxonomía de la totora.

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Cyperales

Familia: Cyperaceae

Género: Schoenoplectus

Especie: Schoenoplectus californicus (C. A. Mey.) Soja'k

Nombre común: Totora

Fuente: Navas, L. 2001 "Flora de la cuenca de Santiago" (19 de septiembre de 2006).

Las Cyperaceae a la que pertenece la Totora se caracterizan por ser plantas perennes hidrófilas o palustres, se adaptan a suelos arenosos secos. Por su parte Cook (1990) indica que, el género Schoenoplectus es cosmopolita y tiene aproximadamente 50 especies. Esta especie presenta variedades, las cuales según PELT - ADESU (2001), en la totora se encuentran diferencias en sus aspectos externos, tales como la sección (cilíndrica o triangular), sus tallos tienen su relleno poroso, fibroso o en secciones, y su uso varía según sus características por cuanto sus cualidades son diferentes, por ejemplo: para la construcción de balsas se emplean tres tipos de totora; uno para artesanías; otro para alimentar al ganado.

Fuente: PELT – ADESU, Proyecto "Técnicas de Implante de Totora" 2001.

2.2.2.3. Características botánicas

El género Schoenoplectus mayormente son acuáticos, enraízan en el fondo y tienen un tallo recto emergente, las perennes, pueden llegar a medir hasta 4 m, las anuales son más pequeñas.

Su tallo es triangular, usualmente algo esponjoso, algunas veces presentan muchos septos transversos o numerosos canales de aire, frecuentemente casi o enteramente pierden las hojas en la madurez. Hojas basales, reducidas a escamas o elongadas cuando están totalmente sumergidas. Inflorescencia aparentemente lateral y sésil.

Fuente: Cook, 1990. Aquatic Plant Book Academic Publishing bv.

La totora presenta tallos erguidos, junquiformes que aseguran la función fotosintética. Llevan en su cima una inflorescencia ramificada, curvada en un lado por el desarrollo de una bráctea rígida y erguida en la prolongación del tallo. Frecuentemente, la inflorescencia no se desarrolla y el tallo solo tiene un rol asimilador.

Fuente: Dejoux Eltis , 1991. El Lago Titicaca Síntesis de Conocimiento Limnológico

Actual. Ed. ORSTOM e HISBOL. La Paz, Bolivia.

Los mismos autores señalan que las hojas están reducidas a cortas vainas rojizas rodeando la base de los tallos, a su salida sobre el rizoma (se observa solo hojas desarrolladas y verdes durante una breve fase juvenil). Los ramos de inflorescencia sostienen espigas ovoides más o menos alargadas.

2.2.2.4. Morfología de la totora

2.2.2.4.1. Raíces

Por su origen son adventicias y, se originan a partir del rizoma maduro y conformado principalmente por raíces secundarias, las que forman penachos delgados. Dan anclaje a la planta en el substrato de fondo, su desarrollo es horizontal, y crece de manera paralela a la superficie del suelo (fondo). Su diámetro varía en torno a 1mm de grosor de acuerdo a la edad de la planta y al medio del suelo que la sustenta

Fuente: PELT – ADESU, Proyecto “Técnicas de Implante de Totora” 2001.



Ilustración 6 Raíces de la Totora.

2.2.2.4.2. Rizoma

El rizoma viene a ser un tallo modificado que se desarrolla inmediatamente después de la raíz y también de manera paralela al suelo. Su estructura interna está compuesta por un cilindro central con muchos haces libero-leñosos. Su corteza es de color blanco, con nudos a cada 2 a 6 cm, de donde brotan las yemas que posteriormente se convierten en tallos

Fuente: PELT – ADESU, Proyecto “Tecnicas de Implante de Totora” 2001.

Los rizomas contienen gran cantidad de sustancias de reserva, las que permiten a las plantas de totora mantenerse durante los períodos de sequía (estado de latencia). Cuando vuelven los períodos de humedad, rebrotan inmediatamente las yemas. Los rizomas y las yemas se encuentran protegidas por unas hojas modificadas de color marrón claro amarillo, a manera de escamas (catáfilas).

Fuente: PELT – ADESU, Proyecto “Tecnicas de Implante de Totora” 2001.



Ilustración 7 Rizoma de la Totora.

2.2.2.4.3. Tallo

El tallo de acuerdo a su situación se clasifica en dos partes:

- ◊ Tallo aéreo.- Es la parte del tallo que sobresale del agua, es de color verde intenso por la clorofila que contiene. En su interior presenta un tejido parenquimatoso no clorofílico (tejidos simples no diferenciados) La forma de su sección va de triangular a circular, dependiendo de la edad de la planta, situación climática, nutrientes del sustrato de fondo, etc.



Ilustración 8 Tallo de la Totora.

La parte fuera del agua presenta un tejido parenquimático llamado “aerenquima” que contiene aire, el cual favorece la circulación del aire en el tejido esponjoso, así como le permite flotar en el agua. El tejido parenquimático, desarrolla funciones de almacenamiento, respiración y en algunos casos realiza la fotosíntesis.

Fuente: PELT – ADESU, Proyecto “Técnicas de Implante de Totora” 2001.

- ◊ Tallo sumergido.- Es la parte que se comienza en el rizoma maduro, con una parte blanquecina (por falta de clorofila) denominada “chullo” que almacena disacáridos y se usa como alimento humano, y alcanza hasta el nivel de agua.

Los tallos pueden crecer de 30 a 100 cm ó más de altura cada 4 meses aproximadamente, lo que está en función del substrato, hábitat y medio ambiente, llegan a alcanzar alturas de 2 a 6 m. El tallo que se encuentra sumergido, contiene clorofila, pero en la parte basal tiene una coloración blanquecina, denominada comúnmente como “Chullo”, debido principalmente porque allí no inciden los rayos solares, llegando a almacenar disacáridos que le dan un sabor dulce y agradable.

2.2.2.4.4. Xilema

El xilema está formado por vasos leñosos o tráqueas. Incluyen también las denominadas traqueidas, formadas por células alargadas con orificios llamados puntuaciones, que las comunican entre sí.



Ilustración 9 Xilema de la Totorá.

2.2.2.4.5. Floema

El floema está constituido por tubos o células cribosas.

Entre las células existen tabiques con agujeros o cribas que se obturan a bajas temperaturas y dificultan la conducción de sustancias orgánicas.



Ilustración 10 Floema de la Totorá.

2.2.2.4.6. Inflorescencia

La inflorescencia es del tipo Umbela, llamada de forma vernacular: “Pancara” o “Panq’ara”, compuesta; caracterizada porque las primeras ramificaciones dan

lugar a su vez a otras umbelas pequeñas y la umbelilla dispuesta en sus ejes terminales tiene un número variable de flores, en el que cada eje terminal está cubierto de una bráctea escamosa de color café oscuro de 3 a 5 mm de longitud. La floresta rodeada por un conjunto de hojas pequeñas transformadas que rodean a los verticilos fértiles de las flores, que carecen de sépalos y pétalos. En sus verticilos externos está representada por 4 escamas que hacen las veces de un perigonio haploide en algunas dicotiledóneas y que en este caso serían como las glumas de las gramíneas, toman de una disposición parecida al género *Triticum*.

Fuente: PELT – ADESU, Proyecto “Técnicas de Implante de Totorá” 2001.



Ilustración 11 Inflorescencia de la Totorá

2.2.2.5. Reproducción

En la mayoría de los casos, la totora se reproduce vegetativamente. La reproducción por semillas es muy limitada debido a que generalmente no logran germinar.

La reproducción vegetativa es por desarrollo de propágulos vegetativos; o sea, mediante células especializadas en propagar la planta (meristemos), agrupadas en estructuras especiales (rizomas). De esta manera se producen individuos nuevos, pero adaptados al medio ambiente.

2.2.2.6. Características fenológicas de la totora

Se realizó un seguimiento de las fases fenológicas de la totora en las zonas de inundación del lago Menor, incluyo a las provincias de Omasuyos, Manco Kapac, Ingavi y los Andes del departamento de La Paz, en la cual observó que la máxima floración alcanza en los meses de marzo, abril y parte de mayo. La fructificación ocurre durante los meses de mayo y junio. La segunda floración ocurre en el mes de septiembre, continuando con la fructificación en el mes de noviembre.

Fuente: Loza, Patrones de distribución espacio – temporal de las poblaciones de totora del lago Titicaca menor 1986 – 2004.

2.2.2.7. Límites permisibles en plantas acuáticas y plantas en general

Se sabe muy poco sobre el efecto crónico en la salud del consumo de pequeñas cantidades de metales pesados durante largos períodos y por lo tanto, se necesita mayor investigación. De manera general se han establecido rangos permisibles de metales en plantas, los cuales solo están generalizados en categorías como ser: Límites en vegetación acuática, límites en vegetación terrestre y plantas en general. PSID (2005), presenta el siguiente cuadro resumen de los rangos de contenidos de metales sin efectos tóxicos, que están basados en las ponencias de diferentes autores.

Fuente: Zeeuw y Lock.

Cuadro 3 CONTENIDO DE METALES EN PLANTAS ACUÁTICAS Y TERRESTRES SIN EFECTOS TÓXICOS.

Metal	Contenido (mg/kg)	Contenido (mg/kg)	Contenido (mg/kg)	Contenido (mg/kg)	Contenido (mg/kg)
Hierro	Algunos cientos			155 – 467	
Manganeso	10 – 300			27	
Zinc	5 – 75		0,7 – 4,9	58 – 82	18,1 – 69
Plomo		Menor 5		Menor 12	0,41 – 0,62
Cobre	1 – 25		0,006–0,06	7 – 10	5,12 – 7,03
Cadmio			0,01	0,8	
Arsénico					0,05 – 0,64
Cromo					0,67 – 1,22
Fuente	Chapman (1965)	Stocker (1980)	Larcher (2000)	Fernández (2000)	Market (1993)
Tipo de dato			Limites en vegetación acuática		Limite en vegetación terrestre

Fuente: PSID (2005), en base a autores mencionados en el Cuadro. FMAR-RIM-SGS-PSID, 2004.

Los metales pesados son de gran interés debido a que la presencia de estos en el ambiente tiene efectos negativos sobre la salud del hombre, de los animales y de los cultivos agrícolas. Lamentablemente no se tienen estudios sobre los niveles permisibles en metales para cada especie vegetal.

2.2.2.8. Vegetación acuática

Los estudios de composición de macrófitas de lago Titicaca fueron desarrollados en Puno (Perú), los cuales según los estudios de macrófitas en la Bahía de Puno son aplicables para otros lugares sobre todo en lo concerniente a especies, asociaciones y distribución vertical. Las diferentes plantas reconocidas en el estudio fueron:

a. Plantas flotantes:

- | | |
|---------------|-----------------|
| 1. Lemna sp. | Lenteja de agua |
| 2. Azolla sp. | Helecho de agua |

b. Plantas emergidas:

- | | |
|---------------------------------|-------------------|
| 3. Hydrocotyle sp. Hydrocotile, | sombbrero de agua |
| 4. Lillaeopsis sp. | |

5. Shoenoplectus californicus Totora

c. Plantas sumergidas:

- | | |
|--|--------------|
| 6. Myriophyllum elatinoides Candich | |
| 7. Elodea potamogeton Espinosa Yana llachu | |
| 8. Potamogeton strictus (Phil) | Yurac llachu |
| 9. Ruppia filifolia (Phil) Skottsb | |
| 10. Nitella clavata Br. | |
| 11. Chara sp. | |
| Ch. globulares Thuill | |
| Ch. denudata Br. | |
| Ch. papillosa Kutz | |

Fuente: Alfaro et al. (1987)

2.2.2.9. Determinación de coliformes fecales en la Totora de agua

La evaluación microbiológica de Coliformes Fecales y Totales, fue realizada en el Instituto de Servicios de Laboratorio de Diagnóstico en Investigación en Salud (SELADIS), dependiente de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímicas de la Universidad Mayor de San Andrés. La norma técnica que utilizó el laboratorio fue en base a la Norma boliviana NB - 32005 para Coliformes Totales y, NB – 3305 para Coliformes Fecales. Para la interpretación de los resultados microbiológicos de coliformes totales y fecales, se recurrió al decreto Supremo N° 475 que establece el Reglamento Sanitario de los Alimentos del Perú, debido a que nuestro país no cuenta dentro sus normas los reglamentos para la detección de microorganismos patógenos en alimentos.

Fuente: Pardo, 2007

2.2.2.10. Grado de contaminación de los metales pesados en la Totora.

Se tomaron muestras de totora y lenteja de agua en las comunidades comprendidas dentro el área de investigación. Donde tres puntos de muestreo se realizaron en áreas consideradas como contaminados, siendo las comunidades: Cascachi, Cohana Grande (pueblo) y Cumana y; un punto en un área considerada como sin contaminación aparente como lo es la Isla Pariti. El análisis de contenido de metales fue encargado al Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA) del Instituto de Ecología de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales de la Universidad Mayor de San Andrés. Los métodos que utilizó el laboratorio para la detección de los metales fueron a través de la Espectrometría de Absorción Atómica, cuya técnica de lectura fue basada en los métodos estandarizados de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA). La evaluación microbiológica de Coliformes

Fecales y Totales, fue realizada en el Instituto de Servicios de Laboratorio de Diagnóstico en Investigación en Salud (SELADIS), dependiente de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímicas de la Universidad Mayor de San Andrés.

Cuadro 4 Resumen de resultados de análisis de metales pesados en la Totora.

Parámetro	Límites permisibles	Zonas			
		Cumana	Cohana	Cascachi	Isla Pariti
Cadmio (mg/kg)	0,8 *	0,66	0,76	0,61	0,48
Cobre (mg/kg)	7 – 10 *	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Manganeso (mg/kg)	10 – 300 **	1447	2363	2123	451
Mercurio (mg/kg)	-----	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Plomo (mg/kg)	< 12 *	< 0,56	< 0,56	< 0,56	< 0,56
Zinc (mg/kg)	0,7 – 4,9 ***	7,2	24	11	4,2

Fuente: Elaboración propia en base al informe de laboratorio de LCA-UMSA, 2006
 (* Fernandez, 2000; ** Chapman, 1965; *** Larcher, 2000)

Observando el Cuadro 5, el contenido de minerales en la totora tuvo una variación en tres metales (Cd, Mn, Zn) que sobrepasaron los límites de determinación, que es el valor medible por el método de detección utilizado por el laboratorio. Los mencionados metales pesados forman parte desde el punto de vista nutricional de los micro minerales indispensables como los son el cobre (Cu), Zinc (Zn), manganeso (Mn) y, finalmente un grupo de minerales tóxicos los cuales incluyen al plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg).

Fuente. Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA) del Instituto de Ecología, de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales de la Universidad Mayor de San Andrés

2.2.3. Tipos de humedales artificiales

Un humedal es artificial cuando se trata de un sistema de tratamiento de agua residual (estanque o cauce) poco profundo, construido por el hombre, en el que se han sembrado plantas acuáticas, y contando con los procesos naturales para tratar el agua residual. Los humedales artificiales construidos tienen ventajas respecto de los sistemas de tratamiento alternativos, debido a que requieren poca o ninguna energía para operar. Si hay suficiente tierra barata disponible cerca de la instalación de los humedales artificiales de cultivo acuático, puede ser una alternativa de costo efectivo. Los humedales artificiales proporcionan el hábitat para la vida silvestre, y son, estéticamente, agradables a la vista.

Sistema de agua superficial libre (SASL)

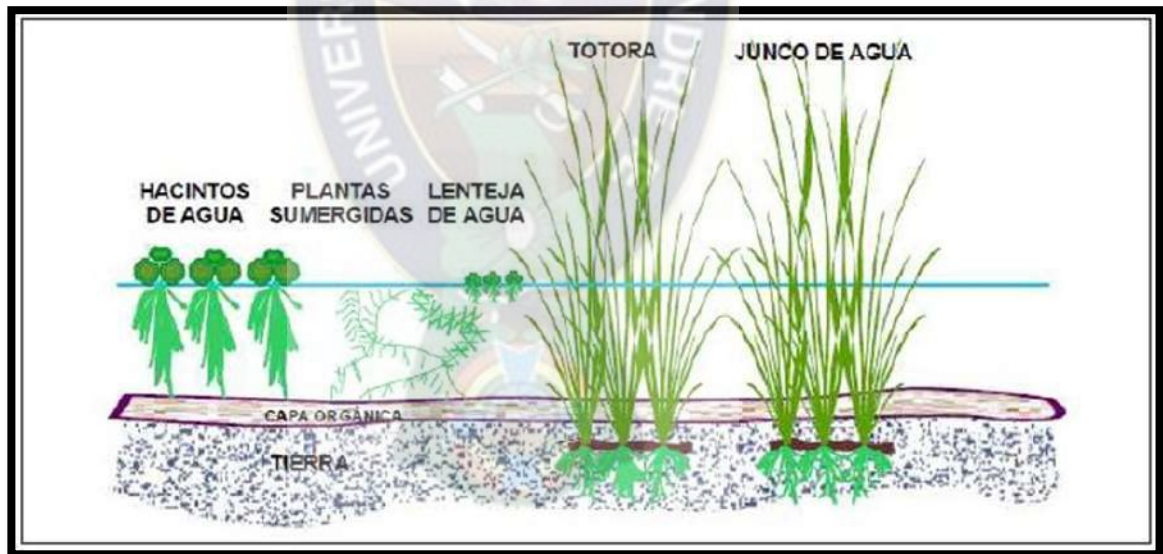


Ilustración 12 Sistema de agua superficial libre (SASL).

Estos sistemas consisten típicamente de estanques o canales, con alguna clase de barrera subterránea para prevenir la filtración, suelo u otro medio conveniente a fin de soportar la vegetación emergente, y agua en una profundidad relativamente baja (0,1 a 0,6 m) que atraviesa la unidad. La

profundidad baja del agua, la velocidad baja del flujo, y la presencia de tallos de planta y basura regulan el flujo del agua. Se aplica agua residual pre tratada a estos sistemas, y el tratamiento ocurre cuando el flujo de agua atraviesa lentamente el tallo y la raíz de la vegetación emergente (ver figura de arriba) Sistemas de flujo bajo la superficie (SFBS) Estos sistemas son similares a los filtros horizontales por goteo en las plantas de tratamiento convencionales. Se caracterizan por el crecimiento de plantas emergentes usando el suelo, grava o piedras como sustrato de crecimiento en el lecho del canal. Dentro del lecho los microbios facultativos atacan al medio y las raíces de las plantas, contactando de este modo el agua residual que fluye horizontalmente a través del lecho; mientras que el sobrante baja a la superficie del medio.

Fuente: Kadlecet a., 1993.

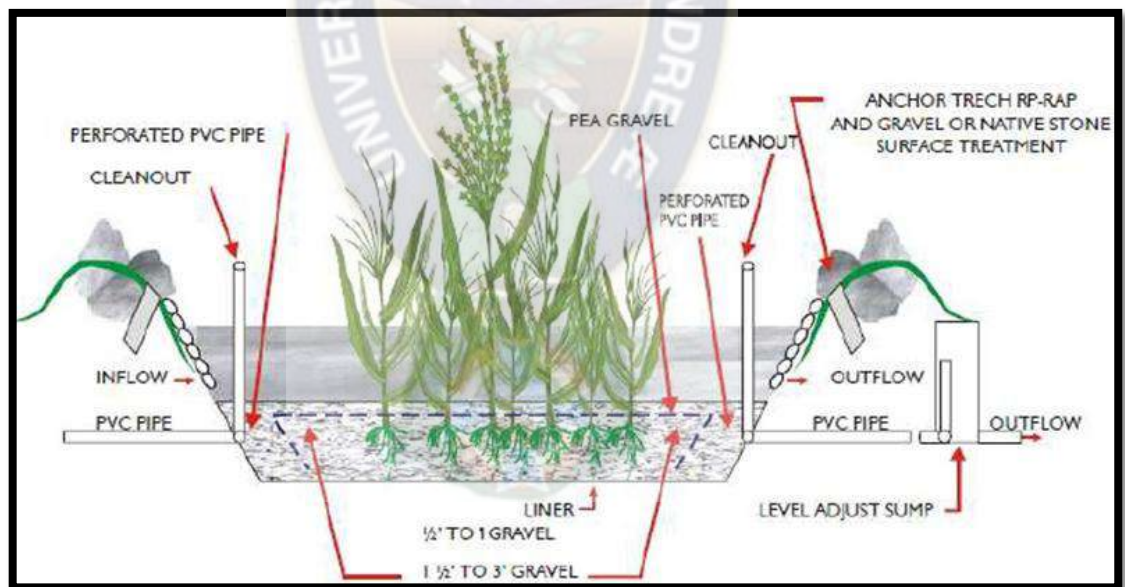


Ilustración 13 Filtros de piedra y juncos de caña.

Estos sistemas de flujo bajo superficie son diseñados con el propósito de obtener niveles de tratamiento secundarios, son llamados «la zona de raíces» o

«filtros de piedras de junco y caña» desarrollado en la ex Alemania Oriental (ver Ilustración 13 y 14.).

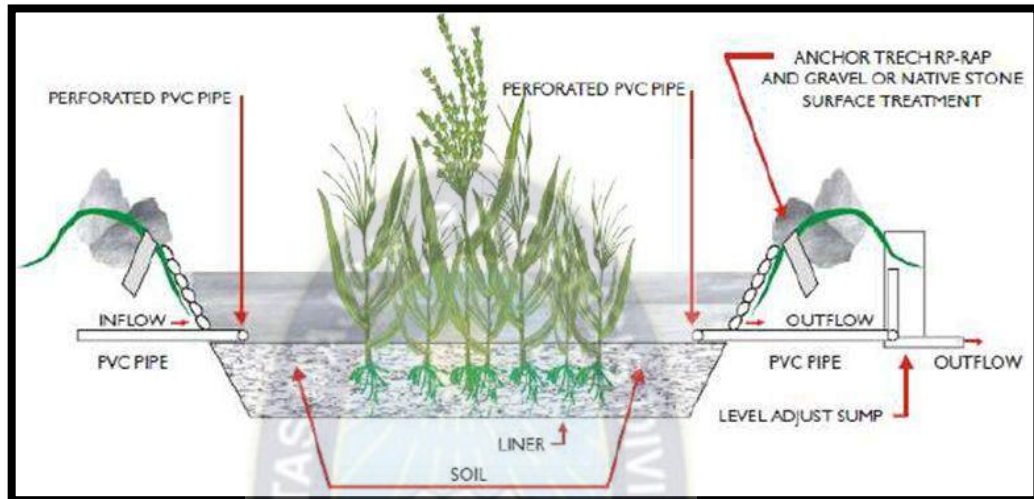


Ilustración 14 Filtros de piedra y juncos de caña desarrollada en la ex Alemania Oriental.

2.3. DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las plantas de tratamiento de aguas servidas son instalaciones destinadas a tratar las aguas conducidas por los alcantarillados, disminuyendo principalmente el contenido de materia orgánica y los microorganismos.

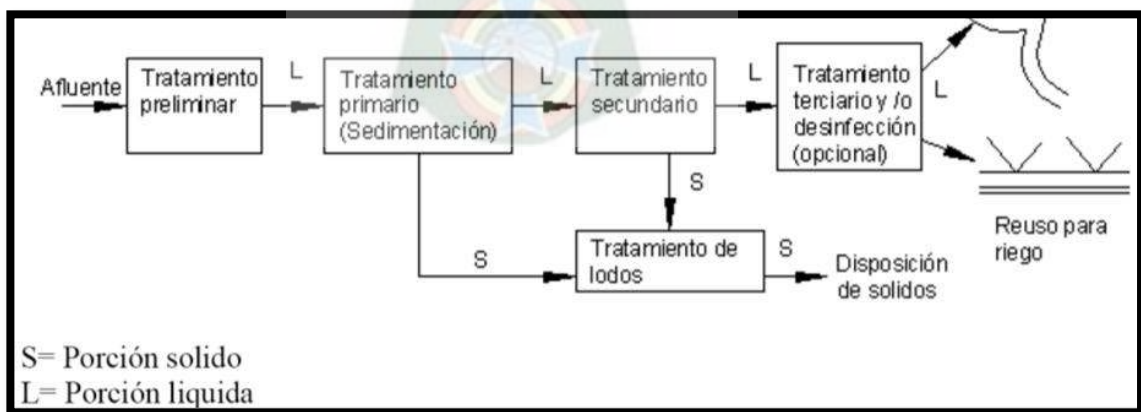


Ilustración 15 Esquema de tratamiento de aguas residuales

En el gráfico de arriba se observa la unidad de tratamiento, presenta los siguientes componentes: una cámara de ingreso con rejilla removible que da paso al tratamiento preliminar, una cámara para el tratamiento primario, un tratamiento secundario para el filtro biológico, un cámara para el tratamiento terciario donde se ubica el cabezal de descarga y un tratamiento de lecho de secado de lodos.

Cuadro 5 Costos y área requerida por los diferentes procesos de tratamiento.

PROCESOS DE TRATAMIENTO	COSTO DE IMPLEMENTACIÓN (\$us/hab)	AREA REQUERIDA (m2/hab)
Lagunas de Estabilización		
Laguna facultativa	10-30	2.50-5.00
Laguna anaerobia + Laguna facultativa	10-25	1.50-3.50
Laguna aireada facultativa	10-25	0.25-0.50
Laguna aireada mezcla completa +	10-25	0.20-0.50
Laguna de sedimentación	15-35	3.00-6.00
Laguna + Estanques de maduración	15-35	2.00-5.50
Laguna + Lago de alta tasa	15-35	1.50-5.00
Laguna + Remoción de algas		
Tratamientos Anaerobios (y asociados)		
Estanque séptico + Lecho anaerobio	30-70	0.20-0.40
Estanque séptico + Lecho anaerobio	25-50	1.00-5.00
Estanque séptico + Infiltración	20-40	0.05-0.10
UASB (Reactor Anaerobio de flujo Ascendente y manto de lodos)	40-80	0.25-0.35
UASB + Lodos Activados	35-60	0.15-0.25
UASB + Lecho anaerobio	40-80	0.50-0.70
	30-50	1.50-2.50

UASB + Lecho biológico de baja carga UASB + Lagunas de maduración UASB + Escurrimiento superficial	25-50	1.00-6.00
Tratamientos Aerobios – Variaciones de Lodos Activados (LA)	60-120	0.20-0.30
LA convencional	40-80	0.25-0.35
LA por aireación prolongada	40-80	0.20-0.30
LA por reactor por lote	70-120	0.20-0.35
LA con remoción biológica de N	70-140	0.25-0.35
LA con remoción biológica de N/P	80-160	0.30-0.40
LA con remoción química y biológica de N/P	80-160	0.30-0.40
LA con remoción biológica/química de N/P + filtración	70-120	0.20-0.30
LA + Desinfección		
Tratamientos aerobios – Variaciones de Biopelícula fija	50-90	0.50-0.70
Lecho biológico de baja carga	40-70	0.30-0.45
Lecho biológico de alta carga	60-80	0.04-0.10
Biofiltro aireado sumergido (BAF)	70-120	0.15-0.25
Bidiscos		
Tratamiento Físico – químico		
Tratamiento primario avanzado (CEPT – TPA)	7-25	0.002-0.005

Fuente: Von Sperling (1998) Comparison among the most frequently used systems for wastewater treatment in developing countries. International symposium on technology transfer. Journal Water Science Technology.

2.3.1. Características biológicas

Se debe estar familiarizado con los siguientes temas:

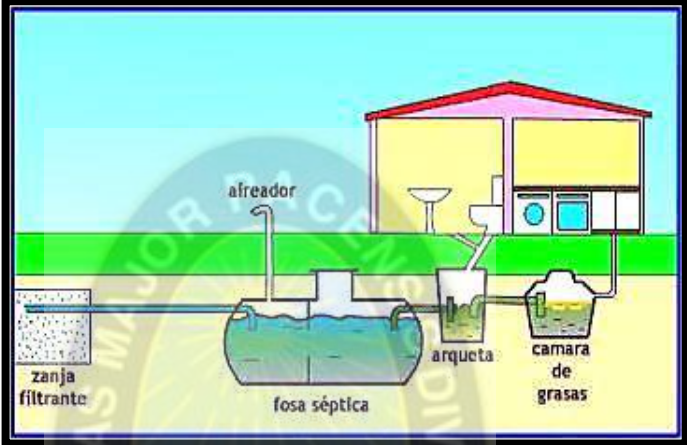
- 1) Principales grupos de microorganismos biológicos presentes, tanto en aguas superficiales como residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos
- 2) Organismos patógenos presentes en las aguas residuales
- 3) Organismos utilizados como indicadores de contaminación y su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

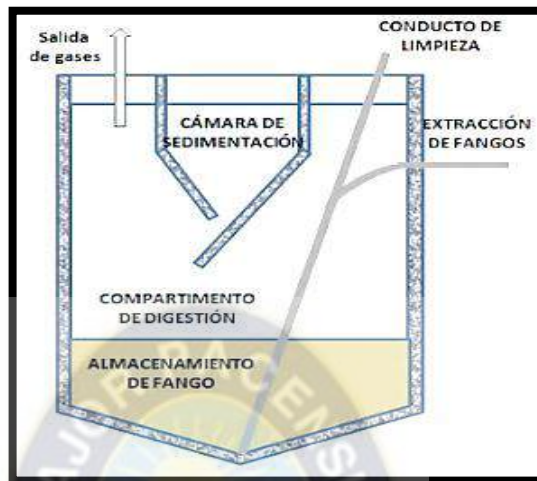
Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias, la mayoría de los organismos pertenecen al grupo de eubacterias. La categoría protista, dentro de los organismos eucariotas, incluye las algas, 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.

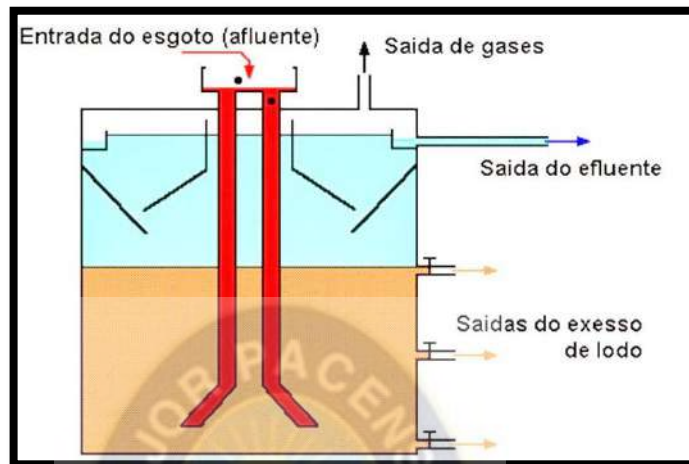
Fuente: RIVERA G. Primera Edición, La Paz-Bolivia, Instituto de Ingeniería Sanitaria, Universidad Mayor de San Andrés. Manual de Diseño de Plantas de Tratamiento de aguas residuales domésticas”, 2009.

Cuadro 6 Ventajas y desventajas de algunos de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

PROCESO DE TRATAMIENTO.	
1. Fosa Séptica	
 <p>El diagrama ilustra un sistema de tratamiento de aguas residuales en una casa. Las aguas residuales fluyen desde la casa a través de una cámara de grasas y una arqueta hacia una fosa séptica. Desde la fosa séptica, el agua pasa por un alreador y finalmente se filtra en una zanja filtrante.</p>	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ◊ Apropia para comunidades rurales, edificaciones, condominios, hospitales, etc. ◊ Su limpieza no es frecuente ◊ Costo bajo de construcción y operación. ◊ Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento si se cuenta con infraestructura de remoción de lodos 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Su uso es limitado (máx. 350 habitantes) ◊ Su uso también está limitado a la capacidad de infiltración del terreno que permita dispone adecuadamente los efluentes en el suelo. ◊ Se requiere facilidades para la remoción de lodos (bombas camiones con bomba de vacío).
PROCESO DE TRATAMIENTO.	
2. Tanque Imhoff	



VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ◊ Se logran altas concentraciones de biomasa y largos tiempos de retención celular. ◊ Pequeños volúmenes de reactor debido a altas cargas orgánicas. ◊ Su operación es relativamente estable bajo condiciones variables de alimentación o choques tóxicos. ◊ Es adecuado para AR con bajas concentraciones de sólidos en suspensión ◊ No requiere de medios mecánicos. ◊ Requiere de un área pequeña de terreno. 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ La acumulación de sólidos suspendidos tiene un efecto adverso en las características hidráulicas y de transferencia de masa. ◊ No son adecuados para AR con alto contenido de sólidos suspendidos. ◊ Requiere de disposición periódica de la biomasa. ◊ Con tiempos de retención hidráulicos relativamente cortos se reduce la capacidad para resistir choques orgánicos.
<p>PROCESO DE TRATAMIENTO.</p> <p>4. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)</p>	



VENTAJAS

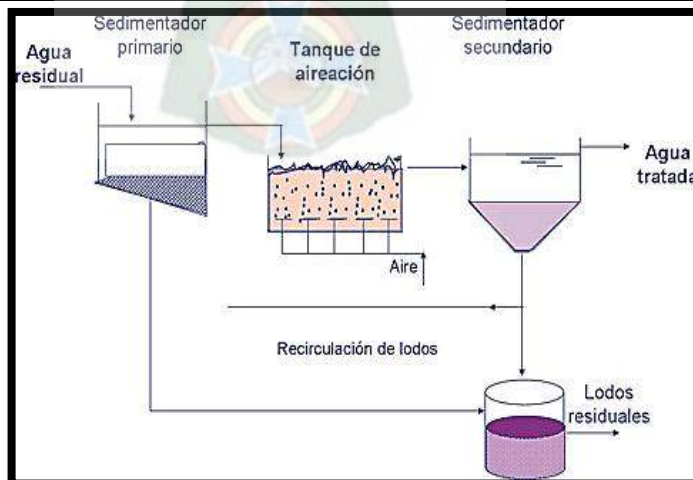
- ◊ Soporta altas cargas orgánicas.
- ◊ Bajo requerimiento de energía.
- ◊ No requiere medio de soporte.
- ◊ Construcción relativamente simple
- ◊ Aplicable a pequeña y gran escala.
- ◊ Operación comparativamente simple respecto a filtros o lodos activados.

DESVENTAJAS

- ◊ Requerimientos de inóculo de determinadas características.
- ◊ Sensible a sólidos suspendidos, grasas y aceites en el afluente
- ◊ Sensibles a bajas temperaturas (<15 °C).
- ◊ Riesgos de flotación de sólidos durante arranques.
- ◊ Arranque lento sino se cuenta con el inóculo adecuado.

PROCESO DE TRATAMIENTO.

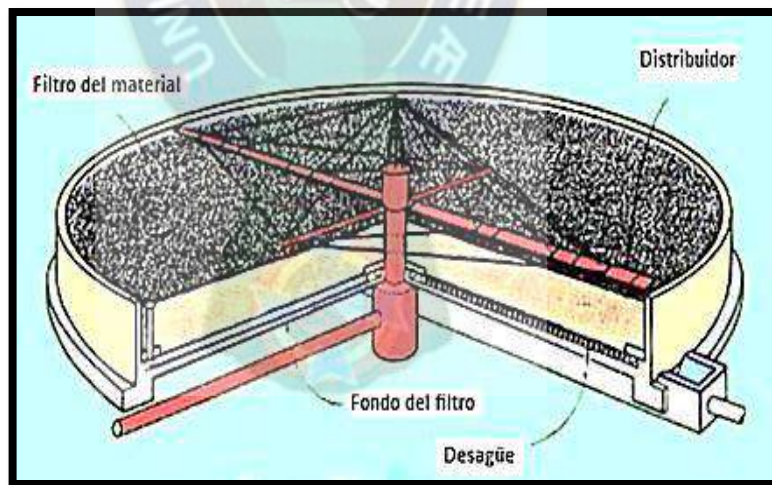
5. Sistema de Lodos Activados Convencional



VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ◊ Alta calidad del efluente tratado debido al control del flujo de AR, el oxígeno y la densidad bacteriana (lodo activado). ◊ Mayor eficiencia en el tratamiento, comparada con los lechos biológicos, debido a la mayor independencia de la temperatura (flexibilidad operacional). ◊ Menor área comparada a la requerida por los filtros biológicos ◊ Períodos más cortos de arranque (menos de dos semanas) en comparación con el de lechos biológicos (4 a 6 semanas). ◊ No producen olores desagradables ni atraen moscas. 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Requerimiento de energía para la aireación. ◊ Elevado costo de operación y mantenimiento. ◊ Necesidad de utilizar personal operador especializado. ◊ Sistema sensible a sobrecargas y cambios bruscos en la calidad del afluente. ◊ Necesidad de un completo control operacional (análisis de laboratorio frecuentes, medición de flujos, etc.)

PROCESO DE TRATAMIENTO.

6. Filtros percoladores o rociadores

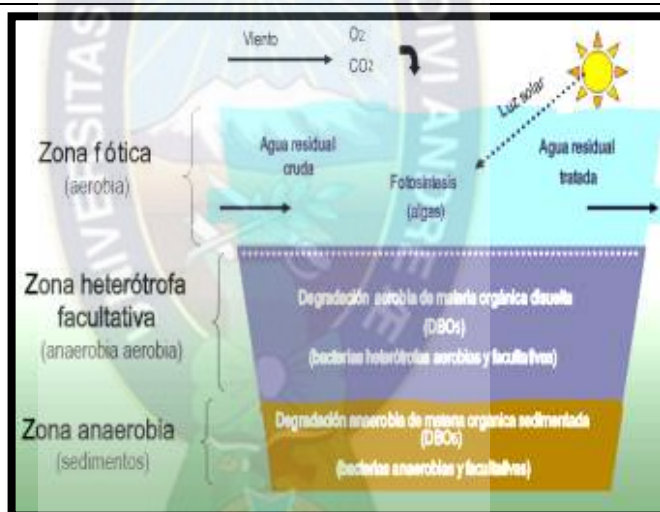


VENTAJAS	DESVENTAJAS
----------	-------------

<ul style="list-style-type: none"> ◊ No necesita de equipos para suministro de oxígeno. ◊ Baja producción de lodos. ◊ Menor área superficial De construcción, considerando la alta producción de biomasa generada en la gran área superficial de contacto del medio filtrante. ◊ No se requiere personal altamente calificado. 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Estructuras altas (más de 3 m) que ◊ Generalmente obligan a bombear las AR desde el sedimentador. ◊ Pueden existir problemas de olor, especialmente en las temporadas más cálidas. ◊ Presencia de larvas de moscas, que desarrolladas en exceso pueden obstaculizar el proceso De clarificación y crear molestias en las viviendas vecinas.
--	--

PROCESO DE TRATAMIENTO.

7. Lagunas de estabilización.



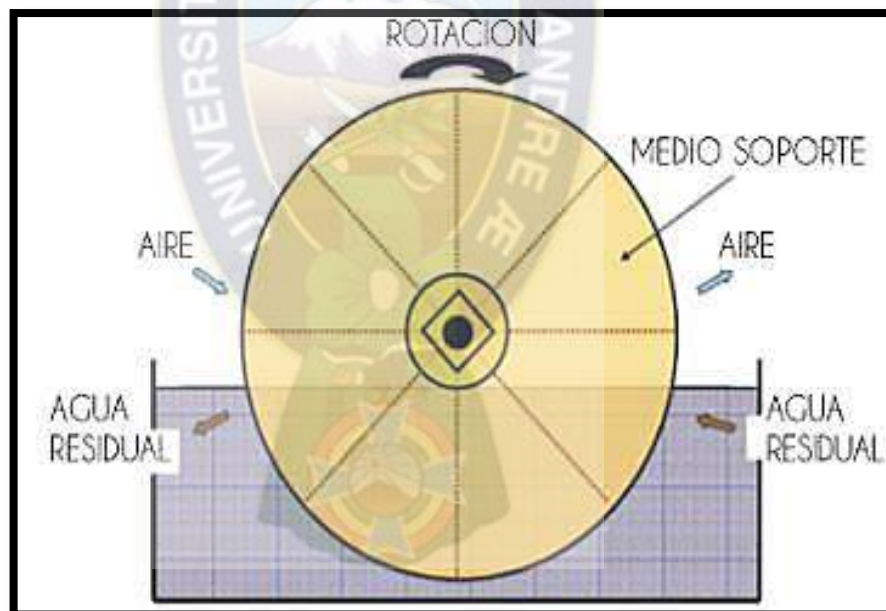
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ◊ Pueden recibir y retener grandes cantidades de AR, soportando sobrecargas hidráulicas y orgánicas con mayor flexibilidad, comparativamente con otros tratamientos. ◊ Formación de biomasa más efectiva y variada que en otros procesos de tratamiento. ◊ No requieren de instalaciones complementarias para la producción de 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Necesidad de mayores áreas de terreno.

oxígeno. El mismo se produce en forma natural dentro del sistema debido a los tiempos de retención prolongados y a los mecanismos del proceso, son sistemas altamente eficaces para la remoción de bacterias, virus y parásitos, comparativamente con otros tratamientos.

- ◊ Mínimo mantenimiento.
- ◊ No requiere de personal calificado.

PROCESO DE TRATAMIENTO.

8. Biodiscos o discos rotativos.



VENTAJAS

DESVENTAJAS

<ul style="list-style-type: none"> ◊ Bajo consumo de energía y simplicidad de operación y mantenimiento. ◊ Facilidad de ampliación de capacidad de tratamiento de las AR por utilizar unidades modulares. ◊ No requiere recirculación de los lodos del decantador secundario, comparado con otros procesos de película fija, los biodiscos retienen una película fija que utilizan efectivamente toda el área de contacto carecen de los problemas de aerosol y ruido que se presentan en los sistemas de lodos activados. 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ El diseño mecánico del sistema debe ser riguroso pues se han registrado varios casos de rotura del eje que soporta los discos. ◊ Se requiere de grandes grúas y personal especializado para su montaje. ◊ Otro inconveniente es que sus costos se comportan de manera casi lineal con respecto a los caudales de agua por tratar, lo cual no sucede con los otros sistemas convencionales
---	---

PROCESO DE TRATAMIENTO.

9. Humedales.



VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ◊ Menos olores ◊ No algas en el efluente ◊ Remoción de fósforo y nitrógeno ◊ Bajo costo de operación y mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Cosecha periódica de las plantas ◊ Necesidad de mayores áreas de terreno

Fuente: *Diseño y operación de Lagunas de Estabilización “Ing. Guillermo León Suematsu”, 1999*

2.4. BASES LEGALES

Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia (CPEPB)

2.4.1. Derecho al medio ambiente

Artículo 33, 2009

Las personas tienen derecho a un medio ambiente saludable, protegido y equilibrado. El ejercicio de este derecho debe permitir a los individuos y colectividades de las presentes y futuras generaciones, además de otros seres vivos, desarrollarse de manera normal y permanente.

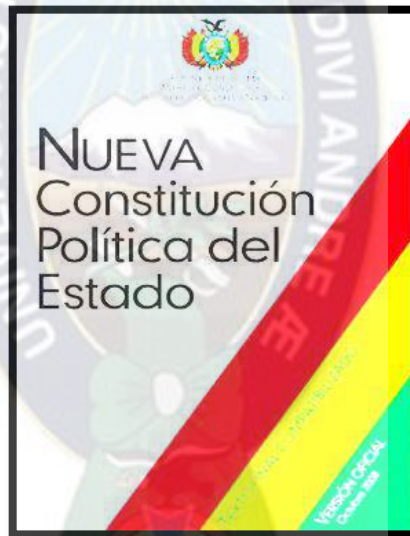


Ilustración 16 Constitución política del estado.

Artículo 34, 2009

Cualquier persona, a título individual o en representación de una colectividad, está facultada para ejercitar las acciones legales en defensa del derecho del medio ambiente, sin perjuicio de la obligación de las instituciones públicas de actuar de oficio frente a los atentados contra el medio ambiente.

2.4.2. Medio ambiente, recursos naturales, tierra y territorio

Artículo 342, 2009

Es deber del Estado y de la población conservar, proteger y aprovechar de manera sustentable los recursos naturales y la biodiversidad, así como mantener el equilibrio del medio ambiente.

Artículo 343, 2009

La población tiene derecho a la participación en la gestión ambiental a ser consultado e informado previamente sobre decisiones que pudieran afectar a la calidad del medio ambiente.

2.4.2.1. Recursos hídricos

Artículo 373

I. El agua constituye un derecho fundamentalísimo para la vida, en el marco de la soberanía del pueblo. El Estado promoverá el uso y acceso al agua sobre la base de principios de solidaridad, complementariedad, reciprocidad, equidad, diversidad y sustentabilidad.

Artículo 374

I. El Estado protegerá y garantizará el uso prioritario del agua para la vida. Es deber del Estado gestionar, regular, proteger y planificar el uso adecuado y sustentable de los recursos hídricos, con participación social, garantizando el acceso al agua a todos sus habitantes. La ley establecerá las condiciones y limitaciones de todos los usos.

2.4.3. Ley 1333 de Medio Ambiente - 27 de abril de 1992

Tiene por objeto la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y

promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población.

De los reglamentos mencionados, dos de ellos tienen que ver directamente con el uso de las ARD tratadas.

Esta disposición legal reglamenta la Ley de Medio Ambiente 1333 en lo referente a Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y Control de Calidad Ambiental (CCA) dentro del marco del desarrollo sustentable.

Fuente: Reglamento de Prevención y Control Ambiental

http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/BOL/indexesp.stm

<http://www.sswm.info/ar/category/step-gass-en-al/gass-en-castellano/gesti%C3%B3n-de-agua-y-saneamiento-sostenibleenam%C3%A9rica>



Ilustración 17 Contaminación Hídrica en ríos.

2.4.4. Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica - 1995

Esta disposición legal reglamenta la Ley de Medio Ambiente 1333, en lo referente a la prevención y control de la contaminación hídrica, en el marco del desarrollo sustentable

Artículo 13

La Autoridad ambiental competente realizará inspecciones sistemáticas de acuerdo con el Reglamento de Prevención y Control Ambiental.

Las inspecciones incluirán monitoreo de las descargas de aguas residuales crudas o tratadas para verificar si los informes de caracterización a los que hace referencia el presente reglamento son representativos de la calidad de las descargas.

Artículo 59

Las aguas residuales tratadas descargadas a un cuerpo receptor, estarán obligatoriamente sujetas-como parte del sistema o planta de tratamiento- a medición mediante medidores indirectos de caudal, si los caudales promedios diarios son menores a 5 litros por segundo y con medidores de caudal instantáneo y registradores de los volúmenes acumulados de descarga, si el caudal promedio supera la cifra señalada.

2.4.5. Ley de Riego N.º 2878

Tiene por objeto establecer las normas que regulan el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos en las actividades de riego para la producción agropecuaria y forestal, teniendo como ámbito de aplicación y regulación las actividades relacionadas con el uso y aprovechamiento del agua en riego.

2.4.6. Ley de los derechos de la Madre Tierra N.º 300

Garantizar el derecho al agua para la vida, priorizando su uso, acceso y aprovechamiento como recurso estratégico en cantidad y calidad suficiente para satisfacer de forma integral e indistinta la conservación de los sistemas de vida, la satisfacción de las necesidades domésticas de las personas y los procesos productivos para garantizar la soberanía y seguridad alimentaria.

Regular, proteger y planificar el uso, acceso y aprovechamiento adecuado, racional y sustentable de los componentes hídricos, con participación social, estableciendo prioridades para el uso del agua potable para el consumo humano.



Ilustración 18 Cartilla educativa "Derechos de la Madre Tierra".

2.4.7. Ley general del turismo. "BOLIVIA TE ESPERA". LEY N° 292.

Según esta norma conocida como "Bolivia te espera", el Estado se encargará de las inversiones económicas y de la generación de políticas para el desarrollo del sector. Además, dará mantenimiento a los principales atractivos turísticos del país, como el salar de Uyuni, el lago Titicaca, el parque nacional Madidi, Tiwanaku y Los Yungas, de La Paz.

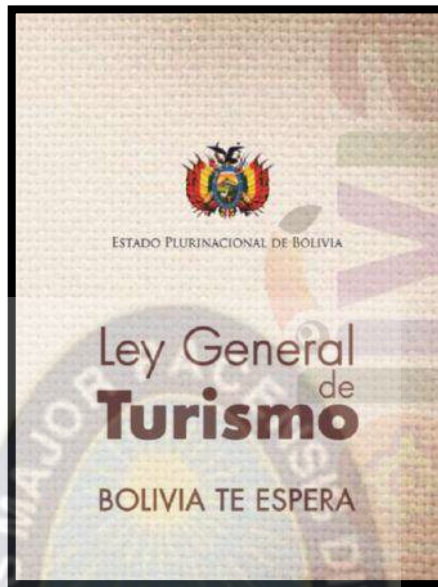


Ilustración 19 Ley general de turismo "BOLIVIA TE ESPERA".

2.5. Plan Sectorial de Desarrollo de Saneamiento Básico

El Plan Nacional de Desarrollo de Bolivia y en particular el Plan Sectorial de Desarrollo de Saneamiento Básico 2011 – 2015, especifican como objetivo el mejorar y ampliar los servicios de agua potable y de saneamiento básico, cubriendo las necesidades de toda persona, para hacer efectivo el derecho humano al agua segura y a los servicios de saneamiento, dando cumplimiento al compromiso de la Constitución Política del Estado y del Gobierno del Estado Plurinacional dentro del marco del “VIVIR BIEN”.

Fuente: <http://www.bivica.org/upload/aguas-residuales-reuso.pdf>

2.6. Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA)

Para cumplir con esta visión, la misión del MMAyA es desarrollar y ejecutar políticas públicas, normas, planes, programas y proyectos para la conservación, adaptación y aprovechamiento sustentable de los recursos ambientales, así como el desarrollo de riego y saneamiento básico con enfoque integral de

cuencas, preservando el medio ambiente, garantizando el uso prioritario del agua para la vida, respetando usos y costumbres para “VIVIR BIEN”.

2.7. Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios en Saneamiento Básico (SENASBA)

SENASBA se ocupa de ofrecer Asistencia Técnica a los operadores de agua potable y saneamiento básico; implementar el Desarrollo Comunitario DESCOM; brindar Fortalecimiento Institucional; difundir experiencias positivas en agua potable y saneamiento básico; ejecutar políticas y estrategias en el sector de agua y saneamiento orientadas a la sostenibilidad.

2.8. NORMA 688 INSTALACIONES SANITARIAS -ALCANTARILLADO SANITARIO, PLUVIAL Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Caudales y DBO

En el dimensionamiento de las unidades de tratamiento y accesorios complementarios así como otros componentes, serán tomados en cuenta entre los elementos obtenidos, los siguientes "Parámetros Básicos": El caudal máximo, medio y mínimo, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO 5 días y 20 °C) y materia en suspensión (en mg/l) y los sólidos sedimentables (ml/l), temperatura, pH, DBO sedimentable.

Se podrán utilizar los diferentes caudales (máximo, medio y mínimo) para el dimensionamiento o verificación de funcionamiento de las diferentes unidades de tratamiento, según sus características.

Carga orgánica

El parámetro de carga orgánica a ser asumido tiene un valor de DBO igual a 54 gr/hab/día. Pudiendo ser admitido valores diferentes en casos en que haya determinación directa.

Unidades modulares

En la distribución de las unidades de la P.T.A.R. debe ser prevista la posibilidad de implementación por módulos correspondientes a las distintas fases de proyecto; la modulación debe ser prevista tomando en cuenta la uniformidad y la estandarización de los equipamientos de la P.T.A.R. y la facilidad de ampliación sin perder de vista el aspecto de economía de escala, que se puede tener con unidades de tratamiento de tamaño mayor.

Conductos de desvío

Las P.T.A.R. deben ser dotadas de conductos de desvío (by pass), tomando en cuenta las siguientes condiciones.

a) La existencia, imprescindible de un desvío “by pass” principal en la entrada de la P.T.A.R. que permita la total exclusión de la misma. En este caso se debe dotar al mismo de una reja de barras de espaciamiento igual o inferior a 25,0 mm, siendo prevista la posibilidad de remoción del material retenido.

b) Existencia de un desvío para cada conjunto de unidades de la P.T.A.R. que componen una misma operación unitaria con capacidad justificada.

Sistemas de compuertas

Las unidades de tratamiento de la P.T.A.R. deberán poseer sistemas de compuertas de aislación que permitan la suspensión momentánea del funcionamiento para atender las inspecciones de mantenimiento. En este caso

el agua residual afluyente, será convenientemente encausada al desvío del conjunto de unidades o a una segunda unidad del conjunto.

Sistemas de medición

En cualquier proyecto de estación de tratamiento debe ser incluido un sistema de medición de caudal, compatible con la dimensión de la propia P.T .A.R., este sistema comprenderá:

- a) Medición de caudal afluyente y/o efluente de las aguas residuales.
- b) Medición del caudal de lodo activado recirculado y en exceso, en el caso de proceso de lodos activados, excluyendo los sistemas conjugados de tratamiento.
- c) Medición del caudal de lodo a ser tratado por procesos biológicos, químicos o térmicos.





CAPITULO III

3.1. MARCO PRÁCTICO

3.1.1. ESTRUCTURAS O INSTALACIONES.

Irremediablemente forma parte integrante del paisaje y en la mayoría de las veces el arquitecto paisajista no el que los dispone, esto se genera a partir de la necesidad de servicios. La parte de planificación del proyecto se debe de contemplar para su tratamiento, con el objetivo de integrarlas o aislarlas adecuadamente según el caso.

Cuadro 7 Clasificación de las unidades de tratamiento.

CLASIFICACION	UNIDAD DE TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN
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"> ◊ Tanque séptico ◊ Tanque Imhoff 	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 	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

	<p>◊ Biodisco</p>	<p>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).</p>
<p>Tratamiento terciario</p>	<p>◊ 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 físicoquímica biológica. Normalmente se trata de remover nutrientes (Nitrógeno y fosforo) del agua, porque estos estimulan el crecimiento de</p>	<p>Es el grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad físicoquímica biológica alto para cuerpos de agua receptores sensitivos o ciertos tipos de reúso. Normalmente se trata de remover nutrientes (Nitrógeno y fósforo) del agua, porque estos estimulan el crecimiento de las plantas acuáticas.</p>

	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, más de 80 % agua) removido del agua contaminada. La finalidad del proceso es de secarlo y tratarlo como una combinación de tiempo y temperatura.

El Reactor UASB también puede ser utilizado para realizar tratamiento primario.

Las lagunas de estabilización también pueden realizar tratamiento primario.

Fuente: Ing. Mejía Mendoza Jorge Humberto, DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN REACTOR UASB PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - UMSS, Mayo 1999.

3.2. EJEMPLO DE CÁLCULO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

3.2.1. Humedales sub superficiales de flujo Horizontal

El diseño hidráulico de un humedal es crítico para obtener buenos rendimientos en la eficiencia de depuración. En los modelos de diseño se asume un flujo en condiciones uniformes y de tipo pistón.

Para llegar a poder intentar acercarse al modelo ideal (flujo pistón) es muy importante realizar un cuidadoso diseño hidráulico y los métodos constructivos apropiados.

El flujo del agua en el interior del humedal debe romper las resistencias creadas por la vegetación, capa de sedimentos, raíces y sólidos acumulados en los humedales.

La energía para romper esta resistencia está dada por la pérdida de carga entre el ingreso y salida del humedal, para dar esta energía se le asigna al fondo del humedal una pendiente con una salida de altura variable.

Para el diseño de humedales se deben considerar los siguientes criterios:

- ◇ Se consideran reactores biológicos.
- ◇ Se considera que el flujo a través del medio poroso es flujo pistón y en forma uniforme.
- ◇ La ley de Darcy describe el flujo a través del medio poroso.

Existen dos tipos de humedales de flujo sub superficial:

- ◇ Humedal sub superficial de flujo horizontal.
- ◇ Humedal sub superficial de flujo vertical.

Para el diseño de este tipo de humedales los pasos a seguir son:

- ◇ Cálculo del área necesaria.
- ◇ Profundidad del humedal.
- ◇ Pendiente.
- ◇ Sustrato.
- ◇ Relación largo - ancho

3.2.1.1. Cálculo del área superficial

El cálculo del área superficial se realiza en función al parámetro contaminante que se desea disminuir o remover, generalmente los diseños se realizan para

disminución de la DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno en cinco días o demanda bioquímica de oxígeno) es un parámetro que mide la cantidad de dióxigeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

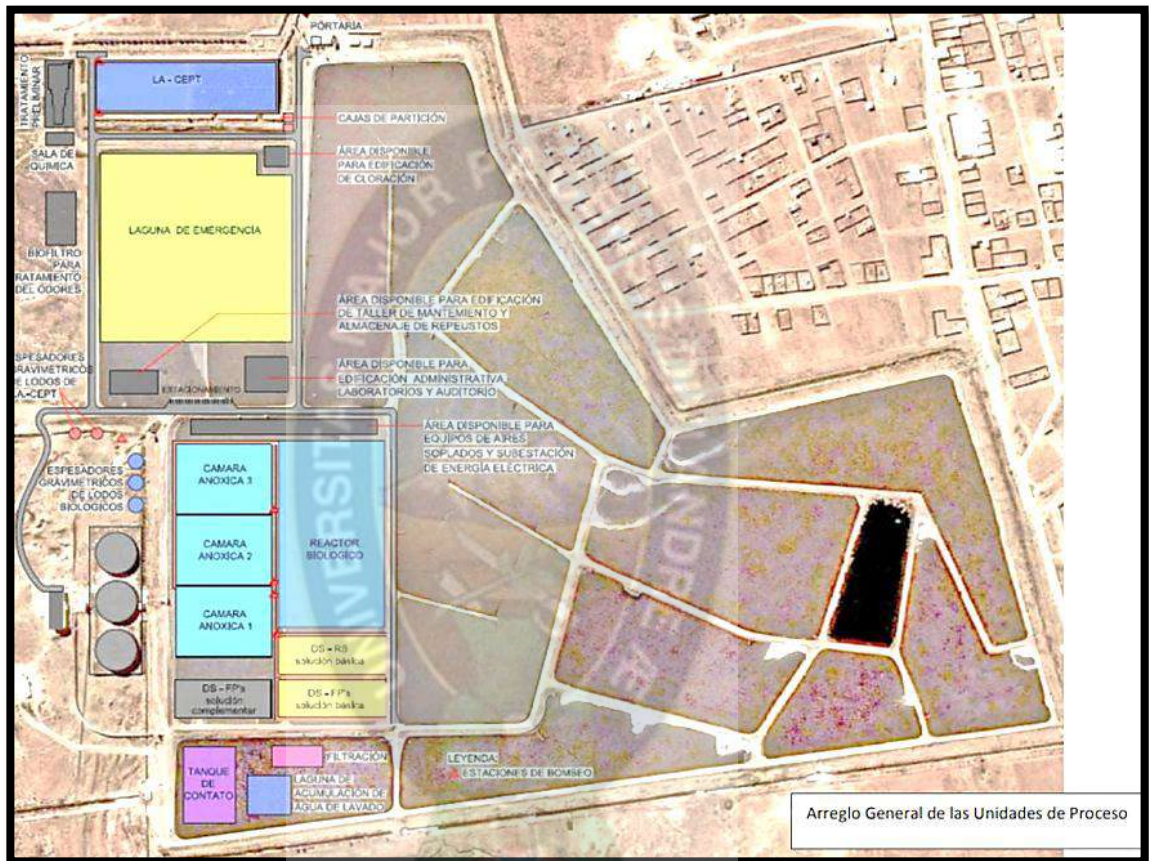


Ilustración 20 Vista satelital de ampliación de planta de tratamiento de Puchokollo-El Alto.

El área superficial se calcula a través de la ecuación 1:

Ecuación 1: Determinación del área superficial.

$$AS = \frac{Q \cdot LN\left(\frac{C_0}{C}\right)}{K_T \cdot h \cdot \eta}$$

Dónde: Q= caudal de diseño del humedal (m3/día)

C= concentración efluente (mg/l)

Co= concentración afluente (mg/l) (0.1-0.3)

KT= Constante de reacción de 1er orden dependiente de la temperatura (d-1)

h= profundidad del humedal (m)

n= porosidad del medio granular (porcentaje expresado en fracción)

Cuadro 8 Comparación de relaciones DBO5/DQO y DBO5/COT.

Tipo de agua residual	DBO5/DQO	DBO5/COT
No tratada	0,3—0,8	1,2—2,0
Después de sedimentación primaria	0,4—0,6	0,8—1,2
Efluente final	0,1—0,3	0,2—0,5

Fuente: Crites y Tchobanoglous, 2000.

La constante de reacción de primer orden se calcula mediante la Ecuación 2:

Ecuación 2: Constante de reacción de primer orden

Dónde:

T2= temperatura del agua (°C)
$$K_T = 1,104 * 1,06^{T_2 - 20}$$

3.2.1.2. La profundidad del humedal

Generalmente varia de 0,3m a 1 m (valor usual 0,6m).

3.2.1.3. Pendiente

La pendiente del fondo o lecho del humedal varía de 0.1 a 1% pero generalmente se utiliza una pendiente ligera del 0.5%.

3.2.1.4. Substrato

Es el medio donde crecen las plantas, los microorganismos y se realizan los principales procesos de depuración.

Para el diseño se recomienda utilizar grava con menos de 30 mm (3/4") de diámetro que parece ser la que funciona mejor.

Si se utiliza grava con diámetros muy grandes de substrato, origina que se incremente la velocidad del paso del agua, resultando en un flujo turbulento y que no se cumpla la ley de Darcy para el diseño.

Caso contrario ocurre con grava de tamaño demasiado pequeño, ésta reduce la velocidad del paso de agua originando zonas con presencia de agua en la superficie y flujos preferenciales, pero tienen la ventaja de proporcionar mayor área superficial para la actividad microbiana y la adsorción.

En algunos casos se utiliza ciertos tipos de suelo (arcillas) para adsorber metales pesados, fosfatos, etcétera. El inconveniente es la gran reducción de la velocidad de paso del agua.

Antes del inicio del diseño se recomienda realizar pruebas de conductividad y porosidad del substrato (grava), esto para definir exactamente el tipo de material a emplearse. Asimismo, se recomienda multiplicar el valor de la conductividad por 1/3 o bien por 0.1 (10%) para evitar problemas de atascamiento por acumulación de lodos, raíces y otros.

Cuadro 9 Características principales de los substratos usados en los humedales.

Tipo de material	Tamaño efectivo D10 (mm)	Conductividad hidráulica, ks (m3/m2/d)	Porosidad, n %
Arena gruesa	2	100-1.000	28-32
Arena gravosa	8	500-5.000	30-35
Grava fina	16	1.000-10.000	35-38
Grava media	32	10.000-50.000	36-40
Roca gruesa	128	50.000-250.000	38-45

Fuente: Oscar Delgadillo • Alan Camacho • Luis F.Pérez • Mauricio Andrade. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba – Bolivia

Con relación a la uniformidad del material este debe tener un coeficiente de uniformidad entre 1 y 6. Características principales de los substratos usados en los humedales.

3.2.1.5. Relación Largo – Ancho

El ancho del humedal consideramos la ley de Darcy (ecuación 3), para flujo en medio poroso.

Ecuación 3: Principio de Darcy para flujo en medios porosos

$$A_c = \frac{Q}{(k_s * S)}$$

Dónde: A_c = área vertical en m²

Q = caudal medio en m³/s

K_s = Conductividad hidráulica (m/s)

S = pendiente (m/m)

El ancho del humedal (m) se determina en función al área vertical y la profundidad del nivel de agua a tratar (ver ecuación 4)

Ecuación 4: Cálculo del ancho del humedal

$$W = \frac{A_c}{h}$$

El largo del humedal se determina en función al ancho y al área superficial como se muestra en la ecuación 5:

Ecuación 5: Cálculo del largo humedal

$$L = \frac{A_s}{W}$$

Dónde: A_s = Área superficial del humedal (m²)

W = ancho del humedal (m)

Posteriormente calculamos la relación largo-ancho (L/A). Mientras mayor es la relación largo-ancho se tiene mejor depuración de las aguas, pero se tiene problemas de cortocircuitos, flujos preferenciales, presencia de agua sobre el lecho de grava y otros.

Por ello se recomienda relación largo – ancho de: 2 a 1, 3 a 1 y 4 a 1

En el cuadro 10 se muestra un resumen de los principales parámetros de diseño de los humedales sub superficiales de flujo horizontal.

Cuadro 10 Parámetros de diseño de humedal sub superficial de flujo horizontal.

Parámetros	Unidad	Intervalo	Valor usual
Tiempo de retención hidráulico	Días	4-15	7
Profundidad agua	M	0,1-0,8	0.6
Área	m ² /heq	2,5-5	
Carga orgánica	gDBO ₅ /m ² .dia	3-7,5	<11
Carga orgánica	kg DBO ₅ /heq.di	<70	
Carga hidráulica	m ³ /m ² .dia	0,1-0,2	
Características constructivas			
Grava ingreso salida	mm	50-100	50
Grava media	mm	3-6	19
		5-10	
		6-12	
Coeficiente uniformidad		3-5	<5
Profundidad medio	m	0.70-1.5	0.7
Pendiente	%	0-1	0.5
Relación largo - ancho		2:1 – 7:1	3:1
Drenaje			
Tubería perforada- tamaño	pulgada	3-4	4
Distribución de agua			
Tubería perforada - canal	pulgada	2-4	3

Fuente: Oscar Delgadillo • Alan Camacho • Luis F.Pérez • Mauricio Andrade. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba – Bolivia

3.2.2. Humedales sub superficiales de flujo vertical.

Existe poca información disponible sobre este tipo de humedales y hay numerosas ecuaciones descritas por investigadores para el cálculo del área superficial, pero generalmente el diseño está en función a las poblaciones equivalentes.

La aplicación del agua residual se realiza en forma intermitente, a través de unas tuberías que se colocan encima del lecho de grava o arena. Para un mejor funcionamiento de estos humedales, se debe considerar siempre en el diseño la construcción de dos humedales para que operen en paralelo, es decir, que cada humedal tenga un periodo de reposo y un periodo de aplicación de agua. El periodo de reposo óptimo es que por cada periodo de alimentación se tenga dos periodos de reposo.

La frecuencia de aplicación del agua residual se calcula considerando que no quede agua en la superficie procedente de la aplicación riego anterior. Esta forma de operación favorece la oxigenación del interior del lecho filtrante. Este proceso se realiza de la siguiente manera: la lámina de agua aplicada empuja el aire existente en el sustrato (porosidad), una vez que el agua aplicada se drena totalmente deja un espacio vacío que se llenará con aire, el cual será arrastrado en la siguiente aplicación. El aporte de oxígeno por las raíces de las plantas es despreciable.

Para el diseño de este tipo de humedales se deben seguir los siguientes pasos:

1. Cálculo del área necesaria.
2. Profundidad del humedal.
3. Pendiente.
4. Sustrato.

3.2.2.1. Cálculo del área necesaria

El cálculo del área del humedal se realiza en función a: 1) la población equivalente y 2) si el humedal trabajará como tratamiento primario o secundario.

La población equivalente se puede definir como la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO 5) de 60 g de oxígeno por día (ver ecuación 6). De igual forma, la carga contaminante de las aguas grises, viene determinada por la suma de los habitantes equivalentes de las industrias asentadas en el municipio y que vierten a la red de colectores municipales.

Ecuación 6. Fórmula para el cálculo de la población equivalente

$$\text{Población equivalente (hab)} = \frac{\text{DBO}_5 \text{ (mg/l)} * \text{Caudal (m}^3\text{/d)}}{60 \text{ grDBO}_5 \text{ /día*hab}}$$

Fuente: Oscar Delgadillo • Alan Camacho • Luis F. Pérez • Mauricio Andrade. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba – Bolivia*

El humedal trabaja como tratamiento primario cuando se aplica aguas residuales pre-tratadas, es decir, aguas que fueron sometidas a un pre-tratamiento físico (rejillas de desbaste y desarenador).

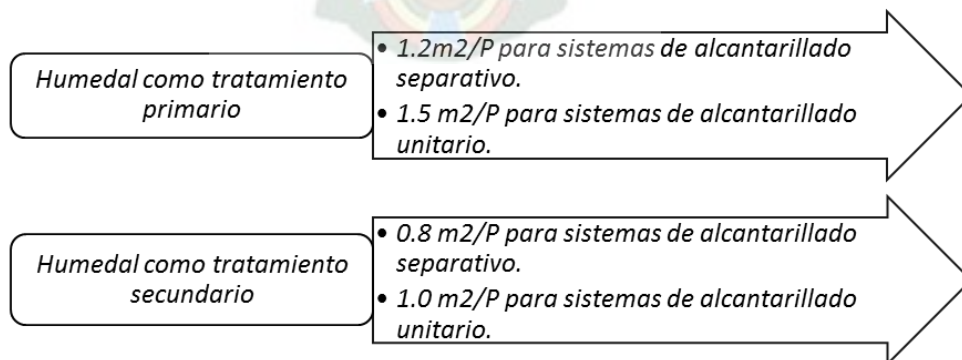


Ilustración 21 Esquema de Humedales.

El humedal trabaja como tratamiento secundario, cuando las aguas residuales a aplicarse al humedal ya recibieron un tratamiento primario ya sea por un tanque séptico, reactor UASB, IMHOFF, lagunas anaerobias, u otro método. Para ambos casos se establecieron ecuaciones que determinan las áreas superficiales de los humedales, como se puede apreciar en la siguiente relación.

Fuente: Oscar Delgadillo • Alan Camacho • Luis F.Pérez • Mauricio Andrade. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba – Bolivia

Por su parte Crites y Tchobanoglous, (2000), calcula el área en base a la tasa hidráulica de aplicación (ver ecuación 7)



Ilustración 22 Tanque IMHOFF.

Ecuación 7: Cálculo del área superficial en humedal vertical

$$As = \frac{Q}{THA}$$

Y la tasa hidráulica de aplicación se calcula con la ecuación 8

Ecuación 8: Tasa hidráulica de aplicación

$$THA = \frac{TCH}{F}$$

Dónde: Q = caudal m³/día

THA= Tasa hidráulica de aplicación (mm/dosis)

TCH= Tasa de carga hidráulica (mm/día)

F = Frecuencia de dosificación (dosis/día)

Fuente: Oscar Delgadillo • Alan Camacho • Luis F.Pérez • Mauricio Andrade. Cochabamba – Bolivia. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.

3.2.2.2. Profundidad del humedal

La profundidad del humedal suele ser de unos 60 a 80 cm. El agua fluirá a través del medio poroso y se recogerá en una red de tuberías de drenaje situada en el fondo del lecho.

3.2.2.3. Pendiente

La pendiente de la superficie del humedal es plana (0%), este debe ser realizado con mucho cuidado para evitar que se formen charcos de agua sobre la superficie.

La pendiente del fondo o lecho del humedal varía de 0.5 a 2% pero generalmente se utiliza una pendiente ligera del 1%.

3.2.2.4. Substrato

El sustrato está conformado por varias capas de material según el tipo de uso que se le dará al humedal (tratamiento primario o secundario) como se observa en el cuadro 10.

Cuadro 11 Alturas de sustrato según el tipo de tratamiento.

	Tratamiento primario	Secundario
Capa superficial	h>30 cm grava fina, diametro efectivo de 2-10 mm	h> 30 cm de arena fina, diametro efectivo de 25 a 40 mm
Intermedia	h de 10 a 15 cm grava fina diametro efectivo 5 a 20 mm	h 10 a 20 cm de grava fina , diametro efectivo de 3 a 10 mm
Drenaje	h de 10 cm grava de diametro efectivo de 20 a 40 mm	h de 10 cm de grava de diametro efectivo de 20 a 40 mm
h= altura del humedal		

Fuente: Oscar Delgadillo • Alan Camacho • Luis F.Pérez • Mauricio Andrade. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba – Bolivia

Para el diseño de este tipo de humedales se requieren las siguientes condiciones.

Para humedales que funcionaran como tratamiento primario: coeficiente de uniformidad menor a 5; caudal de aplicación del agua residual debe ser mayor al caudal de infiltración; el agua residual contiene partículas suspendidas, por ende la conductividad hidráulica se reduce, teniéndose la expresión en la ecuación 9:

Ecuación 9: Cálculo de la conductividad hidráulica para tratamiento primario

$$K_{sf}=0,6*K_s$$

De la misma forma el cálculo del caudal de infiltración se muestra en la ecuación 10.

Ecuación 10: Cálculo del caudal de infiltración para tratamiento primario

$$Q_i = A_s * K_{sf} * 3600$$

Para humedales que funcionaran como tratamiento secundario la condición es que el caudal de aplicación sea mayor al caudal de infiltración y la fórmula del caudal de infiltración se reduce a:

$$Q_i = A_s * K_s * 3600$$

Dónde:

Q_i = caudal de infiltración (m³/h)

A_s = area superficial (m²)

K_s = conductividad hidráulica (m/s)

Fuente: Oscar Delgadillo • Alan Camacho • Luis F.Pérez • Mauricio Andrade. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba – Bolivia

En el cuadro 12 se muestra las principales características de los sustratos empleados para el diseño y construcción de humedales verticales.

Cuadro 12 Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales verticales.

Tipo de material	Tamaño efectivo D_{10} (mm)	Conductividad hidráulica, ks ($m^3/m^2/d$)
Arena gruesa	2	100-1.000
Arena gravosa	8	500-5.000
Grava fina	16	1.000-10.000
Grava media	32	10.000-50.000
Roca gruesa	128	50.000-250.000

Fuente: Oscar Delgadillo • Alan Camacho • Luis F.Pérez • Mauricio Andrade. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba – Bolivia*

La única condición de estos humedales es mantener una simetría rectangular o cuadrada, que la superficie del humedal tenga una pendiente de 0%. Las principales características de estos humedales se muestran en el cuadro 15.

Cuadro 13 Parámetros de diseño de humedal sub-superficial de flujo Vertical.

Factor	Unidad	Intervalo	Valor usual
Medio Filtrante			
Arena fina lavada (secundario)	mm	0.25 – 0.75	0.35
Grava fina (primario)	mm	2.00 - 8.00	2 – 5 mm
Profundidad	cm	45 – 90	60
Coeficiente uniformidad	%	3 – 6	<4
Porcentaje finos	%	2-5	<4
		<4	<4
Drenaje			
Clase (tubería perforada)			
Tamaño	pulg.	3 – 4	4
Pendiente	%	0,1 – 1	0,5
Grava de drenaje	mm	20 - 40	40
Distribución agua			
Diámetro tubería	pulg	1-2	1.5
Distancia entre tuberías	m	0,5 -1,2	0,6
Orificio distribución	mm	3 – 8	6
Distancia entre orificios	m	0,5 - 1,2	0,6
Parámetros de diseño			
Carga hidráulica	$l/m^2 \cdot d$	40 – 60	50 < 0,005
Carga orgánica	$kg\ DBO/m^2 \cdot d$	0,0025 – 0,01	
Dosificación			
Frecuencia	Veces/d	4 – 24	12
Volumen/orificio	$l/orif. \cdot dosis$	0,6 – 1,1	0,9
Tiempo aplicación	minutos	2-15	5

Fuente: Oscar Delgadillo • Alan Camacho • Luis F.Pérez • Mauricio Andrade. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba – Bolivia

Además del diseño hidráulico, se tiene que considerar el diseño de las tuberías de aplicación de agua, potencia de bomba, el diseño de la red de tuberías de drenaje, tiempo de operación y aplicación de las aguas residuales al humedal.

3.3. MONITOREO Y MUESTREO DE HUMEDALES ARTIFICIALES

Se entiende por monitoreo a la medición y observaciones continuas y estandarizadas del agua residual (MDSMA, 1997 - (Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, 1997)). En el caso de las plantas de tratamiento de aguas residuales, sirve para evaluar su funcionamiento. Esta evaluación permite detectar posibles anomalías y/o verificar el cumplimiento de los objetivos propuestos en cuanto a la calidad de agua. Así, las principales herramientas para realizar un plan de monitoreo son el muestreo y análisis de las aguas y la medición de caudales, además de un registro donde se incluyan todos los resultados obtenidos.

Son varias las actividades a tomar en cuenta para definir un programa de muestreo adecuado a cada caso. Según MDSMA, las etapas típicas para la implementación de uno de estos programas incluyen la definición de

- La planificación y ubicación de los puntos de muestreo,
- De la metodología de recolección de las muestras y
- De los análisis a realizarse en campo y en laboratorio.

A continuación se desarrollarán las tres etapas mencionadas, para su aplicación en el monitoreo de rutina en plantas de tratamiento que incluyan lagunas y/o humedales artificiales.

3.3.1. Planificación y ubicación de los puntos de muestreo

Para la definición de esta etapa es necesario tener claro el objetivo del muestreo. También se debe tomar en cuenta la disponibilidad económica, dados los costos de los diferentes parámetros a determinarse. Como ya fue mencionado, para el presente caso se asumirá que el objetivo es realizar un

monitoreo de rutina en plantas de tratamiento de aguas residuales que incluyan tecnologías naturales.

3.3.2. Planificación del muestreo a largo plazo

El funcionamiento de sistemas naturales de tratamiento (lagunas y humedales artificiales) presenta algunas particularidades que tienen influencia en la frecuencia de los muestreos.

Ambos sistemas se basan en el uso de componentes naturales para la depuración. En efecto, su potencial depurador es resultado de la interacción entre agua, suelo, plantas, microorganismos y atmósfera.

Fuente: Seoanez, Aguas residuales: tratamiento por humedales artificiales, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 1999

Aguas residuales urbanas: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento, Mundi – Prensa, Madrid, 1995

Sin embargo, como cualquier sistema natural, están condicionados por las variaciones climatológicas (temperatura, humedad, viento, etcétera) que se producen en las diferentes estaciones. Es decir que su capacidad depuradora puede variar según la magnitud de las variaciones estacionales.

Por la misma razón, su puesta en marcha requiere periodos largos de tiempo, que oscilan desde algunos meses hasta un año. Así, tardan algunos años para alcanzar su máxima capacidad de depuración puesto que está asociada con la madurez biológica de las plantas y los microorganismos de la bio-película.

Fuente: Kadleck, R., R. Knight, J. Vymazal, H. Brix, P. Cooper, y R. Haberl 2000 Constructed wetlands for pollution control: Processes, performance, design and operation, IWA Specialist Group on use of Macrophytes in Water Pollution Control, IWA Publishing.

Como el agua residual es retenida por un tiempo largo al interior de los humedales o lagunas (entre uno y ocho días), estos sistemas son bastante resistentes a grandes incrementos de contaminantes en el agua residual, siempre que duren poco tiempo

Fuente: Peña M. Lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales, Universidad del Valle, Instituto CINERA, Cali, 2003.

De las consideraciones expuestas previamente, es posible inferir algunas directrices para definir las frecuencias de muestreo de humedales y lagunas.

- Es necesario realizar por lo menos un muestreo durante cada estación del año, para registrar y controlar la forma en que afecta a su funcionamiento.
- Los muestreos deben realizarse durante la mayor cantidad posible de años, desde el inicio de su operación. La madurez de los sistemas se refleja en una capacidad depuradora más o menos constante, su disminución indica el inicio de algún problema y debe ser evaluado.
- Si se sospecha de un incremento muy grande y por largo tiempo, en algún parámetro del agua residual, es necesario programar muestreos adicionales para controlar su efecto sobre el funcionamiento de lagunas y humedales.

3.3.3. Selección de los parámetros a analizar

La selección de parámetros a analizar depende fundamentalmente del destino final de las aguas tratadas. En nuestro país, las dos opciones más comunes para estas aguas son el riego y el vertido a un cauce natural. En definitiva, los parámetros a analizar dependerán de las exigencias de la normativa legal para su uso.

La legislación nacional no tiene una aceptación clara respecto al reúso del agua con fines de riego, aunque sí contempla la clasificación de cuerpos de

agua para su uso. Esta clasificación incluye numerosos parámetros a determinar.

Fuente: Camacho, A. Importancia de la gestión y uso actual de las aguas residuales urbanas en la producción agrícola del municipio de Punata, Cochabamba, Tesis de Maestría, Universidad de Las Palmas y Gran Canaria - Fundación Universitaria Iberoamericana, 2005.

Sin embargo, ante el costo de la determinación de dichos parámetros, es posible escoger algunos de ellos de forma que permitan el monitoreo a un precio razonable, pero sin omitir los imprescindibles. El criterio más importante para seleccionar los parámetros es el origen de las aguas residuales.

El presente trabajo se centra en plantas de tratamiento de aguas residuales que tratan aguas residuales de uso doméstico, por tanto los parámetros sugeridos para el monitoreo sólo son aplicables en dicha situación. Si el destino final del agua residual es el vertido a un cauce natural, los parámetros mínimos a ser analizados son el pH, los sólidos totales, los sólidos suspendidos, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), la Demanda Química de Oxígeno, el Nitrógeno como Amonio y los coliformes termotolerantes.

Si el destino final fuese el agua para riego, teniendo en cuenta las características de las zonas semiáridas del país, es necesario añadir a los anteriores parámetros algunos que permitan la evaluación del riesgo de salinización de los suelos. Así, los parámetros mínimos a determinar son la conductividad eléctrica, el Sodio y los cloruros.

Fuente: Vargas, H. "Evaluación de la calidad del agua", presentación Power Point, Universidad Agraria de La Habana, Sistema de Postgrado, La Habana, 2005.

El monitoreo y muestreo de humedales artificiales suelos se basa en relaciones más o menos complejas entre dichos parámetros. Sin embargo, y considerando la finalidad del documento, se considerará la interpretación más sencilla,

expuesta en el cuadro 13. La interpretación de los resultados para los demás parámetros será explicada más adelante.

Cuadro 14 Valores referenciales de evaluación de agua para riego.

Parámetro	Unidad	Interpretación según su uso para riego		
		Sin problema	Condicional	No recomendable
Conductividad eléctrica	dSm	< 0,75	0,75 – 3,00	> 3,0
Sodio	Meq/l	< 3,00	3,00 – 9,00	> 9,0
Cloruros	Meq/l	< 4,00	4,00 – 10,00	> 10,00

Fuente: Vargas, H. "Evaluación de la calidad del agua", presentación Power Point, Universidad Agraria de La Habana, Sistema de Postgrado, La Habana, 2005.

Es necesario recalcar que los indicados constituyen parámetros mínimos, y sólo son aplicables para situaciones donde el agua residual provenga exclusivamente de usos domésticos. Además, se deben determinar la mayor cantidad posible de parámetros aplicables según las normas legales.

3.3.4. Localización de los puntos de muestreo

Indica que las principales consideraciones para definir la localización de los puntos de muestreo son:

- a) la posible heterogeneidad espacial
- b) la accesibilidad
- c) la posibilidad de medición de caudales

Al tratarse las plantas de tratamiento de aguas residuales de instalaciones expresamente construidas, es improbable encontrar una gran heterogeneidad espacial o puntos inaccesibles para el muestreo. Es más común la dificultad en

la medición de caudales entre los distintos tratamientos, ya sea por falta de previsión o por un deficiente mantenimiento.

Fuente: Tapias, J. "Toma y conservación de la muestra", presentación Power Point, Universidad de Barcelona, Facultad de Farmacia, Barcelona, 2008.

De todas formas, la localización de los puntos de muestreo depende también del objetivo del muestreo. Para una mejor comprensión de este apartado, considérese la planta de tratamiento de aguas residuales esquematizada en el siguiente esquema:

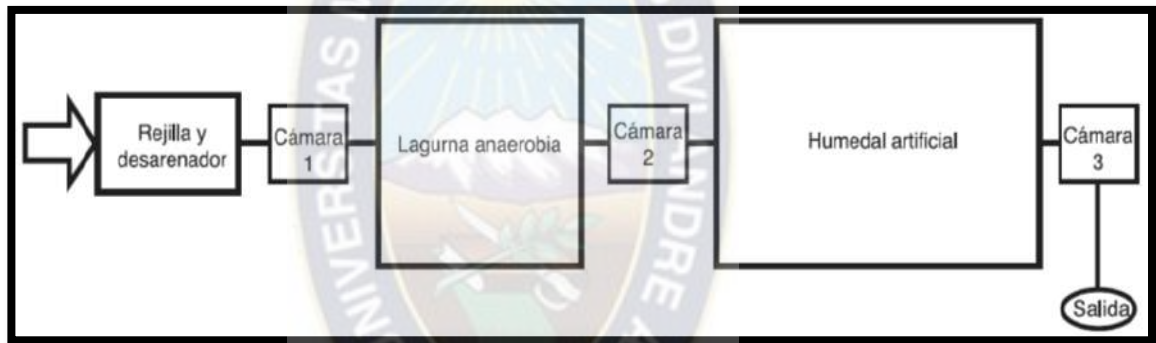


Ilustración 23 Esquema de una planta de tratamiento de aguas residuales.

El esquema de arriba muestra una planta de tratamiento de aguas residuales y sus partes de depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.

Tomando como ejemplo la figura de arriba, y suponiendo que el objetivo del muestreo es evaluar el funcionamiento de la laguna anaerobia, entonces los puntos de muestreo serían la cámara de inspección 1 y la cámara de inspección 2. Así se obtendrían los datos necesarios para calcular la eficiencia de remoción de contaminantes sólo de la laguna.

Si, en cambio, el objetivo fuera saber si el agua a la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales cumple las normas legales para su vertido, bastará recoger las muestras del punto de salida. Un caso poco común, por ser más propio de trabajos de investigación avanzada, es el muestreo en diferentes puntos de una laguna, para obtener datos detallados de su funcionamiento. En dicho caso, y de ser necesario, se recurrirá al uso de una embarcación para la toma de muestras.

3.3.5. Metodología de recolección de muestras

El objetivo de cualquier toma de muestras es recoger una porción del material que se desea analizar, su eficientemente pequeña para ser transportada adecuadamente y manejada en laboratorio mientras todavía represente fielmente el material muestreado. Ello implica que las proporciones relativas y las concentraciones de cada componente de la muestra deben ser las mismas que en el material original, y que la muestra debe ser manipulada de forma que no se produzcan cambios significativos en su composición hasta el análisis.

Fuente: Andreu, E y A. Camacho, A. Recomendaciones para la toma de muestras de agua, biota y sedimentos en humedales Ramsar, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 2002.

3.3.6. Tipos de muestreo

Son varios los criterios que se toman en cuenta para optar por un tipo de muestreo. Existen tres tipos básicos:

- a) muestra simple
- b) muestra compuesta
- c) muestra integrada

Sin embargo, para los propósitos del presente texto, bastará desarrollar dos de ellos junto a los criterios más afines al monitoreo de plantas de tratamiento de

aguas residuales, mencionando que la obtención de muestras integradas es un proceso bastante complejo, que requiere mano de obra entrenada y se usa para aplicaciones que rara vez son de interés para lagunas y humedales artificiales.

Las muestras simples o puntuales, representan un punto de muestreo en un momento determinado y se toman para su análisis individual. Es adecuada para representar cuerpos de agua con una composición estable en el tiempo, y para cuando se quiera representar un pico máximo o mínimo de la composición o de un indicador de calidad de agua. Un caso típico, como forma de aclarar este último punto, es el muestreo de organismos patógenos en lagunas: la mayor actividad de microorganismos se registra a mediodía, por tanto, para representar correctamente el riesgo microbiológico de esas aguas, basta una muestra puntual en ese momento.

Las muestras compuestas resultan de la mezcla y homogeneización de muestras puntuales recogidas en un mismo punto a lo largo de un periodo de tiempo. Se utilizan para evaluar la calidad promedio de aguas cuya composición varía en el tiempo. Es decir que se reduce el número de muestras a analizar, aunque también la información obtenida de las mismas (MDSMA, 1997).

El procedimiento común para la obtención de muestras compuestas es recoger las muestras puntuales separadas por un intervalo de tiempo. Al final del día, se prepara la mezcla.

Monitoreo y muestreo de humedales artificiales para ser analizada. El intervalo se define teniendo en cuenta que lo ideal es lograr el mayor número posible de muestras, aunque esta opción también debe tomar en cuenta los aspectos logísticos y actividades a realizar entre muestreos. MDSMA (1997) recomienda que las muestras compuestas lo sean de por lo menos ocho muestras. La contribución de cada muestra a la mezcla debe ser proporcional al caudal

registrado al momento de su recolección. Para una mejor comprensión se explicará el ejemplo mostrado en el cuadro 15.

Cuadro 15 Ejemplo de cálculo de alícuotas para muestra compuesta.

Hora	Caudal registrado (l/s)	Composición porcentual	Volumen para muestra compuesta (l)
08:00	9,1	16,55	0,41
10:00	6,8	12,36	0,31
12:00	7,6	13,82	0,35
14:00	12,6	22,91	0,57
16:00	10,5	19,09	0,48
18:00	8,4	15,27	0,38
Total acumulado	55	100	2,5

Fuente: Andreu, E y A. Camacho, A. Recomendaciones para la toma de muestras de agua, biota y sedimentos en humedales Ramsar, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 2002.

Sean la hora y el caudal los datos registrados durante la toma de muestras puntuales para composición, durante un día de muestreo a la entrada de una PTAR. El primer paso es sumar los caudales para obtener el total acumulado, que en este caso es 55. A continuación, se calcula el valor porcentual de cada caudal registrado respecto del total acumulado, y se anota en la columna de composición porcentual. Finalmente, suponiendo que el laboratorio requiere de un volumen de 2,5 litros para realizar los diferentes análisis, en base a la composición porcentual se calcula el volumen con el que cada muestra puntual contribuirá para obtener los 2,5 litros de muestra compuesta.

Es importante mencionar que las muestras deben ser guardadas hasta el momento de la composición en una conservadora protegida del sol, de ser posible, en un refrigerador.

3.3.7. Recolección de agua residual

En el proceso de recolección de agua residual se deben tomar en cuenta dos aspectos importantes: las medidas de seguridad y la técnica de recolección.

Las medidas de seguridad se recaen a todas las previsiones y cuidados que deben aplicar las personas encargadas de la recolección para evitar contaminarse o enfermarse.

Como norma general el autor Tapias indica que todas las partes en contacto con el líquido deben estar totalmente protegidas con material impermeable, y en aquellos casos en que se puedan desprender gases o vapores, los equipos y el personal deben alejarse de su campo de acción lo más lejos que sea posible, o utilizar la protección adecuada (máscaras, barbijos, gafas, etcétera).

Es también muy recomendable contar con un botiquín que contenga elementos de primeros auxilios acordes con los riesgos que implica el muestreo de aguas residuales.

Fuente: Tapias, J. "Toma y conservación de la muestra", presentación Power Point, Universidad de Barcelona, Facultad de Farmacia, Barcelona, 2008.

Por técnica de recolección se entiende a las prácticas adecuadas de recolección para garantizar que la muestra represente al cuerpo de agua. La mayor parte de estas pueden resumirse en las recomendaciones generales dadas por MDSMA (1997):

- a) El recipiente debe enjuagarse dos veces con la muestra.
- b) Evitar tomar agua de la orilla.

- c) Tomar la muestra por debajo de la superficie del agua y sin tocar sedimentos.
- d) Si existe flujo, tomar la muestra enfrentándolo con la boca del recipiente.

3.3.8. Cantidad de muestra

Para el análisis de aguas residuales y efluentes, por lo general es suficiente un volumen final de muestra de 2 a 3 litros. Para determinados parámetros puede ser necesario un mayor volumen de muestra. Para pruebas químicas, bacteriológicas y microscópicas se deben tomar muestras por separado debido a que los métodos de recolección y manejo son diferentes. Siempre se debe recolectar un volumen de muestra suficiente en el recipiente adecuado, de forma que permita hacer las mediciones de acuerdo con los requerimientos de manejo, almacenamiento y preservación.

Fuente: Tapias, J. "Toma y conservación de la muestra", presentación Power Point, Universidad de Barcelona, Facultad de Farmacia, Barcelona, 2008.

3.3.9. Procedimiento de etiquetado y registro

Una buena identificación es imprescindible para que el muestreo tenga éxito. El MDSMA (Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente), (1997) afirma que conviene pegar tarjetas en cada frasco de muestreo con el mínimo de información necesaria, pues el resto deberá incluirse en los registros de campo.

La información mínima a incluirse en las etiquetas es detallada a continuación:

- Número de muestra.
- Fecha.
- Código de la muestra.
- Hora del muestreo.
- Número o identificación del punto de muestreo.

- Código de los parámetros a analizar.

Si es posible, también se deben incluir instrucciones para la correcta conservación de la muestra hasta el análisis.

Es muy conveniente utilizar marcadores indelebles y material apto para resistir las distintas inclemencias y situaciones a las que se exponen recipientes con muestras de agua.

Respecto al registro, se deben registrar, además de los mismos datos de la etiqueta, los siguientes

- Muestra puntual o compuesta.
- Intervalo de muestreo y/o volumen correspondiente.
- Sustancias perseverantes adicionados.
- Condiciones de muestreo: normal, turbulencia, colores u olores anormales, etcétera.
- Determinaciones de campo realizadas: pH, temperatura, etcétera.
- Nombre del muestreador y de los responsables del traslado de muestras.
- Datos meteorológicos al momento del muestreo.
- Monitoreo y muestreo de humedales artificiales
- Datos de caudal, incluyendo el método de aforo.
- Origen del agua.
- Aspecto del medio natural.

Fuente: Tapias, J. "Toma y conservación de la muestra", presentación Power Point, Universidad de Barcelona, Facultad de Farmacia, Barcelona, 2008.

3.3.10. Conservación y almacenamiento de muestras

Para asegurar que las muestras sean transportadas hasta el laboratorio de forma que no sufra alteraciones significativas, se adoptan algunas medidas de forma general:

- ◊ Conservar el agua a 4°C mediante neveras portátiles o conservadoras. El agua en estas condiciones se mantiene alrededor de 36 horas.
- ◊ Añadir sustancias que estabilicen la muestra, evitando así la acción de los agentes degradantes.
- ◊ Proteger las muestras de la acción directa de la luz; para ello se recomienda utilizar botellas opacas.

Fuente: Tapias, J. "Toma y conservación de la muestra", presentación Power Point, Universidad de Barcelona, Facultad de Farmacia, Barcelona, 2008.

Es necesario mencionar que existen algunas determinaciones que deben ser realizadas de forma inmediata al muestreo. Éstas, junto a otras determinaciones y particularidades para su conservación hasta el laboratorio son identificadas en el cuadro 16. Allí se evidencia que la recolección, manipulación de recipientes y conservación de muestras de agua residual varía según el parámetro que vaya a ser analizado.

Fuente: García, E. Tratamiento de aguas industriales: Análisis microbiológico de aguas residuales, Fundación Universitaria Iberoamericana. Barcelona, 2004.

En algunos parámetros requiere atención el material del recipiente. Cada caso es diferente, pero básicamente se debe a la posibilidad de que los materiales, reaccionen ante los compuestos preservantes y/o el agua residual, liberando compuestos que puedan alterar los resultados obtenidos.

Cuadro 16 Recomendaciones para el muestreo y preservación de muestras.

Determinación	Recipiente	Vol. mínimo de muestra (ml)	Tipo de muestra	Preservación	Almacenamiento máximo
Cloruros	P, V	50	S, C	No requiere	28 días
Conductividad	P, V	500	S, C	Refrigerar	28 días
DBO	P, V	1000	S	Refrigerar	48 horas
DQO	P, V	100	S, C	Análisis lo antes posible, o agregar H ₂ SO ₄ y refrigerar	28 días
Metales en general	P	500	S, C	Agregar HNO ₃	
Nitrógeno amoniacal	P, V	500	S, C	Análisis lo antes posible, o agregar H ₂ SO ₄ y refrigerar	28 días
Nitrato	P, V	100	S, C	Análisis lo antes posible o refrigerar	48 horas
Nitrito	P, V	100	S, C	Análisis lo antes posible o refrigerar	48 horas
Nitrógeno orgánico, Kjeldahl	P, V	500	S, C	Refrigerar; agregar H ₂ SO ₄ y refrigerar	28 días
pH	P, V	50	S	Análisis inmediato	-
Sólidos	P, V	200	S, C	Refrigerar	2 a 7 días
Salinidad	V	240	S	Análisis inmediato	-

P = plástico; V = vidrio; S = simple; C = compuesta

3.4. CONTROL DE LA EXPOSICIÓN HUMANA

Cuatro grupos de personas pueden estar expuestos al riesgo que acarrea el empleo de aguas residuales y excretas en agricultura:

- 1) Los agricultores y sus familias.
- 2) Las personas que manejan los productos cultivados.
- 3) Los consumidores (de productos cultivados, carne y leche).
- 4) Las personas que viven cerca de los campos respectivos.

Se pueden emplear diversos métodos para controlar la exposición de cada uno de estos grupos, la finalidad se centra en evitar su contacto directo con los

agentes patógenos de los desechos o evitar enfermedades una vez realizado el contacto.

Entre las medidas para proteger a los agricultores y a las personas que manejan los cultivos están el uso de ropa protectora para evitar el contacto con los agentes patógenos, estrictas prácticas de higiene para eliminar cualquier agente patógeno existente, y quizá la inmunización contra determinadas infecciones o su control quimioterapéutico como medida paliativa provisional para evitar una infección conducente a enfermedad.

Por ejemplo, la exposición de los agricultores a la infección causada por anquilostomas se puede reducir con el uso de calzado apropiado en el campo, pero eso tal vez sea difícil donde la gente suele trabajar descalza. Los manipuladores de productos agrícolas corren menor riesgo y pueden combatir su exposición utilizando guantes y adoptando adecuadas prácticas de higiene personal. No es posible inmunizar a la población contra la helmintiasis o la mayoría de las enfermedades diarreicas; sin embargo, quizá valga la pena considerar la inmunización de grupos muy expuestos contra la fiebre tifoidea y la hepatitis A.

Otras medidas de protección de la salud incluyen la provisión de establecimientos médicos adecuados para tratar las enfermedades diarreicas, la quimioterapia y la inmunización no son estrategias adecuadas de protección de la salud, pero podrían ser provechosas como medida paliativa provisional. En los programas de aprovechamiento de aguas residuales en agricultura, es posible reducir los riesgos para los consumidores cocinando los alimentos antes del consumo y observando estrictas normas de higiene con relación a la limpieza de los alimentos. Por tanto, en las campañas de educación sanitaria hay que prestar la debida atención a la higiene de los alimentos, por ejemplo la transmisión de la tenia se puede prevenir con inspección de la carne.

La población local debe mantenerse bien informada sobre la ubicación de todos los campos en los que se emplean aguas residuales para que se abstenga de entrar a ellos. No se ha comprobado que quienes viven cerca de los campos regados por aspersión con aguas residuales estén muy expuestos a riesgos. Sin embargo, no se deben usar aspersores a una distancia de 50 a 100 metros de las casas o los caminos para evitar que se mojen los peatones.

Se necesita tener cuidado especial para que los trabajadores, residentes y visitantes no utilicen aguas residuales para beber o para uso doméstico por accidente o porque no tienen otra alternativa. Por tanto, el suministro de agua potable de buena calidad es una medida indispensable de control de la exposición y todos los canales, tubos y bocas de salida de aguas residuales deben marcarse como tales y, de preferencia, pintarse de un color distintivo. Será preciso emplear aditamentos especiales de conexión con las bocas de salida para evitar el uso indebido.

Fuente: Rodrigo Marcelo Ayala Fanola, Greby Gonzales Marquez – “Apoyo didáctico en la enseñanza – aprendizaje de la asignatura de plantas de tratamiento de aguas residuales”



CAPITULO IV

4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- i. De los resultados encontrados en este trabajo se concluye que se demuestra que el establecimiento del uso de la totora en plantas de tratamiento de aguas residuales ayuda a la remoción de la carga orgánica, bacteriológica y de metales pesados presentes en las aguas efluentes después de su uso y de nutrimentos del agua residual, los microorganismos son la parte fundamental del mecanismo con que la plantas macrófitas contribuyen a la remoción de los contaminantes; los compuestos orgánicos, nitrogenados y fosforados son transformados a formas más simples y, por lo tanto, más fáciles de ser asimilados por las propias plantas.
- ii. Sin embargo, se **recomienda** que para complementar este trabajo se valoren a detalle otros procesos involucrados, como el efecto del sustrato sobre la retención de materia orgánica y nutrimentos, la biodiversidad de microorganismos, la distribución hidráulica, las asociaciones de microorganismos con los especímenes de prueba, etc. Y así lograr una mejor comprensión de los procesos fisicoquímicos y biológicos que se llevan a cabo. Ya que no se tiene parámetros específicos para residuos de las plantas para su conservación o su eliminación después de haber aportado en el proceso de desinfección de aguas.
- iii. Con base en lo anterior, se **concluye** que se puede afirmar que, dependiendo de las condiciones climatológicas, cada especie evaluada remueve selectivamente algunos contaminantes presentes en las aguas residuales de origen doméstico, destacándose mayores porcentajes de remoción en estaciones del año calurosas con gradientes de tiempos de

retención menores; complementando la información anterior y mediante la aplicación de modelos matemáticos es posible determinar las cantidades más adecuadas para su construcción e implementación, así como los tiempos de retención óptimos para cada estación del año, logrando así el diseño de un sistema sustentable y reproducible de tratamiento de aguas residuales para cada región en particular, que contribuya al mejoramiento del medio ambiente.

5.1. BIBLIOGRAFIA

- Aguas residuales urbanas: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento, Mundi-Prensa, Madrid, 1995
- **Alfaro, R.**
Arce, C. Aquize, E. Boulange, B. Carmouze, J.P. Collot, D. Hi Cielo, R. Libermann, M. Miranda, C. Pawley, A. Pinto, J. Quintanilla, J. Repelin, R. Richerson, P. Roncal, M. del R. Salm, H. Vargas, M.L. Wurtsbaugh, W. 1987. Descripción del lago Titicaca y su cuenca, Parte II. Documento de pesca N° 5. IMARPE, UMSA, Ed. OLDEPESCA. Lima, Perú.
- **Arq. J Miguel Hernandez Heras**
Como elaborar un proyecto.
- **Álvarez, J y E. Bécares.**
“EL PAPEL DE LA VEGETACION EN HUMEDALES CONSTRUIDOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES” en Memoria del Encuentro Internacional en Fitodepuración, Lorca, 2005.
- **Arias, O.**
ESTUDIO DE LA BIODEGRADACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUB SUPERFICIAL. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d’Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental. Tesina, Barcelona.

- **Ascuntar, D., A. Toro, M. Peña y C. Madera 2007**
“INFLUENCIA DEL CRECIMIENTO BIOLÓGICO EN LA HIDRODINÁMICA Y EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN UN HUMEDAL DE FLUJO SUB SUPERFICIAL SIN VEGETACIÓN, PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN REGIONES TROPICALES” en Seminario Internacional sobre Manejo Integral de Aguas Residuales Domésticas, Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA), Universidad del Valle, Colombia, 2004.
- **A. Macchiavelli, GIZ-AAPS.**
AAPS, 2017 con datos de la consultoría. “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS DE SEGUIMIENTO, MONITOREO Y CONTROL DE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS PTAR EN BOLIVIA” 2015.
- **APOYO DIDACTICO EN LA ENSEÑANZA – APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**
- **Camacho, A.**
Importancia de la gestión y uso actual de las aguas residuales urbanas en la producción agrícola del municipio de Punata, Cochabamba, Tesis de Maestría, Universidad de Las Palmas y Gran Canaria - Fundación Universitaria Iberoamericana, 2005.
- **Crites y Tchobanoglous, 2000.**
- **Marthadina Mendizabal de Finot. ILDIS.**
Un Ecosistema Frágil ante la Agresión Urbana. 1990 La Paz-Bolivia.
- **Ing. Mejía Mendoza Jorge Humberto.**

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN REACTOR UASB PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - UMSS, Mayo 1999.

- **Ing. Leon Suematsu Guillermo.**
Curso “Diseño y Operación de Lagunas de Estabilización”, La Paz, Noviembre de 1999.
- **Kadleck, R., R. Knight, J. Vymazal, H. Brix, P. Cooper, y R. Haberl**
Constructed wetlands for pollution control: Processes, performance, design and operation, IWA Specialist Group on use of Macrophytes in Water Pollution Control, IWA Publishing, 2000.
- **Lahora Cano.**
“Los humedales artificiales como tratamiento terciario de bajo coste en la depuración de aguas residuales urbanas” 2004.
- www.gem.es/MATERIALES/DOCUMENT/DOCUMENT/g01/d01203/d01203.htm
- **Loza, F.**
Patrones de distribución espacio – temporal de las poblaciones de totora del lago Titicaca menor 1986 – 2004. Tesis de Magíster Scientae en Ecología y Conservación. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Instituto de Ecología, Postgrado de Ecología y Conservación. La Paz, Bolivia. 2005.
- **Navas, L.**
“Flora de la cuenca de Santiago” (19 de septiembre de 2006).
<http://mazinger.sisib.uchile.cl/.../navasl01/cap2/tribu10.html>
- **Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F.Pérez, Mauricio Andrade**
DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE HUMEDALES ARTIFICIALES

- **Paakat.**
Revista de Tecnología y Sociedad. Año 3, núm. 5, septiembre 2013- febrero 2014. ISSN: 2007-3607
- **Pardo, J..**
Norma técnica para coliformes fecales. Comunicación Personal, Lugar: Instituto de Servicios de Laboratorio de Diagnóstico e Investigación en Salud. La Paz, Bolivia. 2007.
- **PELT – ADESU**
Proyecto “Técnicas de Implante de Totorá” 2001.
- **Peña M.**
Lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales, Universidad del Valle, Instituto CINERA, Cali, 2003.
- **REGLAMENTOS TÉCNICOS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL IBNORCA**
- **REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS DE INSPECCIÓN. IBNORCA**
- **REGLAMENTO TÉCNICO DE DISEÑO DE CONEXIONES DOMICILIARIAS. IBNORCA**
- **REGLAMENTO NACIONAL NB 688**
Reglamento técnico de diseño para sistemas de alcantarillado sanitario
- **RIVERA G.**
Primera Edición, La Paz-Bolivia, Instituto de Ingeniería Sanitaria, Universidad Mayor de San Andrés. Manual de Diseño de Plantas de Tratamiento de aguas residuales domésticas”, 2009.
- **RODRIGO MARCELO AYALA FANOLA y GREBY GONZALES MARQUEZ**

- **Rodríguez, A., et.al.**
REMOCIÓN DE NITRÓGENO EN UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO VERTICAL A ESCALA DE BANCO. *Tecnol. Ciencia Ed.* 21, (2006).
- **ROMERO Jairo.**
“Calidad del Agua”, Segunda Edición, México, Grupo Editor AlfaOmega S.A., 1999, N° ISBN 970-15-0405-4.
- **Romero, M., et.al.**
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR UN SISTEMA PILOTO DE HUMEDALES ARTIFICIALES: EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA. *Revista internacional de contaminación ambiental*, (2009). 25(3), (pp. 157-167). EnLínea. Disponible Sep.9,2013: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300004&lng=es&tlng=en
- **Rolim, S.**
Sistemas de Lagunas de estabilización. CÓMO UTILIZAR AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN SISTEMAS DE REGADÍO, McGraw Hill, Institute Of Technology, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2000.
- **Salazar Doreen**
PROARCA/SIGMA, GUÍA PARA EL MANEJO DE EXCRETAS Y AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES, Guatemala, 2003.
- **Seoáñez.**
Aguas residuales: tratamiento por humedales artificiales, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 1999.
- **Stengel en Soto et al.**
“Role of *Scirpus lacustris* in bacterial and nutrient removal from wastewater” en *Water Science Technology*, 40(3), pp. 241-247. 1999.

- **Tapias, J.**
“Toma y conservación de la muestra”, presentación Power Point,
Universidad de Barcelona,
Facultad de Farmacia, Barcelona, 2008.
- **Vargas, H.**
“Evaluación de la calidad del agua”, presentación Power Point,
Universidad Agraria de La Habana, Sistema de Postgrado, La Habana,
2005.
- **Fuente: Von Sperling**
Comparison among the most frequently used systems for wastewater
treatment in developing countries. International symposium on technology
transfer. Journal Water Science Technology. (1998)
- **Zeeuw, H.; Lock, K.**
Documento de discusión para la conferencia electrónica de FAO–
ETC/RUAF sobre la agricultura urbana y peri–urbana. Consultado el 18
de abril de 2007. Disponible en:
<http://www.fao.org/urbanag/Paper2-s.htm>



Cuadro 17 Convocatorias de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en Bolivia.

LOCALIDAD	TIPO DE CONTRATACIÓN	OBJETO DE CONTRATACIÓN	FECHA DE PUBLICACIÓN	ENTIDAD ENCARGADA DE CONTRATACIÓN
La Paz - Copacabana	Obras	Mejoramiento y ampliación de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales de Copacabana.	28-05-2018 31.694.926,00 Bs. 4.586.275,72 \$us.	Unidad coordinadora del programa de agua y alcantarillado periurbano MMAYA-UCP/PAAP
Cochabamba - Alba Rancho	Consultoría	Estudio de diseño técnico de pre-inversión proyecto de riego con aguas tratadas de la planta de tratamiento de aguas residuales Alba Racho - Cochabamba	14-05-2018 1.191.876,00 Bs. 172.465,21 \$us.	Ministerio de medio ambiente y agua
La Paz - San Pedro de Tiquina	Consultoría	Ajuste y complementación del estudio de diseño técnico de pre-inversión (EDTP) de proyectos de sistemas de	27-08-2018 82.950,00 Bs. 12.002,92 \$us.	Unidad Coordinadora Del Programa De Agua Y Alcantarillado Periurbano -

		alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de aguas residuales, para el Municipio de San Pedro de Tiquina en las localidades de San Pedro de Tiquina y San Pablo de Tiquina		MMAYA-UCP/PAAP
La Paz – Pucarani, Puerto Perez y Batallas	Consultoría	Conclusión de estudios de diseño técnico de pre-inversión (EDTP) de proyectos de sistemas de alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de aguas residuales, para los Municipios de Pucarani, Puerto Pérez y Batallas	20-08-2018 237.085,00 Bs. 34.306,35 \$us.	Unidad Coordinadora Del Programa De Agua Y Alcantarillado Periurbano - MMAYA-UCP/PAAP
La Paz - Desaguadero	Consultoría	Conclusión de estudios de diseño técnico de pre-inversión (EDTP) de proyectos de sistemas de alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de aguas residuales, para los Municipios de Desaguadero y Tito Yupanqui	20-08-2018 181.157,00 Bs. 26.213,53 \$us.	Unidad Coordinadora Del Programa De Agua Y Alcantarillado Periurbano - MMAYA-UCP/PAAP

La Paz – Calamarca, Comanche y Achocalla	Consultoría	Conclusión de estudios de diseño técnico de pre-inversión (Edtp) de proyectos de sistemas de alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de aguas residuales, para los Municipios de Calamarca, Comanche y Achocalla	20-08-2018 237.085,00 Bs. 34.306,35 \$us.	Unidad Coordinadora Del Programa De Agua Y Alcantarillado Periurbano – MMAYA UCP/PAAP
La Paz – Laja, Tihuanacu	Consultoría	Conclusión de estudios de diseño técnico de pre-inversión (EDTP) de proyectos de sistemas de alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de aguas residuales, para los Municipios de Laja y Tiahuanacu	12-07-2018 181.157,00 Bs. 26.213,53 \$us.	Unidad Coordinadora Del Programa De Agua Y Alcantarillado Periurbano - MMAYA-UCP/PAAP
Tarija - Tarija	Consultoría	Elaboración del estudio técnico de pre-inversión (EDTP) construcción de colectores, emisario y planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para la ciudad de Tarija	11-07-2018 4.385.596,00 Bs. 634.598,50 \$us.	Unidad Coordinadora Del Programa De Agua Y Alcantarillado Periurbano - MMAYA-UCP/PAAP
Cochaba	Obras	Rehabilitación planta de	28-12-	Gobierno

mba - Cliza		tratamiento de aguas residuales Huasacalle	2017 775.448,0 0 Bs. 112.207,8 1 \$us.	Autonomo Municipal De Cliza
Cochaba mba - Cliza	Obras	Rehabilitación planta de tratamiento de aguas residuales San Isidro	28-12- 2017 450.338,0 0 Bs. 65.164,19 \$us.	Gobierno Autonomo Municipal De Cliza
La Paz - Cairoma	Servicios Generales	Mantenimiento planta de tratamiento de aguas residuales - Totorá (fase i)	11-12- 2017 84.300,00 Bs. 12.198,26 \$us.	Gobierno Autonomo Municipal De Totorá
La Paz - Cairoma	Consultoría	Estudio técnico construcción sistemas de alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de aguas residuales Viloco	05-12- 2017 80.000,00 Bs. 11.576,05 \$us.	Gobierno Autónomo Municipal De Cairoma
La Paz – Achachicala	Consultoría	Construcción planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) centro municipal de faeno Z. Achachicala Central	30-11- 2017 6.082.800, 00 Bs. 880.184,9	Gobierno Autónomo Municipal De La Paz

			9 \$us.	
Cochabamba - Valverde	Consultoría	Construcción planta de tratamiento de aguas residuales descentralizada Zona Valverde distrito 9 (consultoría por producto)	07-11-2017 1.500.000,00 Bs. 217.050,94 \$us.	Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado – SEMAPA.
Cochabamba – Zona norte de Cliza	Obras	Const. de la planta de tratamiento de aguas residuales para la Zona Norte de Cliza	14-08-2017 3.742.458,00 Bs. 541.536,03 \$us.	Gobierno Autónomo Municipal De Cliza
Cochabamba – Catachilla alta	Consultoría	Const. sistema de saneamiento básico distrito rural Chiñata (consultoría proyecto: diseño planta de tratamiento de aguas residuales Catachilla Alta)	04-08-2017 70.000,00 Bs. 10.129,04 \$us.	Empresa Municipal De Agua Potable Y Alcantarillado Sacaba
Cochabamba – coapat	Obras	Alcantarillado sanitario basico Tiquipaya (mejoramiento y optimización planta de tratamiento de aguas residuales COAPAT).	24-07-2017 274.966,00 Bs. 39.787,75 \$us.	Gobierno Autonomo Municipal De Tiquipaya
La Paz -	Consultoría	Servicio de consultoría	03-07-	Entidad

Viacha	ía	descom-fi construcción planta de tratamiento de aguas residuales y emisarios (P.T.A.R.) Viacha	2017 1.199.144,00 Bs. 173.516,89 \$us.	Ejecutora De Medio Ambiente Y Agua - EMAGUA
Oruro	Obras	Construcción sistema de alcantarillado sanitario de las zonas periurbanas de la ciudad de Oruro fase iii - (PROASRED), lote 10 - mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales Oruro	19-12-2016 3.533.653,00 Bs. 511.321,81 \$us.	Entidad Ejecutora De Medio Ambiente Y Agua - EMAGUA
Beni - Bella Vista	Consultoría	Estudio de diseño técnico de pre- inversión proyectos: construcción sistema de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales magdalena y construcción sistema de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales Bella Vista – Beni (PROAR - PREINV)	29-11-2016 704.407,00 Bs. 101.928,14 \$us.	Entidad Ejecutora De Medio Ambiente Y Agua - EMAGUA
Cochabamba	Consultoría	Estudio a diseño final tesa construcción planta	03-09-2016	Gobierno Autónomo

Vinto		de tratamiento de aguas residuales Municipio de Vinto	90.000,00 Bs. 13.023,06 \$us.	Municipal De Vinto
Santa Cruz – Santa Cruz de la sierra	Obras	Construcción planta de tratamiento de aguas residuales plan tres mil, Santa Cruz de la Sierra	09-08-2016 46.015.01 5,00 Bs. 6.658.401, 61 \$us. 6	Unidad Coordinadora Del Programa De Agua Y Alcantarillado Periurbano - MMAYA-UCPPAAP
Beni - Rurrenabaque	No especificado	Const. sist. agua potable y alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales - Rurrenabaque-d1-d3 (estudio de pre inversión)	05-04-2016 400.000,0 0 Bs. 57.880,25 \$us.	Gobierno Autonomo Municipal De Puerto Rurrenabaque
Rio grande	No especificado	Servicio de mantenimiento y operacion de la planta de tratamiento de aguas residuales para la planta de separacion de liquidos Rio Grande	29-12-2015	Yacimientos Petroliferos Fiscales Bolivianos - YPFB
La Paz – Puerto de	No especificado	Construcción del sistema de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento	06-12-2013 6.609.331,	Entidad Ejecutora De Medio Ambiente

Guaqui		de aguas residuales del Pueblo y Puerto de Guaqui	00 Bs. 956.374,3 5 \$us.	Y Agua - EMAGUA
La Paz - Copacabana	Consultoría	Construcción sistema de alcantarillado y Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Copacabana.	08-10-2018 2,815,512. 00 Bs.	Unidad Coordinadora Del Programa De Agua Y Alcantarillado Periurbano - MMAYA-UCPPAAP
La Paz - Mecapaca	Obras	Construcción de una planta de Tratamiento de aguas Residuales para la Ciudad de La Paz en el Municipio de Mecapaca	7'000,000. 00 Bs	Unidad Coordinadora Del Programa De Agua Y Alcantarillado Periurbano - MMAYA-UCPPAAP

Fuente: www.sicoes.gob.bo/contrataciones

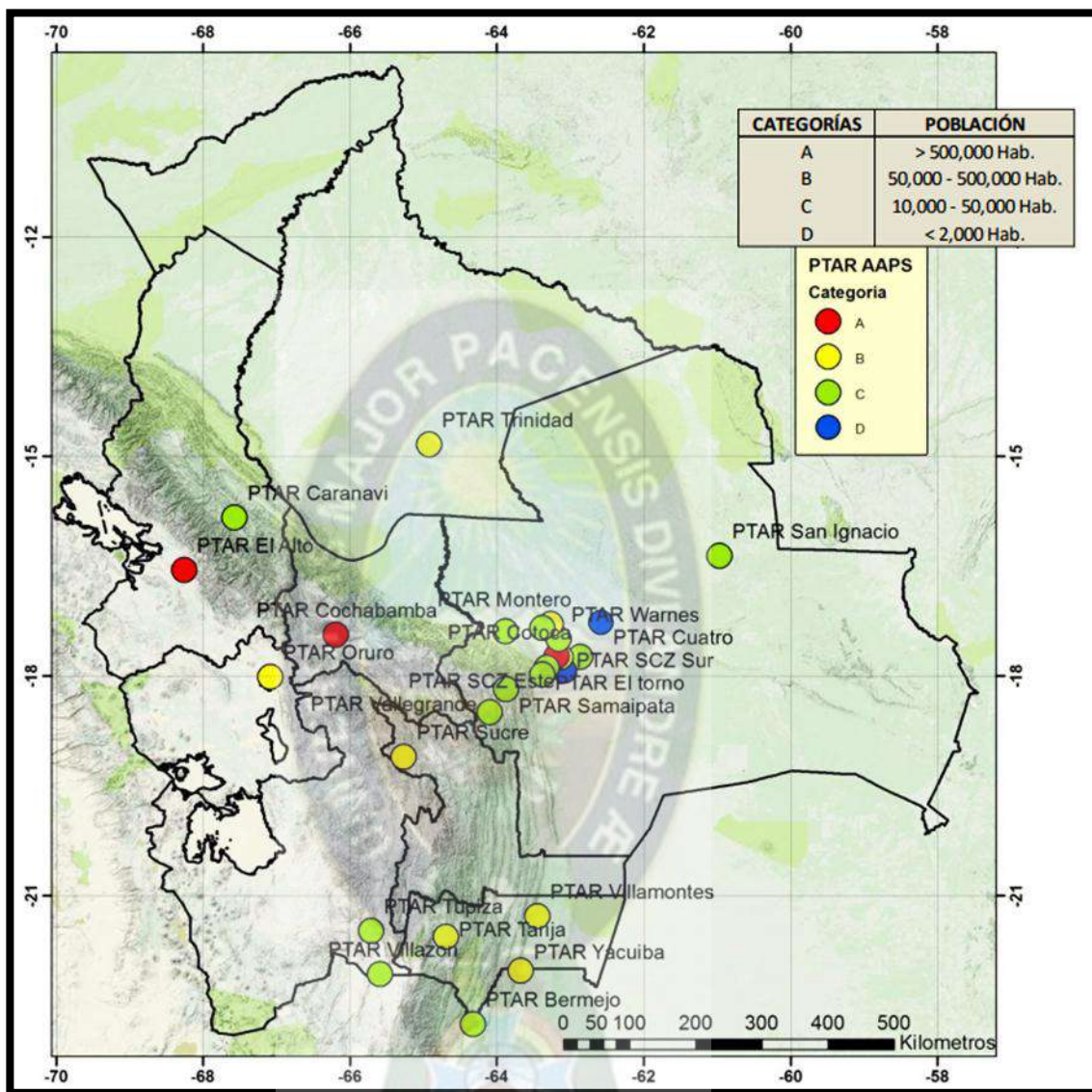


Ilustración 24 Mapa de ubicación de las PTAR en Bolivia y categorización de las EPSA.

Fuente: AAPS, 2017 con datos de los indicadores de desempeño AAPS 2015

Cuadro 18 Volúmenes de agua residual reportadas por la EPSA periodo 2005.

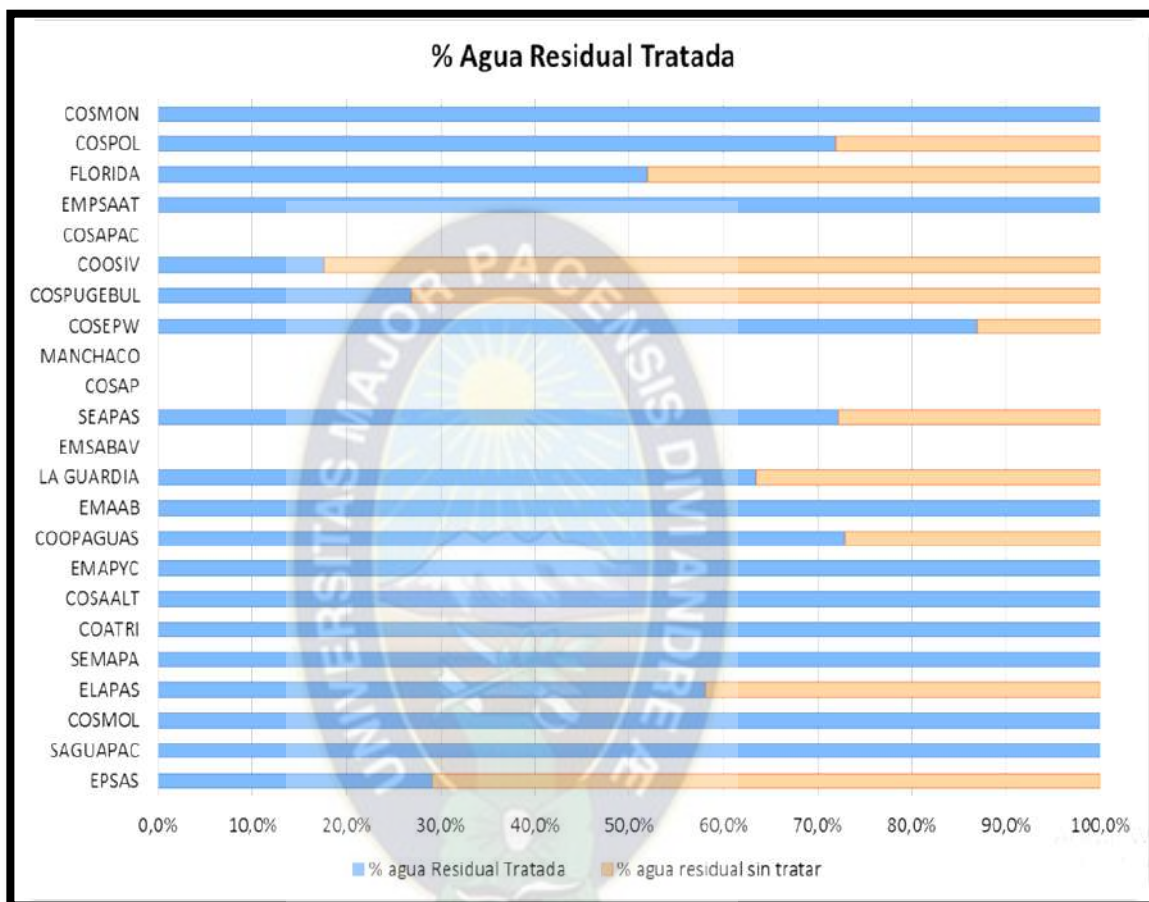
N°	EPSA	Cat.	Departamento	Ciudad	Volumen de agua residual generada	Volumen tratado de agua residual	Capacidad instalada de la PTAR	* Caudal Tratado
					m ³ /periodo	m ³ /periodo	m ³ /hrs	m ³ /hrs
1	EPSAS	A	LA PAZ	LA PAZ	43.709.614,4	12.695.664,0	1.951,0	-
2	SAGUAPAC	A	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ	47.025.472,8	55.257.092,0	6.178,0	5.993,0
3	COSMOL	B	SANTA CRUZ	MONTERO	3.940.783,2	4.891.952,8	500,0	-
4	ELAPAS	B	CHUQUISACA	SUCRE	6.889.354,4	3.997.494,2	1.458,0	1.216,8
5	SEMAPA	A	COCHABAMBA	COCHABAMBA	13.634.832,0	13.871.914,3	1.440,0	2.192,0
6	COATRI	B	BENI	TRINIDAD	1.601.840,8	3.300.595,2	400,0	318,6
7	COSAALT	B	TARIJA	TARIJA	7.153.708,8	8.483.184,0	756,0	965,0
8	EMAPYC	B	TARIJA	YACUIBA	1.865.849,6	2.089.288,8	720,0	117,7
9	COOPAGUAS	B	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ	5.291.676,8	3.856.896,0	1.234,8	694,0
10	EMAAB	C	TARIJA	BERMEJO	1.670.922,4	1.673.160,0	245,0	-
11	LA GUARDIA	C	SANTA CRUZ	LA GUARDIA	540.764,8	343.180,8	72,0	-
12	EMSABAV	C	POTOSI	VILLAZÓN	NR	123.768,0	187,3	-
13	SEAPAS	C	SANTA CRUZ	EL TORNO	643.901,6	464.866,0	98,5	-
14	COSAP	C	SANTA CRUZ	COTOCA	718.575,2	NR	NR	-
15	MANCHACO	B	TARIJA	VILLAMONTES	2.678.303,2	NR	NR	90,0
16	COSEPW	C	SANTA CRUZ	WARNES	707.517,9	614.952,0	79,2	53,6
17	COSPUGEBUL	C	SANTA CRUZ	YAPACANÍ	747.412,0	200.664,0	40,0	-
18	COOSIV	C	SANTA CRUZ	SAN IGNACIO DE VELASCO	853.032,0	150.240,0	90,0	-
19	COSAPAC	C	LA PAZ	CARANAVI	NR	NR	288,0	20,0
20	EMPSAAT	C	POTOSI	TUPIZA	739.380,8	2.617.488,0	126,0	-
21	FLORIDA	C	SANTA CRUZ	SAMAIPATA	229.501,6	119.160,0	17,3	7,0
22	COSPOL	C	SANTA CRUZ	PORTACHUELO	559.151,2	401.821,2	59,0	35,8
23	COSMON	C	SANTA CRUZ	VALLEGRANDE	405.134,4	461.126,4	60,6	-

Fuente: AAPS, 2017 con datos de los indicadores de desempeño AAPS 2015

* AAPS, 2017 con datos de la consultoría “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS DE SEGUIMIENTO, MONITOREO Y CONTROL DE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS PTAR EN BOLIVIA”, (A. Macchiavelli, GIZ-AAPS 2015).

Fuente: “Indicadores de desempeño 2015 AAPS”

Cuadro 19 RELACIÓN DE PORCENTAJES DE AGUA RESIDUAL TRATADA Y SIN.



Fuente: AAPS, 2017 con datos de los indicadores de desempeño AAPS 2015

En cuanto al cumplimiento de calidad de efluentes tratados reportados, se tiene la siguiente tabla en la que se indica el porcentaje de cumplimiento en cuanto a calidad de agua residual vertida por las PTAR de cada EPSA.

Cuadro 20 CONTROL DE CALIDAD DE EFLUENTES REPORTADOS POR LAS EPSA.

Nº	EPSA	Ciudad	Número de análisis satisfactorios de agua residual tratada	Número de análisis ejecutados de agua residual tratada	% De conformidad
			análisis	análisis	%
1	EPSAS	LA PAZ	355	532	66,73%
2	SAGUAPAC	SANTA CRUZ	1.073	1.211	88,60%
3	COSMOL	MONTERO	0	0	NSD
4	ELAPAS	SUCRE	263	312	84,29%
5	SEMAPA	COCHABAMBA	484	671	72,13%
6	COATRI	TRINIDAD	8	12	66,67%
7	COSAALT	TARIJA	136	270	50,37%
8	EMAPYC	YACUIBA	96	194	49,48%
9	COOPAGUAS	SANTA CRUZ	49	72	68,06%
10	EMAAB	BERMEJO	NR	NR	NSD
11	LA GUARDIA	LA GUARDIA	12	19	63,16%
12	EMSABAV	VILLAZÓN	12	13	92,31%
13	SEAPAS	EL TORNO	11	14	78,57%
14	COSAP	COTOCA	4	5	80,00%
15	MANCHACO	VILLAMONTES	NR	NR	NSD
16	COSEPW	WARNES	NR	NR	NSD
17	COSPUGEBUL	YAPACANÍ	8	8	100,00%
18	COOSIV	SAN IGNACIO DE VELASCO	6	6	100,00%
19	COSAPAC	CARANAVI	NR	NR	NSD
20	EMPSAAT	TUPIZA	NR	NR	NSD
21	FLORIDA	SAMAIPATA	0	0	NSD
22	COSPOL	PORTACHUELO	4	6	66,67%
23	COSMON	VALLEGRANDE	79	84	94,05%

NR: No reporta
 NSD: No se determino
 Fuente: AAPS, 2017 con datos de los indicadores de desempeño AAPS 2015

Con datos obtenidos por el estudio de consultoría “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS DE SEGUIMIENTO, MONITOREO Y CONTROL DE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS PTAR EN BOLIVIA (A. Macchiavelli, GIZ-AAPS 2015)”, se ha realizado una comparación de los datos de calidad de aguas

residuales del efluente de las PTAR, con los límites permisibles establecidos en la ley 1333 del RMCH, y se han desarrollado reportes de cumplimiento/no cumplimiento, mismos que son remitidos a la autoridad ambiental competente para su atención en el marco de las responsabilidades de la AAPS. Los datos se presentan en el siguiente cuadro:

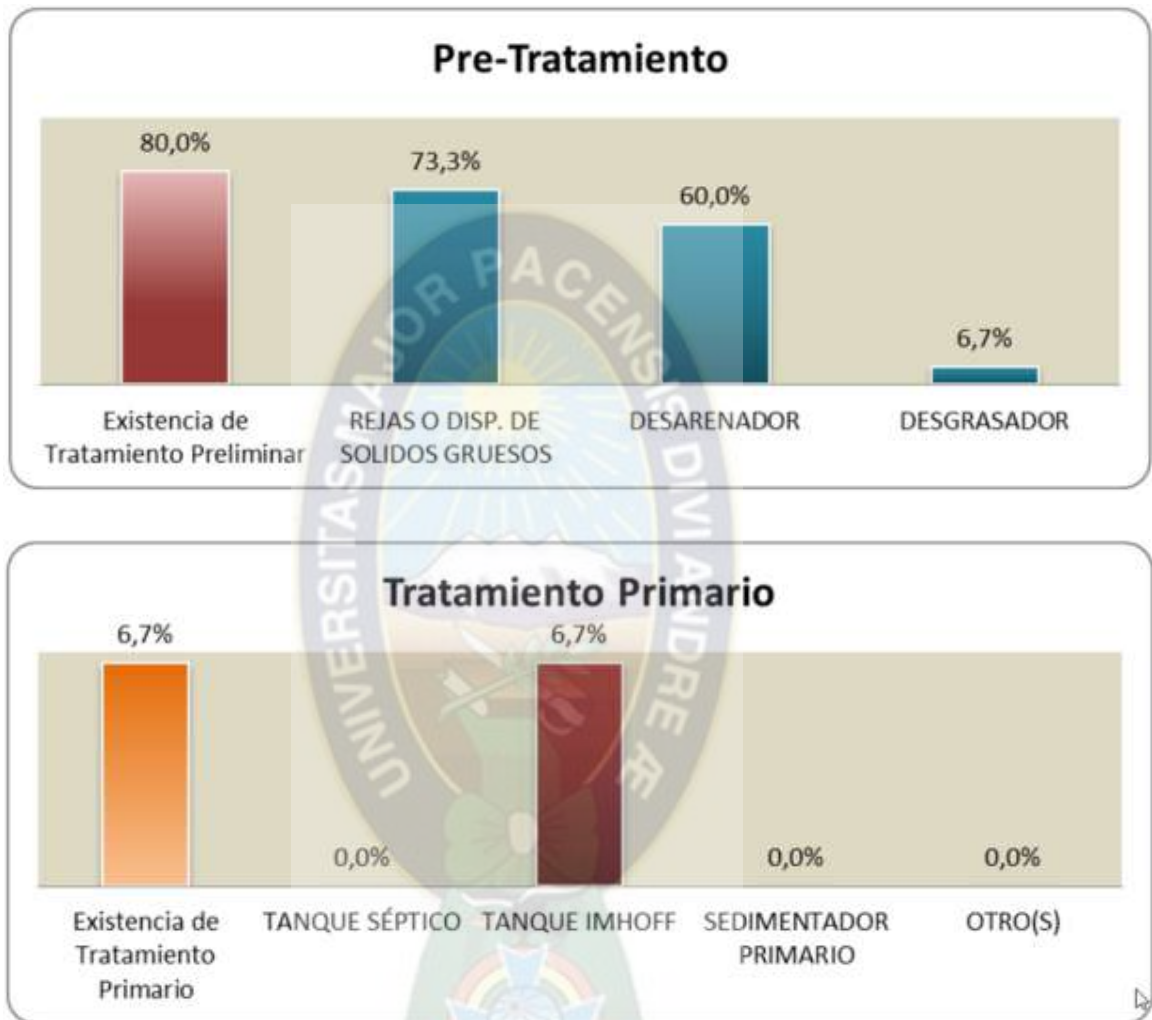
Cuadro 21 PARAMETROS DE CONTROL.

NOMBRE PTAR	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	PARAMETROS DE CONTROL											
			pH	Temperatura	Conductividad	Oxígeno Disuelto OD	DBO ₅	DQO	Sólidos Suspendidos	Nitrogeno Amoniacal NH ₃	Nitritos NO ₂ ⁻	Nitratos NO ₃ ⁻	Fosfatos PO ₄ ³⁻	Coliformes Termotolerantes
			PC	°C	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	NMP/100 ml
			LIMITES PERMISIBLES PARA DESCARGAS LIQUIDAS (RMCH LEY 1333)											
			6 a 9	±5		80	250	60	4	1	50	1	1000	
CALIDAD DE EFLUENTE														
PEDRO PABLO DE URQUIJO	BENI	TRINIDAD	7,3	27,4	1690	14,5	346	526						
CAMPANARIO	CHUQUISACA	SUCRE	7,4	18,5	1551	5	32	337	62	1,9	2,16	18,4	17,4	9,30E+05
ALBA RANCHO	COCHABAMBA	COCHABAMBA	6,7	16,9	1439	4,9		198	203	2,5	0,02	11,1	37,7	1,00E+03
SELA	ORURO	ORURO	8,2	10,1	3430	11,2	226	748	154	1,2	1,5	4,6	28,9	2,20E+03
SAN LUIS	TARIJA	TARIJA	7	16,4	1355	0,5	64,4	241	91	1,32	0,02	10,3	35,9	1,50E+07
MANCHACO	TARIJA	VILLAMONTES	7,6	18,4	1374	6,1		168	87	1,35	0,02	4	20,7	3,60E+03
FRAY QUEBRACHO	TARIJA	YACUIBA	6,9	20,6	1288	0,1		357	161	1,25	0	3,6	60	
ESTE	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ DE LA SIERRA	7,5	25	1933	5,4	76,1	275	162	2	0,02	3	31,5	2,40E+04
NORTE	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ DE LA SIERRA	7,5	25,1	1191	6,8	35,2	157	18	3,18	0,03	0,8	5,6	1,50E+03
SATELITE NORTE	SANTA CRUZ	WARNES	7,3	26,5	975	8,6	35,2	129	77	4,86	0,05	6,3	17,3	1,10E+05
SUR	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ DE LA SIERRA	7,4	22,6	683	9	32,4	116	24	0,18	0,04	7,4	6,1	
COSEPW	SANTA CRUZ	WARNES	7,1	24,2	1334	5,3	45,1	223	132	4,64	0,02	0	27	4,60E+04
COSAP	SANTA CRUZ	COTOCA	7,5	19,4	807	11,6	4,2	137	104	5	0,32	1,7	14,9	9,10E+02
COOSAPAC	SANTA CRUZ	CUATRO CAÑADAS	7,2	21,8	987	10,3	33,9	177	61	1,52	0,02	9	14,6	2,10E+04
COSPOL	SANTA CRUZ	PORTACHUELO	6,9	23,3	998	5,6	11,3	241	47	5,3	0,03	2,4	13,2	7,50E+03

Fuente: AAPS, 2017 con datos de la consultoría "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS DE SEGUIMIENTO, MONITOREO Y CONTROL DE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS PTAR EN BOLIVIA" (A. Macchilavelli, GIZ-AAPS 2015)

Así mismo, de acuerdo al estudio de consultoría mencionado, se presentan las siguientes figuras que muestran los porcentajes de infraestructura con la que actualmente se cuenta. La información fue elaborada en base a los datos de quince plantas de tratamiento diagnosticadas el año 2015.

Cuadro 22 COMPONENTES DE INFRAESTRUCTURA EN 15 PTAR DIAGNOSTICADAS.





Fuente: AAPS, 2017 con datos de la consultoría.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE PUCHUKOLLO

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Puchukollo (PTAR Puchukollo) forma parte del sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de El Alto, se encuentra a 3925 msnm y está ubicada al Oeste de la ciudad de El Alto, entre las localidades de Puchukollo Bajo, Huanokollo y Kiluyo.

La PTAR Puchukollo tiene 127 hectáreas, fueron utilizadas 48 hectáreas para la construcción de dos series de lagunas y fueron utilizadas 2 hectáreas para la ampliación de la PTAR para ello se construyeron 3 filtros percoladores y cárcamos de bombeo.

Con la Ampliación de la PTAR Puchukollo (Etapa I-A), la capacidad de tratamiento ascendió de 430 L/s a 542 L/s.



Ilustración 25 Planta de tratamiento de Puchukollo.





Ilustración 26 Ambientes del Laboratorio de Puchukollo.



Ilustración 27 Punto de Muestreo - Afluente General (Canal Parshall).

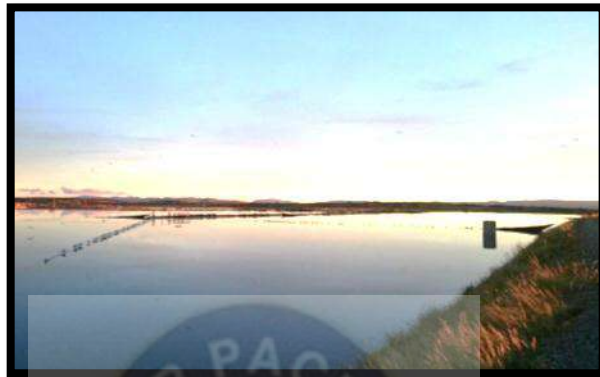


Ilustración 28 Lagunas de estabilización (PTAR - Puchukollo).



Ilustración 29 Coloración del Agua Residual que llega al PTAR (muestra compuesta).

A.1. PLANTA DE TRATAMIENTO FAMILIAR

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. La prioridad ha sido tratar las aguas residuales en plantas de tratamiento que hagan parte del proceso de remoción de los contaminantes y dejar que la naturaleza lo complete en el cuerpo receptor. Para ello, el nivel de tratamiento requerido es función de la capacidad de auto purificación natural. La teoría que

sustenta esta modalidad de descontaminación de aguas se basa en la de los humedales.



Ilustración 30 Humedal de Planta de Totoras.

A.2. Planta de tratamiento POR FUNHABIT – PUJILÍ

La planta de tratamiento con totoras construida en el centro de Tecnologías Funhabit ubicada en el Barrio Sinchaguasín, de la ciudad de Pujilí, fue construida en el año 2011, como una solución sanitaria, para descontaminar residuos sólidos humanos, aguas de cocina y jabonosas.

El objetivo fundamental, está en descontaminar el agua servida, de tal forma que se vuelva a reutilizar, ya sea como agua de riego, agua para jardinería o como agua descontaminada para descarga final a un estero o río como disposición final.

La construcción es económicamente asequible y prácticamente automática en su funcionamiento.

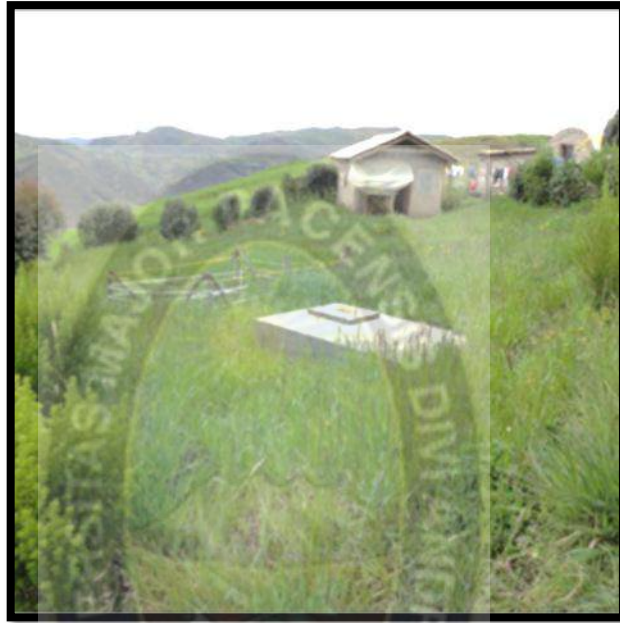


Ilustración 31 Planta de Totora.

A.2.1. Funcionamiento

En una planta de tratamiento de agua, la purificación se desarrolla en una capa de suelo de aproximadamente 1m de espesor, saturada con agua servida y con abundante raigambre. Esta se produce por una asociación de plantas adecuadas generalmente totoras.

El movimiento de agua servida es horizontal dada por la estructura radicular de la totora. Los elementos de las aguas servidas son descompuestos en la estructura sólida del suelo y ligados, soltados a la atmósfera o absorbidos por las plantas a través de la identificación.

A.2.2. Condiciones

Un sistema natural de depuración de efluentes debe cumplir las siguientes condiciones sustanciales:

- **Protección ambiental:** El sistema de depuración debe prevenir la contaminación y proveer agua con calidad de riego.
- **Autoconstrucción y fácil mantenimiento:** Debe ser de fácil construcción y mantenimiento considerando los límites de la capacidad técnica local y la escasez de recursos económicos
- **Aceptable:** Se debe integrar estéticamente al entorno, respetando los valores culturales y sociales.



Ilustración 32 Construcción de Planta de Tratamiento.



Ilustración 33 Caja de Revisión.





Ilustración 34 Relleno de la Planta.

A.2.3. Plantas emergentes en la depuración

Planta Totorá.- los principales mecanismos por parte de los Sistemas Naturales basados en plantas emergentes se pueden sintetizar en:

- **Eliminación de sólidos en suspensión** por retención física en el sustrato, en los rizomas y en las raíces.
- **Eliminación de materia orgánica retenida en el sustrato**, por acción de la microflora acompañante y por adsorción de las partículas de arcilla del sustrato.
- **Eliminación de fósforo** por absorción directa, por adsorción por las partículas de arcilla y por precipitación de fosfatos insolubles.
- **Eliminación de microorganismos patógenos** debida a la acción de antibióticos producidos por las raíces de las plantas, a la transferencia de oxígeno hacia la zona de las raíces y a otras modificaciones del micro-hábitat radicular.

A.2.4. Aspectos importantes a tomar en cuenta

Las plantas requieren de un tratamiento cuidadoso y especial.

- Durante unos meses no se puede usar las plantas en toda su capacidad.
- Hay que mezclar agua pura con las de desagüe o descarga durante unos meses.
- Se debe regar agua en caso de sequía.

Fuente: Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad. Año 3, núm. 5, septiembre 2013-febrero 2014. ISSN: 2007-3607