

Parte 2

***Tratamiento y Reuso de
AGUAS RESIDUALES***





INTRODUCCIÓN

Existen varios aspectos que deben ser considerados dentro del enfoque de ecoeficiencia por parte de un gobierno Municipal. En el campo del tratamiento de las aguas residuales se plantean un conjunto de programas y planes de implementación, cuyo objetivo, enfocado en la ecoeficiencia, recae en la introducción y aplicación de buenas prácticas, aplicación de la reingeniería de procesos y el análisis del ciclo de vida del agua.

La implementación de la ecoeficiencia se inicia con la mejora de los procesos, aplicando medidas de eficiencia energética, ahorro de agua, buena disposición de residuos sólidos y tóxicos, evitando arrojarlos al alcantarillado.

Por otro lado, el análisis del ciclo de vida aplicado al caso del agua implica ver su origen, su uso como medio de transporte de material contaminante, su tratamiento y su reuso. En ese contexto resulta vital impulsar la recirculación del agua, dentro de procesos productivos.

Es importante incluir como parte de los objetivos de la gestión Municipal o Regional, un Plan de “reuso de las aguas residuales tratadas”, tal que permita el aprovechamiento integral de los recursos hídricos dentro del ciclo de vida del agua. Allí donde los recursos hídricos son particularmente escasos, el reuso de las aguas residuales coincide con dos objetivos fundamentales: protección a la salud y la gestión ambiental de los recursos hídricos.

La ecoeficiencia aplicada al tratamiento de aguas residuales no discrimina las tecnologías existentes o empleadas, sino propicia mejorar la articulación de los componentes, para crear operaciones y procesos que, en conjunto, sean más económicos, tengan mejor eficiencia y sean ambientalmente amigables al ser empleados en la depuración de las aguas residuales.

*en la gestión de
aguas residuales municipales*

Los principios de Ecoeficiencia Municipal en la Gestión de Aguas Residuales Municipales se enfocan en los siguientes aspectos básicos:

2.1.1. ESTRATEGIAS DE ECOEFICIENCIA EN LA GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Es vital incluir la cultura del ahorro del agua potable para reducir la cantidad de aguas residuales que se generan en las ciudades y por ende reducir el tamaño y complejidad de las instalaciones necesarias para su tratamiento. La optimización del consumo del agua potable de parte de la población, implica el uso racional del recurso y es la primera estrategia dentro de una visión de ecoeficiencia Municipal. Es por tanto importante desarrollar e impulsar la implementación de un plan de manejo racional del agua.

Diffícilmente un plan de gestión ecoeficiente de aguas residuales puede tener éxito si la gestión sobre el uso racional del agua potable no es parte del enfoque de ecoeficiencia.

El enfoque del Municipio Ecoeficiente tiene su mejor cimiento en la existencia de viviendas ecoeficientes, vale decir, viviendas concebidas y desarrolladas bajo los conceptos de sostenibilidad que articula la estrategia global del Municipio al interior de sus propias instalaciones, con una serie de mejoras que suponen un menor impacto ambiental y un menor consumo de recursos. Si los ciudadanos pueden reducir el consumo de agua en sus hogares, notarán una reducción en la facturación por dicho concepto y a la vez estarán cooperando con la gestión adecuada de los recursos hídricos.

Son estrategias básicas del desarrollo del sistema de ecoeficiencia, aplicado a la gestión de las aguas residuales, las citadas a continuación:

- Promover el uso de tecnología que reduzca el consumo de agua.
- Incorporar el concepto de uso de agua residual doméstica tratada en las políticas de la entidad de

agua y saneamiento, y promover la participación de otros agentes económicos y sociales.

- Utilizar la tecnología que sea necesaria para remover organismos patógenos humanos y otros contaminantes del agua residual doméstica, para alcanzar la calidad sanitaria requerida para su nuevo uso de ser el caso.
- Elaborar propuestas con criterio de costo-eficiencia para el tratamiento del agua residual doméstica, acorde con las reales posibilidades de pago de la comunidad, a fin de asegurar la sostenibilidad del servicio. En tal sentido optar por sistemas que no consuman energía eléctrica en tanto sea posible.
- Sensibilizar a la comunidad respecto a la necesidad de asumir el costo del tratamiento del agua residual doméstica que se genera.
- Incluir el costo del tratamiento del agua residual doméstica en las tarifas de los servicios públicos.
- Diseñar estrategias para propiciar el incremento de las conexiones domiciliarias a los sistemas de alcantarillado, para optimizar su capacidad.
- Concertar la distribución del costo del tratamiento del agua residual doméstica entre quienes la generan y la aprovechan.
- Desarrollar sistemas integrados de tratamiento y uso productivo de agua residual doméstica, para optimizar los beneficios, así como reducir y distribuir mejor los costos.
- Ubicar estos sistemas integrados de tratamiento y uso del agua residual doméstica en áreas con capacidad productiva, para que generen beneficios económicos, sociales y ambientales.



- Promover el máximo aprovechamiento del agua residual doméstica tratada, para reducir al mínimo su descarga al ambiente.
- Realizar un manejo sanitario apropiado de los lodos y otros residuos generados por el tratamiento del agua residual doméstica.

En nuestro país se cuenta con algunos ejemplos de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, cuyo efluente es reutilizada para regar áreas verdes de centros recreacionales, parques y jardines públicos, cementerios y colegios, cuyos propietarios se han visto favorecidos al superar largamente las expectativas previstas. Sin embargo, se debe mencionar que existen casos en los que las aguas residuales son mal tratadas, o simplemente no son tratadas, y que se han venido usando para riego de tierras agrícolas en cultivos de pan llevar los cuales atentan contra la salud pública.

Este manual nos muestra un conjunto de alternativas de tratamiento, principalmente secundario, de aguas residuales domésticas. Se señala que, a partir del efluente tratado, es posible su reutilización, tanto técnica, como ambientalmente, siempre y cuando los sistemas sean operados y mantenidos adecuadamente. Asimismo, debemos tener en cuenta que las alternativas tecnológicas que mostramos son las más usadas y no las únicas, y que toda tecnología empleada es buena, en tanto se la adapte adecuadamente a circunstancias y objetivos de reutilización específicos. Además, quizá algunas sean más recomendables en relación con los costos de producción o de operatividad, y otras sean más adecuadas en ahorro de energía, espacio, facilidad de operación, estabilidad o confiabilidad. Es por ello que este manual está pensado para ser un documento orientador y no un recetario rígido, donde se describe y muestra una serie de propuestas tecnológicas usadas para tratar las aguas residuales, así como ejemplos de reutilización de las mismas para fines diversos, que los Municipios Ecoeficientes deberán considerar en su gestión.



2.2

IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO

y reuso de aguas residuales

Las aguas residuales producidas en el ámbito municipal requieren el tratamiento apropiado, previo a su reuso o disposición final, con la finalidad de proteger el ambiente y la salud de la población. En la perspectiva de los Municipios Ecoeficientes, se trata de plantear la mejor combinación de opciones tecnológicas, que permitan el tratamiento de las aguas contaminadas, minimizando el uso de recursos disponibles, con el mayor beneficio ambiental y al menor costo económico.

En la selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, la ecoeficiencia busca integrar unidades que en conjunto permitan alcanzar los objetivos del tratamiento, pero basado en los siguientes criterios:

- Menor área de terreno empleado.
- Reducir el empleo de energía eléctrica.
- Reducir el uso de químicos u otros insumos que impliquen consumo de recursos y por lo tanto mayor costo.
- Reducir la generación de lodos resultantes del proceso de tratamiento.
- Promover la generación de biogás como subproducto del tratamiento.
- Reuso de las aguas residuales tratadas.



Figura N° 2.1: Vista panorámica de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas, implementado en el distrito de San Borja - Lima.

El resultado de un sistema ecoeficiente de tratamiento de desagües es finalmente aquel que priorice los máximos beneficios que se pueda obtener con dicho sistema.

La generación de biogás en sistemas de tratamiento con procesos biológicos anaerobios ha sido ya empleada en varias zonas con climas cálidos y puede ser promovido como una tecnología de enfoque ecoeficiente.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son un conjunto integrado de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, que se utilizan con la finalidad de depurar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final, o su aprovechamiento mediante el reuso.

2.3.1. NIVELES DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

La complejidad del sistema de tratamiento está en función de los objetivos que se establezca para el efluente resultante de dicho tratamiento. Teniendo en cuenta el gran número de operaciones y procesos disponibles para la depuración de las aguas residuales es común hablar de niveles de tratamiento, los cuales para fines prácticos han sido clasificados como: preliminar o pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado. A continuación se describe las consideraciones que caracteriza cada nivel.

2.3.1.1. Pretratamiento o tratamiento preliminar

Tiene como objetivo la retención de sólidos gruesos y sólidos finos con densidad mayor al agua y arenas, con el fin de facilitar el tratamiento posterior. Son usuales el empleo de canales con rejillas gruesas y finas, desarenadores, y en casos especiales se emplean tamices. Estas unidades, en ocasiones obviadas en el diseño de plantas de tratamiento, son necesarias para evitar problemas por el paso de arena, basura, plásticos, etc., hacia los procesos de tratamiento propiamente dichos.

2.3.1.2. Tratamiento primario

Se considera como unidad de tratamiento primario a todo sistema que permite remover material en suspensión, excepto material coloidal o sustancias disueltas presentes en el agua. Así, la remoción del tratamiento primario permite quitar entre el 60 a 70% de sólidos suspendidos totales y hasta un 30% de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)

orgánica sedimentable presente en el agua residual. Es común en zonas rurales el empleo del tanque séptico como unidad de tratamiento primario con disposición final por infiltración. El tanque Imhoff ha sido empleado en localidades de mediano tamaño como un buen sistema de tratamiento primario. Por ejemplo en la ciudad de Ayacucho se han instalado 6 unidades de tanque Imhoff como parte del sistema de tratamiento. También se emplea tanques de sedimentación primaria, tanques de flotación y lagunas primarias en sistemas de lagunas de estabilización.

Una reciente investigación en Brasil ha encontrado al Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA o también conocido como UASB por sus siglas en inglés) como un sistema que puede ser promovido como unidad primaria de tratamiento. Aunque esto desvirtúa el concepto tradicional del tratamiento UASB, que ha sido considerado de nivel secundario, su inclusión en los procesos de tratamiento como unidad primaria ha tenido resultados positivos, coincidiendo con el enfoque de ecoeficiencia sobre la mejora en la eficiencia de los procesos, por lo que resulta una opción innovadora que será descrita más adelante.

2.3.1.3. Tratamiento secundario

El fundamento del tratamiento secundario es la inclusión de procesos biológicos en los que predominan las reacciones bioquímicas, generadas por microorganismos que logran eficientes resultados en la remoción de entre el 50% y el 95% de la DBO. Los sistemas más empleados son:

- Biofiltros o filtración biológica, filtros percoladores, filtros rotatorios o biodiscos.
- Lodos activados, entre los que se encuentran los convencionales y los de aireación extendida.
- Lagunas de estabilización de los tipos facultativas y aireadas.

2.3.1.4. Tratamiento terciario

La necesidad de implementar un tratamiento terciario depende de la disposición final que se pretenda dar a las aguas residuales tratadas.



El tratamiento de nivel terciario tiene como objetivo lograr fundamentalmente la remoción de nutrientes como nitrógeno y fósforo. Usualmente, la finalidad del tratamiento de nivel terciario es evitar que la descarga del agua residual, tratada previamente, ocasione la eutroficación o crecimiento generalizado de algas en lagos, lagunas o cuerpos de agua de baja circulación, ya que ello desencadena el consumo de oxígeno disuelto con los consecuentes impactos sobre la vida acuática del cuerpo de agua receptor. El uso del efluente de plantas de tratamiento de nivel terciario puede aplicarse al riego de áreas agrícolas, la crianza de peces y otras actividades productivas.

El efluente del tratamiento terciario también puede tener algunos usos especiales, como la recarga de acuíferos, agua para uso industrial, etc. Los procesos más usados son la precipitación química de nutrientes, procesos de filtración, destilación, flotación, ósmosis inversa, entre otros.

2.3.2. OTROS PROCESOS RELACIONADOS CON LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

2.3.2.1. Desinfección

Se emplea para reducir el contenido de bacterias y virus presentes en las aguas residuales tratadas, previo a su disposición final. La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades. Los tres principales métodos de desinfección en aguas residuales son la cloración, la ozonización y la radiación ultravioleta (UV).

El uso de cloro para desinfectar aguas residuales es un método utilizado por muchos municipios. Aunque es una práctica muy común, se debe indicar que la materia orgánica remanente, presente en el agua residual tratada, oxida el cloro reduciendo su acción desinfectante y permite la formación de compuestos químicos organoclorados que pueden causar problemas a la salud pública, con efectos cancerígenos, poniendo en peligro la vida acuática y puede quedarse en el medio ambiente durante períodos prolongados.

Por otro lado, cuando una planta de tratamiento no dispone de unidades de desinfección, difícilmente puede lograr efluentes con menos de 1,000 coliformes fecales/100 ml, parámetro de calidad requerido para el reuso en riego de áreas agrícolas o áreas verdes de contacto primario que pueden ser utilizadas por el público. En vista del interés de balancear los impactos ambientales

de la cloración con la necesidad continua de una desinfección efectiva, muchas empresas de servicio han optado por seguir otros métodos para la desinfección. La ozonización y la radiación UV son dos opciones adicionales de desinfección, que no generan sustancias químicas residuales en el agua tratada.

Los sistemas de tratamiento por ozonización han sido utilizados en las operaciones de tratamiento de agua desde principios del Siglo XX. En la década del 70, ingenieros de Estados Unidos comenzaron a utilizar el ozono como una alternativa de desinfección de aguas residuales. Los sistemas de desinfección por ozono se producen mediante la creación de una descarga eléctrica en corona, similar a los relámpagos y rayos durante las tormentas eléctricas. El ozono se mezcla con agua o aguas residuales para lograr la desinfección deseada.

La desinfección UV funciona en forma diferente a la cloración y la ozonización, en el sentido de que durante el proceso UV, los patógenos no son destruidos y más bien pierden su capacidad de reproducción. En un sistema de desinfección UV, de aguas residuales, la acción natural de este proceso es acelerada mediante la concentración intensa de rayos ultravioleta, por lo que su efectividad va asociada a la menor turbiedad presente en el agua.

2.3.2.2. Tratamiento de residuos sólidos retenidos y lodos producidos

El tratamiento de las aguas residuales genera una serie de residuos, resultantes de las operaciones y procesos. Los residuos sólidos son esencialmente los materiales retenidos en las cámaras de rejillas y desarenadores. Por su parte, en los sedimentadores, tanto primarios como secundarios, se produce lodos con alto contenido de material orgánico e inorgánico que se acumulan en las tolvas de sedimentadores y deben ser retirados periódicamente. La fracción de residuos sólidos retenidos en el pretratamiento puede ser dispuesto en forma apropiada en un relleno sanitario, oficialmente autorizado. Por su parte los lodos generados en los procesos de tratamiento, antes de su disposición final, deben ser acondicionados y tratados. Debido a su alto contenido de materia orgánica putrescible, los lodos suelen ser tratados por deshidratación y de ser posible se hace un tratamiento especial, empleando procesos biológicos de digestión: anaerobia, digestión aerobia, oxidación procesos de compostaje e incineración.



De las opciones, antes descritas, se dispone de un procedimiento que puede ser destacado dentro de un enfoque de ecoeficiencia. El tratamiento de lodos mediante su deshidratación en lechos de secado y su inclusión progresiva en la producción de humus con lombrices, empleadas para dicho fin, permiten obtener productos de gran utilidad en el campo de la agricultura. Se han producido mediante sistemas controlados del manejo de lodos tratados, complementados con otros insumos naturales, materiales que son utilizados como mejoradores de suelos.

Otro proceso muy apropiado para reducir el volumen de lodo y que favorece su manejo en cantidades menores, sobre todo en plantas de tipo aerobio, corresponde a la digestión de lodos mediante el reactor de tratamiento anaerobio. La alta concentración de materia orgánica, presente en el lodo, da condiciones apropiadas para su tratamiento mediante bacterias anaerobias, reduciendo el volumen del lodo y con producción de gas metano como resultado de dicho proceso.

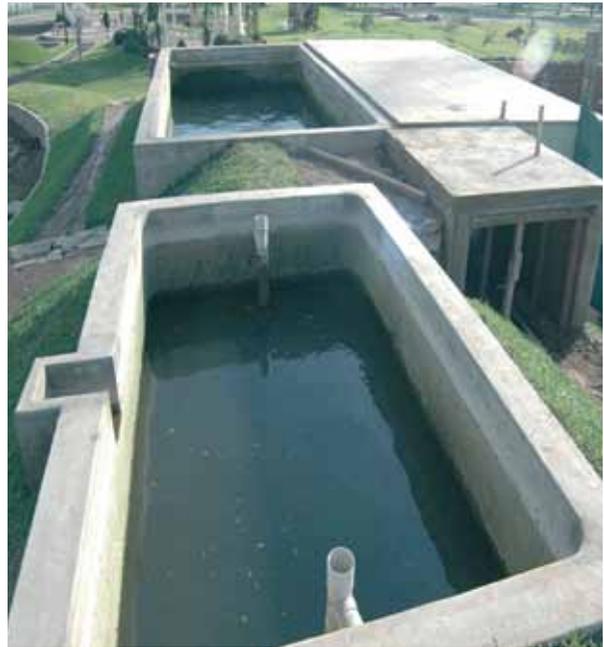


Figura N° 2.2: El tratamiento de las aguas residuales se realiza mediante un conjunto de operaciones y procesos secuenciales, que reducen progresivamente el contenido de sustancias y elementos contaminantes del agua que ingresa a la Planta de tratamiento.



2.4

ALGUNOS CRITERIOS PARA seleccionar sistemas de tratamiento de aguas residuales

Cuando se quiere optar por un sistema de tratamiento de aguas residuales se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Identificar las exigencias de calidad del agua a tratar para su disposición en un cuerpo receptor o con fines de reuso, de manera coherente con la realidad local (actual y proyectada).
- Buscar las mejores posibilidades del reuso de las aguas tratadas, para obtener el mayor beneficio social (salud pública), ambiental (gestión ambiental de los recursos hídricos) y económico.
- Incluir dentro de los costos de inversión, operación y mantenimiento, un presupuesto para la intervención social y los análisis de agua necesarios para la evaluación y monitoreo del sistema de tratamiento.
- Contar con la información básica para elaborar el estudio definitivo y el expediente técnico, cuyo contenido y especificaciones se encuentran regulados en sus aspectos técnicos y de parámetros de calidad del agua.
- Planificar la disponibilidad del área, conseguir la aceptación de la población (la cual debe ser capacitada y sensibilizada), y, por último, lograr el compromiso y organización de la sociedad civil y sus autoridades.
- Conocer la normatividad legal y técnica sobre plantas de tratamiento de aguas residuales. Se deberá considerar también la calidad del efluente, para los fines de aprovechamiento deseado.
- Ser eficiente en la remoción de patógenos y ajustarse a los parámetros convencionales de los procesos más empleados (ver cuadro N° 1).
- Contar con personal responsable del mantenimiento y operación de la planta, debidamente capacitado y sensibilizado.



Figura N° 2.3: Ejemplos de algunas alternativas de tratamiento de aguas residuales:

- A. Filtro percolador.
- B. Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA).
- C. Laguna de estabilización.

Cuadro N° 2.1: Remoción esperada de materia orgánica, sólidos en suspensión y microorganismos patógenos, según el tipo de procesos de tratamiento de aguas residuales.

Procesos de tratamiento	Remoción (%)		Remoción (ciclos log ₁₀)		
	DBO	Sólidos en suspensión	Bacterias	Helmintos	Quistes
Sedimentación primaria	25 - 30	40 - 70	0 - 1	0 - 1	0 - 1
Lodos activados (a)	70 - 95	70 - 95	0 - 2	0 - 1	0 - 1
Filtros percoladores (a)	50 - 90	70 - 90	0 - 2	0 - 1	1 - 2
Lagunas aireadas (b)	80 - 90	(c)	1 - 2	0 - 1	0 - 1
Zanjas de oxidación (d)	70 - 95	80 - 95	1 - 2	0 - 1	
Lagunas de estabilización (e)	70 - 85	(c)	1 - 6	1 - 4	2 - 4
Biofiltros	80 - 95	80 - 95	1 - 2	0 - 2	0 - 1
Desinfección	-	-	1 - 2	1 - 3	0 - 1

(a) Precedidos de tratamiento primario y seguidos de sedimentación secundaria.

(b) Incluye laguna secundaria.

(c) Dependiente del tipo de lagunas.

(d) Seguidas de sedimentación.

(e) Dependiendo del número de lagunas y otros factores como: Temperatura, periodo de retención y forma de las lagunas.

1 ciclo de log₁₀ = 90% remoción;

2 ciclos = 99%;

3 ciclos = 99.9%; etc.

Fuente: Feachem et al., 1983; Mara et al., 1992; Yáñez, 1992; Norma Técnica OS.090.

Es importante recalcar que para el éxito de un proyecto de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, en pequeños municipios o localidades de menos de 2000 habitantes, se debe incluir la participación ciudadana como parte de los procesos de implementación, informando a los pobladores sobre los criterios adoptados en la toma de decisiones, el tipo de tecnología a emplear y la reutilización que se desee dar al agua residual tratada.

Lo anterior incluye brindar capacitación para que comprendan, como beneficiarios de una infraestructura, las bondades y ventajas de tratar adecuadamente las aguas residuales, así como los compromisos que deben adquirir en las etapas de construcción y funcionamiento del sistema de tratamiento.

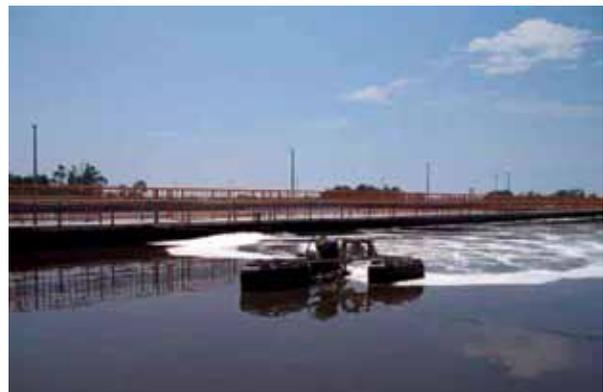


Figura N° 2.4: Vista panorámica de un sistema de tratamiento de aguas residuales por medio de lagunas aireadas.

2.5

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

para el tratamiento de aguas residuales



Figura N° 2.5: Vista de una planta de tratamiento que emplea lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales. El diseño hidráulico de ingreso y salida a las lagunas es importante para mejorar la eficiencia de los procesos de tratamiento en este tipo de unidades.

La escasez de recursos hídricos y la contaminación ambiental, que viene alterando las condiciones del planeta, obliga al desarrollo y adecuación tecnológica en las diferentes actividades humanas y por ende también en el campo del tratamiento de aguas residuales.

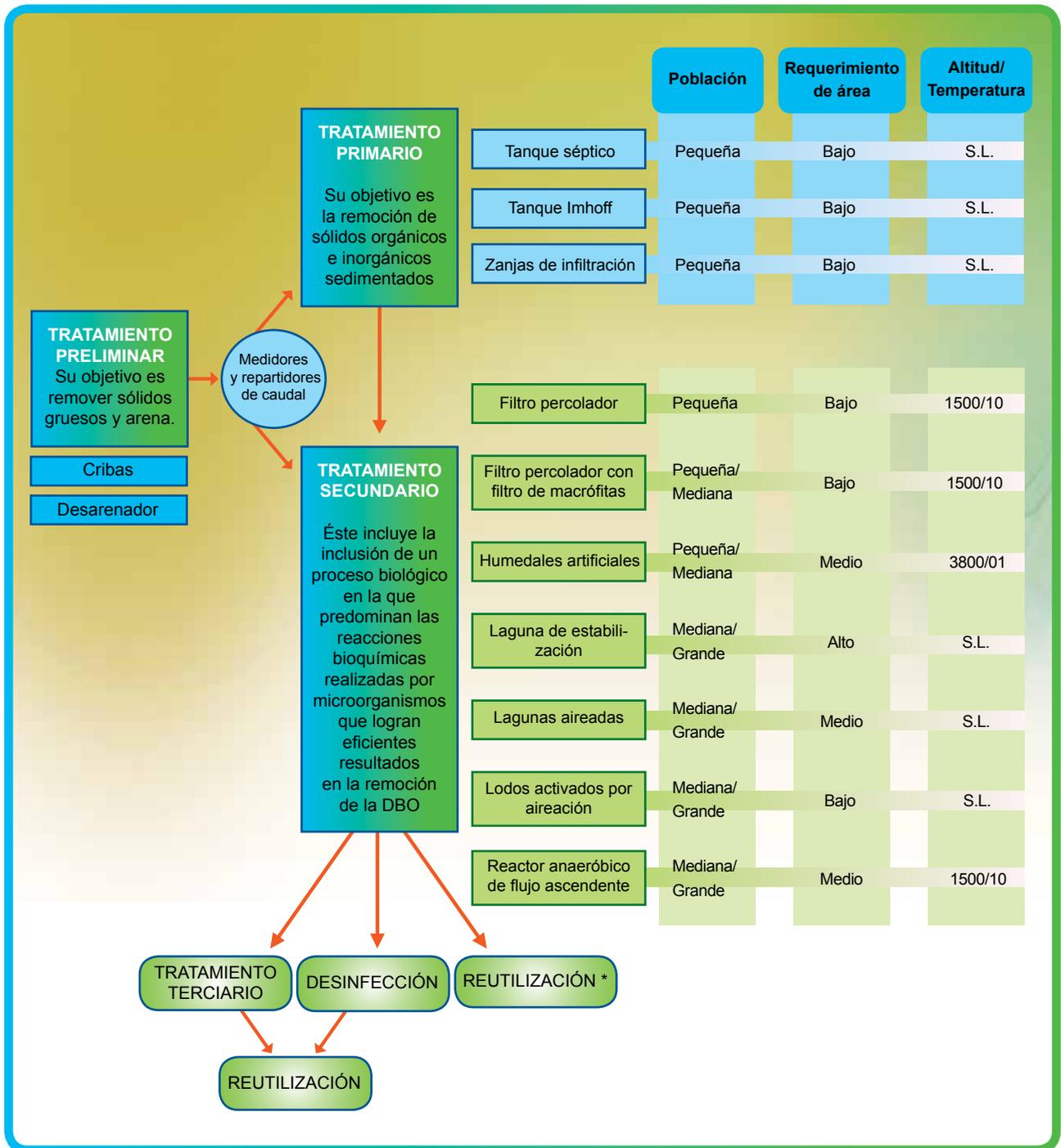
Para la implementación de un sistema de tecnologías descritas a continuación, se requiere necesariamente la asistencia de personal técnico y profesionalmente calificado, de modo que se garantice la buena ejecución de los diseños y las obras. Asimismo se debe contar con personal capacitado en labores de operación, mantenimiento y seguridad de sistemas de tratamiento. Es importante revisar y adoptar la legislación y las normativas vigentes que regulan los alcances y obligaciones sanitarias y ambientales de un sistema de tratamiento de aguas residuales para los fines establecidos en su diseño.

Figura N° 2.6: Vista panorámica de lagunas de estabilización construidas en la Universidad Nacional de Ingeniería.

Las tecnologías mostradas en el diagrama siguiente y descritas a continuación, sobre el tratamiento de aguas residuales, resume las condiciones técnicas de cada una, especificando sus alcances y limitaciones, así como sus ventajas y desventajas.



Cuadro N° 2.2: Flujograma de tecnologías empleadas en el tratamiento de Aguas Residuales.



Nota: Los datos mostrados sobre niveles de población son referenciales, pues hay que considerar entre otros factores el costo beneficio por habitante.

* Considerar la calidad del efluente para definir el tipo de uso.

S.L.: Sin Límite. Se debe tomar en cuenta que a mayor altitud la eficiencia de los sistemas generalmente disminuye e incrementan los costos.

Altitud: Metros sobre el nivel del mar (msnm).

Temperatura: en grados centígrados. (°C)

Interpretación de 1500/10: Sistema de tratamiento comprobado que funciona bien hasta los 1500 msnm o a temperaturas superiores a 10°C. (lo mismo para 3800 / 01). A mayores altitudes no se tiene referencia.

2.5.1. UNIDADES DE PRETRATAMIENTO O TRATAMIENTO PRELIMINAR

Son aquellas instalaciones que permiten el acondicionamiento del agua, previo al tratamiento, cuyo fin es retener sólidos gruesos, plásticos, material flotante, grasas y material rápidamente sedimentable como gravas y arenas presentes en el agua residual municipal. No se consideran como unidades de tratamiento propiamente dicho porque las operaciones que se realizan en dichas unidades reducen escasamente la materia orgánica soluble, retirando básicamente el material fácilmente removible. El retiro de estos sólidos y materiales permite prever posibles obstrucciones y perjuicios de los procesos de tratamiento que se consideren en la Planta de Aguas Residuales.

Es importante que la Planta de Tratamiento incluya como parte del pretratamiento una unidad de medición de caudal. Dicho componente puede ser una canaleta tipo parshall o también pueden usarse vertederos graduados para registros de nivel y cálculo de caudales.

Toda Planta de Tratamiento debe tener como mínimo una cámara de rejas, un desarenador y un sistema de medición de caudal, ya sea de canaleta parshall o vertedero de control.



Figura N° 2.7: Las cámaras de rejas permiten la retención de residuos sólidos y material grueso previo al ingreso a las unidades de tratamiento primario.

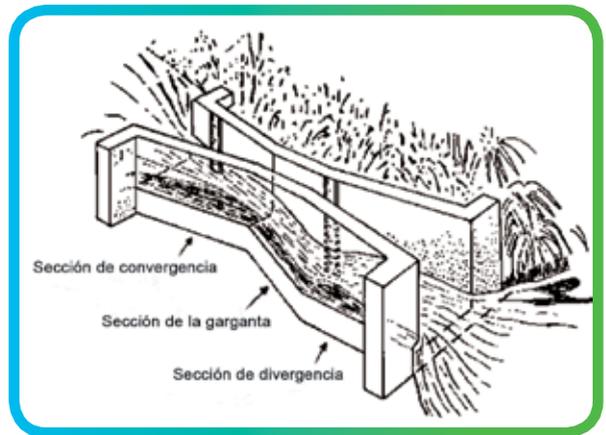


Figura N° 2.8: Una forma de medir el caudal de ingreso a la planta es mediante la canaleta Parshall mostrada en esta figura.

2.5.2. UNIDADES DE TRATAMIENTO PRIMARIO

El tratamiento primario corresponde a aquella unidad previamente empleada antes de un sistema de tratamiento biológico (prioritariamente de tipo aerobio) o secundario, con la finalidad de reducir la carga. Por ello, las operaciones unitarias que se han desarrollado en las unidades de tratamiento primario remueven los sólidos suspendidos, rápidamente sedimentables, sin alcanzar a remover sustancialmente el material coloidal ni las sustancias disueltas existentes en el agua residual. La principal unidad empleada para el tratamiento primario en las Plantas de Tratamiento de Desagües, es el Tanque de Sedimentación Primaria o Sedimentador Primario.

La configuración de esta unidad ha sido adaptada según diferentes necesidades, en tamaño y forma. En la actualidad existen sedimentadores de tipo circular, alternativos a los tradicionalmente empleados, que eran de forma rectangular. Así mismo, en diversos casos se ha empleado los tanques Imhoff y tanques de flotación.

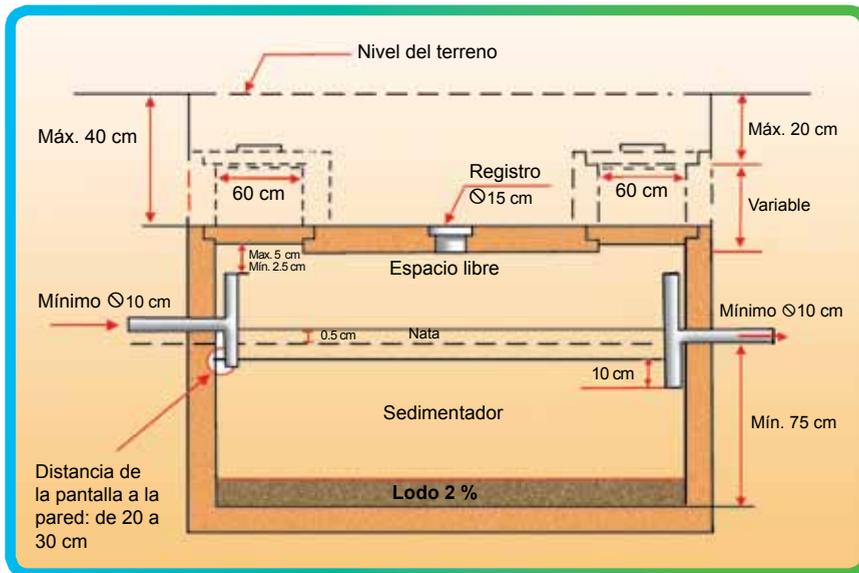
En Brasil se ha experimentado la aplicación de los reactores anaerobios RAFA como unidades de tratamiento primario, precedidos de unidades de pretratamiento. En todos los casos la finalidad de dichos procesos ha sido lograr eficiencias mejores en la remoción de materia orgánica (DBO) en la primera parte del proceso.

2.5.2.1. Tanques sépticos con zanjas de infiltración

En localidades pequeñas de tipo rural o zonas con generación de desagües inferior a los 20m³/día (0.23 lps) suele emplearse el tanque séptico como unidad de tratamiento primario y es usualmente seguido de un sistema de infiltración. El volumen total del tanque dependerá del volumen diario de retención de líquidos, lodos y natas. Esta cámara

séptica tiene, generalmente, forma rectangular y puede estar dividida en dos o más compartimientos para permitir la retención de espumas y objetos flotantes, la sedimentación de sólidos y la digestión progresiva de la materia orgánica sedimentada. Con dichas operaciones unitarias no se logra la remoción significativa de la materia orgánica como DBO. Por tanto, es necesario realizar un tratamiento adicional para remover los contaminantes disueltos presentes en el efluente.

Figura N° 2.9: Dimensiones usuales para el diseño de un Tanque Séptico.



Fuente: OPS/CEPIS/05.164 UNATSABAR

Esta alternativa debe tener en cuenta los siguientes aspectos técnicos:

- El aparato sanitario debe ser ubicado preferentemente en el interior de la vivienda, y, en el caso de que se ubique externamente, la distancia a la vivienda no debe ser mayor de 5 m.
- En caso de tener varias viviendas conectadas a una sola cámara es conveniente contar con una trampa de grasa, para evitar obstrucciones en las tuberías y formación de capas de grasa en el interior del tanque, ya que al formarse una capa impermeable en la superficie del agua, disminuye la capacidad de tratamiento del sistema.
- Como parte del mantenimiento de la cámara, los sólidos acumulados, que constituyen los lodos fecales digeridos, deben ser extraídos por lo menos una vez al año, tiempo que puede variar en función del número de personas, costumbre de consumo, etc.
- Al final del proceso, las aguas clarificadas deben ser tratadas antes de su disposición final.



TANQUES SÉPTICOS	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Apropiado para localidades rurales, edificaciones con servicio de agua propio, condominios, hospitales y entidades sin redes de alcantarillado municipal.	<ul style="list-style-type: none"> De uso limitado para un máximo de 350 habitantes o valor máximo de 20 m³/día de caudal a tratar. Uso limitado para zonas con suelos impermeables, zonas inundables o donde exista napa freática a menos de 3 metros de la superficie del terreno, casos en los que conviene optar por otro método.
Son apropiados cuando el suelo es permeable y no se encuentra en una zona propensa a inundaciones.	<ul style="list-style-type: none"> “Requiere de tratamiento adicional para disminuir los efectos contaminantes del efluente, debido a su baja eficiencia en la remoción de microorganismos patógenos y materia orgánica”. Requiere facilidades para el mantenimiento y retiro de lodo acumulado, lo que demanda la disponibilidad de bombas o unidades tipo hidrojet para el retiro de los lodos acumulados.
Una vez construidos pueden ser integrados a una red de alcantarillado.	
Bajo costo de construcción por su simplicidad. Poca dificultad en su operación y mantenimiento cuando se cuenta con infraestructura para remoción de lodos.	

Debe realizarse campañas de sensibilización para reducir el derroche de agua, empleando grifería ahorradora, para cambiar los hábitos y actitudes de los usuarios, y para reducir los costos de operación y mantenimiento. El personal de mantenimiento y operación del tanque debe tener la capacitación suficiente para brindar un buen servicio. Se debe evaluar la cantidad y la calidad de las aguas residuales a la entrada y salida del tanque séptico, por medio de pruebas de laboratorio, para controlar la eficiencia del sistema y el correcto mantenimiento. No se debe mezclar las aguas residuales con las pluviales, pues el volumen se incrementaría más allá de la capacidad del sistema.

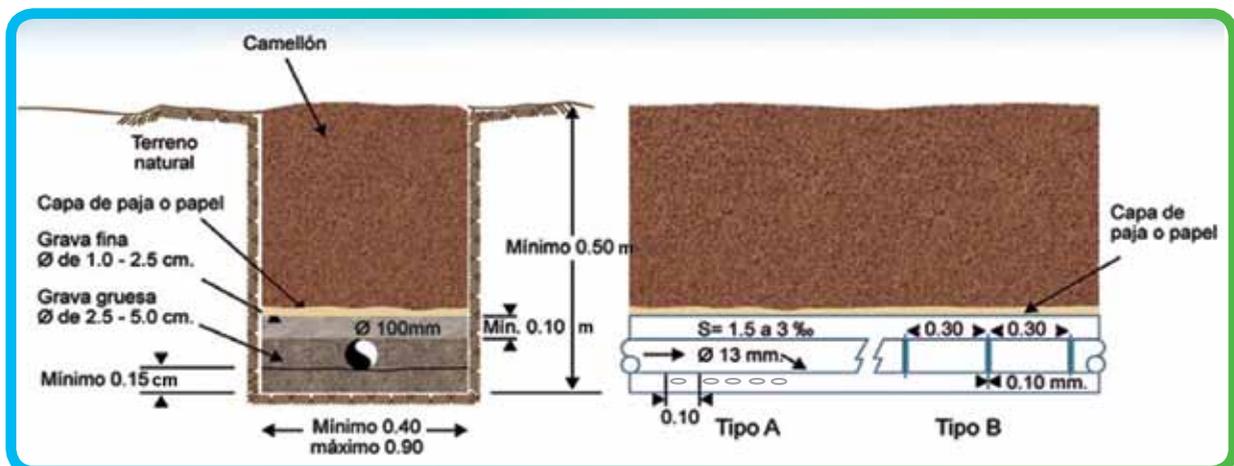
El efluente del tanque séptico puede ser adicionalmente tratado con alguna unidad de tratamiento secundario o en su defecto, bajo ciertas condiciones, puede ser infiltrado en el

terreno, empleando zanjas de infiltración para su disposición final. La instalación de un proceso secundario como biofiltro o humedal podría también ser aplicado para favorecer la recarga del acuífero por infiltración, pero mucho dependerá de la profundidad a la cual se encuentra el agua y de las condiciones de uso del terreno.

Zanjas de infiltración

Las aguas grises y los efluentes provenientes del tratamiento primario en tanques sépticos u otros, requieren necesariamente de un tratamiento final, antes de su disposición al ambiente, ya que su carga orgánica y patógena aún no ha sido totalmente removida. Este proceso puede ser realizado en zanjas de infiltración, las cuales deben ser construidas considerando los detalles mostrados en la figura 2.10 para asegurar su eficiencia.

Figura N° 2.10: Detalle de zanja de infiltración.



Fuente: OPS/CEPIS/05.148 UNATSABAR





Para tener una mejor idea de la alternativa planteada, se muestra la figura 2.11, en la que se aprecia la distribución de las zanjas de infiltración en espacios grandes de terreno.

Figura N° 2.11: Distribución de zanjas de infiltración a 5m. de distancia de la vivienda.



- a. Las distancias mínimas de cualquier punto de la zanja de infiltración a las viviendas, tuberías de agua, pozos de abastecimiento y cursos de aguas superficiales (ríos, arroyos, etc.) serán de 5, 15, 30 y 15 metros, respectivamente.
- b. La distancia mínima entre la zanja y cualquier árbol debe ser mayor de 3 metros.
- c. El fondo de la zanja deberá quedar por lo menos a 2 metros por encima del nivel freático.
- d. Cuando se disponga de dos o más zanjas de infiltración en paralelo, se requerirá instalar una o más cajas de distribución de flujos.
- e. La profundidad de las zanjas deberá estar en función de la topografía del terreno y no deberá ser menor a 0.5 m.

En la figura 2.12 se indica la manera correcta de emplear los dos procesos (tanque séptico y zanja de infiltración), para mejorar la calidad del efluente antes de su disposición final.

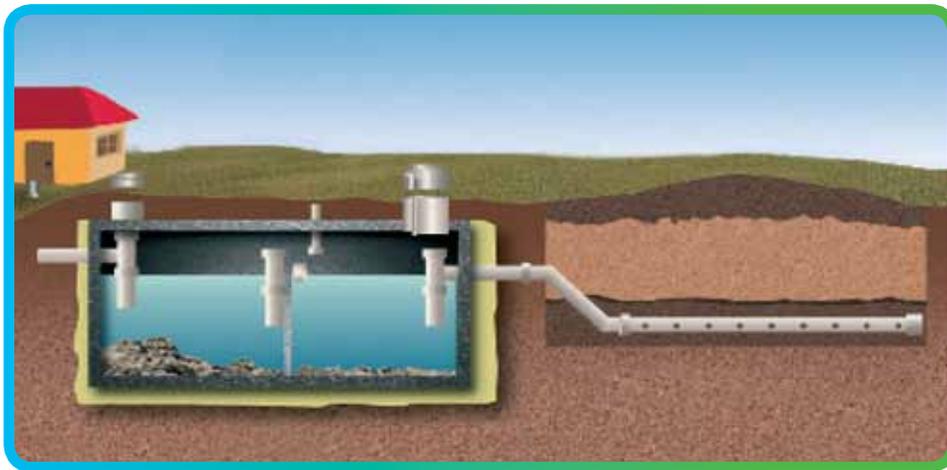


Figura N° 2.12: Uso de tanque séptico y zanja de infiltración, para una correcta disposición final de los efluentes.





ZANJAS DE INFILTRACIÓN	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
El área donde se ubican puede ser aprovechada con cobertura vegetal, considerando siempre las especificaciones técnicas.	No son recomendables para zonas inundables o con la napa freática muy superficial.
Son apropiadas cuando el suelo es permeable y no se encuentran en una zona sujeta a inundaciones.	No son aplicables en suelos con tasas de infiltración menores de 10 L/m ² -día.
Son adecuadas para disposición sanitaria domiciliar unifamiliar o comunal, en zonas rurales y periurbanas.	La humedad puede destruir las estructuras, si se ubica muy cerca de las edificaciones.

2.5.2.2 Tanques Imhoff

Esta instalación cuya concepción data de 1880, es una unidad de tratamiento primario que logra una mejor eficiencia que el tanque séptico en la remoción de materia orgánica. Es utilizado para poblaciones mayores a las admitidas por el tanque séptico.

Consiste en un tanque que presenta dos compartimentos interconectados de modo tal que se facilita la sedimentación, se favorece la separación de la espuma y en el lecho inferior se da un proceso de digestión anaerobia de los sólidos.

Los sólidos se sedimentan a través de ranuras existentes en el fondo del compartimiento superior y pasan al compartimiento inferior para su digestión a temperatura ambiente. La espuma es acumulada en el compartimiento de sedimentación y va saliendo progresivamente mediante el desplazamiento hacia la superficie sin dejar que los lodos que sedimentan sean re-suspendidos. Existen gases altamente tóxicos en el depósito debido al proceso anaerobio que en él se desarrolla. Estos gases pueden ser evacuados a la superficie libre para su dispersión en la atmosfera aunque ésta es una debilidad de la tecnología ya que dicha evacuación a la atmosfera genera impactos negativos de efecto invernadero.



Figura N° 2.13: Lecho de secado para el tratamiento de lodos procedente de un Tanque Imhoff.



Figura N° 2.14: Tanque Imhoff vista superior.



2.5.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO

2.5.3.1. Filtro percolador

Los filtros percoladores son unidades de tratamiento secundario del tipo biológico con medio adherido o asistido. Esto quiere decir, que el agua residual pasa a través de un medio filtrante donde un grupo de bacterias y otros microorganismos, se desarrollan progresivamente adhiriéndose al empaque o medio filtrante formando una película biológica que precisamente permite la degradación biológica de la materia orgánica. El empaque filtrante puede consistir en un lecho de roca volcánica, piedra chancada o material plástico con configuraciones especiales. Todos los empaques utilizados como medio filtrante, buscan maximizar la superficie de contacto sobre la cual se desarrolla la masa biológica útil para el tratamiento.

En el filtro se dan procesos de consumo de la materia orgánica; es decir, los microorganismos se nutren de las sustancias orgánicas contenidas en el líquido entrante y las asimilan, por lo que el efluente sale con menor carga contaminante.

Es importante recalcar que, al igual que en las otras alternativas de tratamiento secundario, el agua que ingresa al filtro percolador, debe haber recibido un tratamiento previo. Un ejemplo de filtro percolador tradicional, con medio de soporte de roca volcánica se aprecia en la figura 2.15.



ASPECTOS TÉCNICOS

Existen filtros percoladores de alta y baja tasa atendiendo al caudal de agua residual que pueden tratar por m² de superficie.

FORMA DE OPERACIÓN

- El agua residual previamente tratada en la unidad de tratamiento primario, ingresa al filtro percolador por la parte superior.
- Un brazo rotatorio gira, distribuyendo el agua a manera de ducha sobre la superficie del filtro. Esta distribución se hace en forma constante, y con un giro moderado del brazo rotario de modo tal que la distribución del agua bañe toda el área superficial disponible.
- Dado que el brazo rotatorio está a 30 cm de la superficie del medio filtrante por donde pasará el agua, al caer permite la oxigenación de las partículas de agua, permitiendo una aireación artificial que ayuda al proceso de tratamiento biológico.
- El lecho filtrante es rico en bacterias que degradan la materia orgánica presente en el agua.
- El agua se recolecta en el fondo, con un canal de drenaje y se conduce a una unidad de sedimentación secundaria.

Figura N° 2.15: Vista panorámica de una batería de filtros percoladores. Estas unidades de tratamiento biológico, por bacterias adheridas al medio filtrante, permiten remover materia orgánica sin requerir energía eléctrica para su funcionamiento.

FILTRO PERCOLADOR

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Requiere área o espacio físico moderado, mucho menor al del sistema de lagunas, por lo que puede implementarse en áreas intraurbanas.	Esta alternativa puede tener una aplicación limitada en aguas residuales con altas cargas orgánicas contenidas en los efluentes.
Su operación es sencilla, y en zonas con pendientes accidentadas puede ser implementado.	
No requiere de energía eléctrica y el costo de inversión es el más bajo de los sistemas aireados.	El nivel de remoción patógena es bajo, por ello en nuestro país se usa sólo para el riego de áreas verdes sin acceso al público, como en la cobertura vegetal del acantilado de la Costa Verde, en la ciudad de Lima.

La generación de olores es muy baja.	Son instalaciones particularmente diseñadas para pequeñas y medianas poblaciones.
Si se incluyendo una unidad de tratamiento primario de buena eficiencia, puede reducir su volumen.	Alta sensibilidad a sustancias tóxicas que podría tener el agua residual a tratar. (reemplaza al texto que dice Sensibilidad ante agentes tóxicos que podría tener el agua que proviene del tratamiento previo). La baja temperatura, puede (borrar la N) disminuir la actividad biológica e incluso en zonas de inviernos severos podría ocasionar la formación de escarchas de hielo mermando la eficiencia del proceso.
Recomendaciones	
Se debe garantizar una adecuada retención de sólidos gruesos y sedimentables en el pretratamiento (cámara de rejas) y tratamiento primario, para evitar problemas de olores desagradables y la presencia de vectores.	

Modelos de plantas de tratamientos de agua residual en las que se aplica filtros percoladores con fines de reuso

a. Filtro percolador incluido en la planta de tratamiento del parque María Reiche, distrito de Miraflores

Esta alternativa en la que se aplica el filtro percolador se puede observar en la planta de tratamiento ubicada en la Av. Boulevard en el distrito de Miraflores, descrita en la sección de modelos tecnológicos aplicados por Municipios locales. En el cuadro N° 2.3 se aprecian datos adicionales de la planta de tratamiento del parque María Reiche del distrito de Miraflores. Dicha Planta consta de instalaciones de pretratamiento, que utilizó el filtro percolador como unidad de tratamiento secundario.

Cuadro N° 2.3

N° Personas	Caudal tratado	Sistema empleado	Área usada	Otros requisitos	Costo a considerar
488	1.5 L/seg*	Filtro percolador	<ul style="list-style-type: none"> • 480 m² • 0.98 m²/hab** 	<ul style="list-style-type: none"> • Dotación de agua constante. • Sólo trata desagüe doméstico. • Temperatura externa superior a 10°C. • Altitud máxima a la que funciona: 1,500 msnm. • Intervención social antes, durante y después de la construcción y funcionamiento de la planta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de inversión US\$ 44,900 • Costo de operación y mantenimiento: US\$ 5,200 por año. • Costo de tratamiento: US\$ 0.32 por m³.

Fuente: IPES, 2008

*Litros por segundo.

**Metros cuadrados por habitante.



Figura N° 2.16: Componentes del pretratamiento seguido del filtro percolador modificado.



Figura N° 2.17: Filtro percolador modificado ubicado en el parque María Reiche del distrito de Miraflores, Lima.

b. Sistema de tratamiento con filtros percoladores incluyendo macrófitas, “Planta Biofísica” ejecutado por la Municipalidad de San Borja.

La Municipalidad Distrital de San Borja, en la ciudad de Lima, ha implementado dos plantas con filtros percoladores, filtros de macrófitas y desinfección con radiación ultravioleta, combinación de procesos denominados comercialmente como “Planta Biofísica”.

Si bien este tratamiento se está aplicando a las aguas de riego provenientes del río Surco y no a las aguas residuales domésticas, la carga patógena es similar en ambas, con la variante de que la primera posee residuos de mayor tamaño y menos DBO. Los efluentes de estas plantas se están utilizando para el riego de las áreas verdes y el llenado de pequeñas lagunas artificiales con sus respectivas piletas.

El proceso se inicia con el ingreso del agua a una cámara de captación, que en su interior contiene un sistema de rejillas para filtrar los sólidos mayores del agua del río. Luego el agua pasa a la cámara de bombeo, donde se eleva al tanque de carga para lograr una primera sedimentación de los sólidos pequeños. Por acción de la gravedad, el agua pasa luego al tanque desengrasador, donde por diferencia de densidades la grasa se mantiene suspendida y es retirada del proceso, mientras que el agua sigue fluyendo hacia un segundo tanque de sedimentación. (Ver figura 2.19). Casi libre de partículas sólidas el agua desciende a un filtro percolador, denominado comercialmente biofiltro fotosintético aeróbico (Ver figura 2.20). Este filtro está cubierto y protegido con paneles transparentes que permiten una buena incidencia de la luz solar en el interior de la estructura cónica, conformada por piedras tipo pómez, para permitir la fijación de microorganismos aeróbicos (algas y bacterias) que remueven materia orgánica, bacterias, parásitos y otros elementos contaminantes.

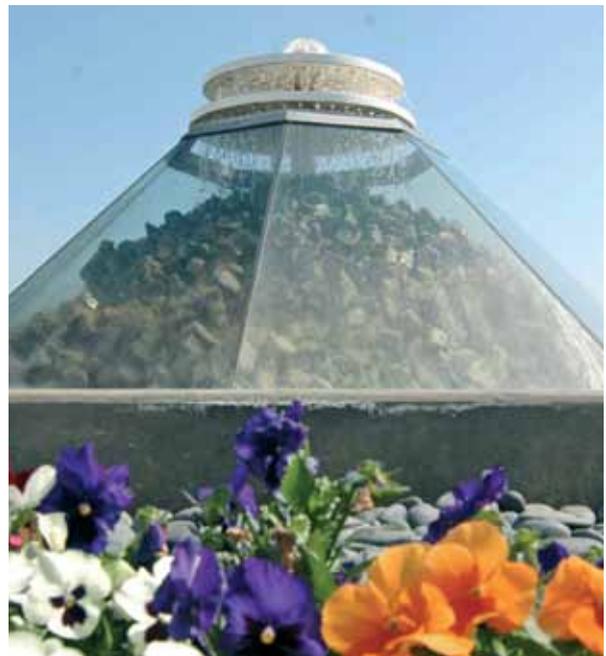


Figura N° 2.18: Tanque de sedimentación cubierto con rejillas de seguridad. Biofiltro aeróbico y el filtro de macrófitas a la margen derecha.

A continuación, el agua pasa a un filtro de macrófitas, donde plantas acuáticas tipo “jacinto de agua” captan con sus raíces materia orgánica, sustancias químicas y algunos metales pesados. Esta agua tratada pasa luego a una cisterna de almacenamiento, para ser posteriormente bombeada a un filtro de grava y arena (Ver figura 2.21) y seguidamente a un filtro pulidor que reduce la turbidez y retiene los parásitos. El agua clarificada pasa finalmente por la unidad de radiación ultravioleta, para remover casi toda la carga patógena aún existente. El efluente de buena calidad es bombeado a una cisterna de agua tratada, de donde es distribuido para el riego de los jardines y piletas del parque. Todo este proceso descrito se realiza en condiciones aeróbicas, para evitar la generación de olores desagradables.





Figura N° 2.19:
Vista panorámica de un biofiltro aerobio cubierto con paneles transparentes.



Figura N° 2.20: Vista cercana del mismo biofiltro de microfitas.



Figura N° 2.21: Filtro a presión con una capa de grava y arena para remoción de huevos de helmintos, seguido de un sistema de desinfección por radiación ultravioleta previo a su reuso en riego de áreas verdes.



Cuadro N° 2.4: Datos adicionales de la planta biofísica de tratamiento de las aguas del río Surco con fines de riego

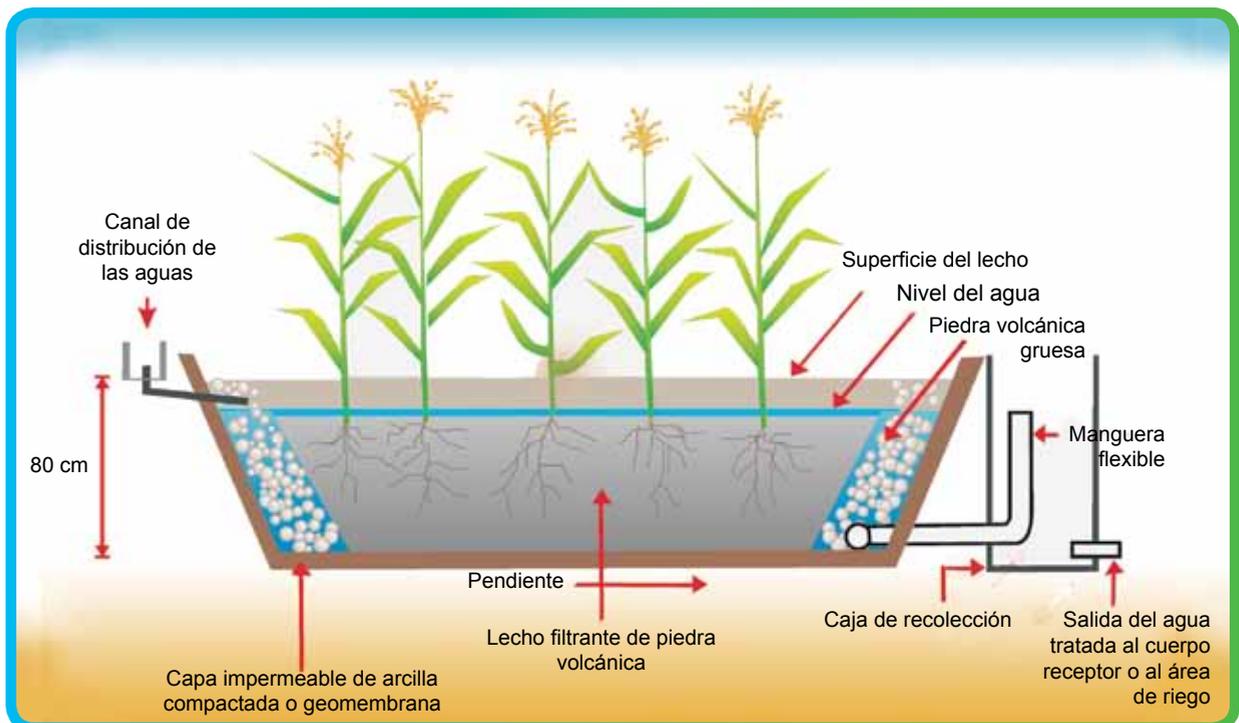
N° Personas	Caudal tratado	Sistema empleado	Área usada	Otros requisitos	Costo a considerar
1,500	2.9 L/seg	Planta Biofísica ₃₃	<ul style="list-style-type: none"> • 300 m² • 0.2 m²/hab. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dotación de agua constante. • Energía eléctrica. • Sólo trata desagüe doméstico. • Temperatura externa superior a 10°C. • Altitud máxima a la que funciona: 1,500 msnm. • Intervención social antes, durante y después de la construcción y funcionamiento de la planta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Expediente técnico: US\$ 6,800 • Construcción: US\$ 120,000. • Mantenimiento: US\$ 2,000 por año. • La operación, sólo requiere 2 operarios día y consumo de 5 kw.h día. • Costo de producción: US\$/. 0.25 por m³

2.5.3.2 Humedales artificiales

Los humedales artificiales son filtros biológicos (biofiltros) de grava o piedra volcánica, sembrados con plantas de pantano, a través de los cuales circulan las aguas residuales pretratadas, mediante un flujo horizontal o vertical, tal como se aprecia

en el diagrama de la figura 2.22. Las bacterias responsables de la degradación de la materia orgánica utilizan la superficie del lecho filtrante para fijarse y formar una película bacteriana que les permite actuar mejor en el proceso de degradación.

Figura N° 2.22: Estructura de un humedal artificial horizontal



El uso de humedales artificiales requiere procesos previos de tratamiento que garanticen una efectiva remoción de los sólidos suspendidos, con el fin de evitar la obstrucción del lecho filtrante. Estos procesos preliminares pueden consistir en la implementación de una rejilla, seguida de un desarenador y unidades de sedimentación, como un tanque Imhoff, un tanque séptico, u otras alternativas, como la mostrada en la figura 2.23.

El tratamiento biológico dentro del lecho filtrante horizontal es del tipo facultativo, lo que significa que en el cuerpo del filtro existen zonas con y sin oxígeno. Las raíces de las plantas permiten el paso de aire de la atmósfera al subsuelo, con lo cual se agrega oxígeno al agua y se establece una población de bacterias aeróbicas capaces de descomponer la materia orgánica. Las aguas provenientes del tanque Imhoff, cámara séptica u otro, se distribuyen uniformemente sobre toda la superficie del lecho filtrante y se infiltran hacia la zona de recolección del agua. Cabe señalar que el paso del agua al filtro debe interrumpirse cada vez que sea necesario, de modo que los intervalos de alimentación permitan que toda el agua se haya infiltrado y los espacios vacíos del lecho hayan sido ocupados por aire. Se debe considerar la construcción de dos humedales artificiales en paralelo, para permitir el mantenimiento del sistema.



Figura N° 2.23: Cámaras de tratamiento preliminar del humedal artificial vertical, donde una de las cámaras de reposo está siendo aprovechada para hacer compost con la materia orgánica.

HUMEDALES ARTIFICIALES	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
El sistema es muy estable en la operación y eficiente para la remoción de materia orgánica y nutrientes, condiciones que permiten disponer el efluente en ambientes naturales.	Requieren de un proceso adicional de desinfección para eliminar totalmente los organismos patógenos, sobre todo cuando se trata sólo aguas residuales.
Pueden operar sin ningún consumo energético, al carecer de equipos electromecánicos.	Puede colmatarse en poco tiempo, cuando no cuentan con sistemas de pretratamiento adecuados.
La operación es sencilla y con bajo costo.	En zonas de altitud elevada puede ocurrir que las plantas empleadas no se adapten. Por ello, habría que realizar estudios <i>in situ</i> con especies locales.
Perfecta integración a el medio rural y urbano, como parques y jardines.	Un débil compromiso, así como la desorganización de los usuarios, hacen que estos proyectos no tengan éxito.
Generalmente no producen olores desagradables.	
Recomendaciones	
Este sistema de tratamiento no es estándar. Se debe diseñar de acuerdo a cada realidad urbana.	
Es viable para efluentes de poblaciones pequeñas y medianas.	
Si se desea implementar esta tecnología en la sierra del país, se deberá considerar especies vegetales locales y analizar la calidad del efluente para determinar su aprovechamiento.	



Figura N° 2.24: Humedal artificial de flujo vertical*.

Las plantas que se sembrarán pueden ser seleccionadas según el tipo de contaminante que se desea reducir en las aguas residuales. Se ha comprobado la efectividad del papiro, bambú, platanillo, carrizo u otras plantas de la zona, que se adaptan a condiciones de humedad.

En el cuadro N° 2.5 se presentan datos adicionales de un humedal vertical empleado en el tratamiento de aguas grises del Colegio Christoforus en el distrito de Chorrillos, Lima. Las aguas grises provenientes de la panadería, cocina y lavandería del Colegio, son conducidas hacia una trampa de grasas donde se retienen los aceites y grasas. El efluente de la trampa de grasas va a una cámara de bombeo desde la cual se bombea el agua hacia el humedal en forma intermitente (usualmente entre 3 a 6 veces por día). El medio filtrante utilizado por el humedal es arena gruesa. Las plantas utilizadas en el humedal son papiro y en el sistema de drenaje se utiliza confitillo.

Cuadro N° 2.5: Humedal vertical para tratamiento de aguas grises.
Colegio Christoforus, Chorrillos, Lima

N° Personas	Volumen Caudal	Sistema empleado	Área usada	Otros requisitos	Requerimientos de Inversión y Operación
Equivalente a aguas grises de 23 habitantes.	0.02 L/seg de aguas grises.	Humedales artificiales	• 18m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicado al tratamiento de aguas grises. • El sistema debe incluir unidades de retención de grasas además de procedimientos adecuados para la disposición adecuada de lodos y grasas que se deben remover periódicamente del sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de inversión: US \$4,200. • Costo de operación, 4 hrs. hombre por mes y 0.2 kW/h/día**

38

Cuadro N° 2.6: Humedal vertical para tratamiento de desagües negros.
Colegio Christoforus, Chorrillos, Lima

N° Personas	Volumen Caudal	Sistema empleado	Área usada	Otros requisitos	Requerimientos de Inversión y Operación
Aguas residuales provenientes al equivalente de 30 habitantes.	0.05 L/seg de aguas residuales.	Humedal artificial.	• 52 m ² Aprox.	<ul style="list-style-type: none"> • Trata aguas residuales. • El proyecto debe incluir la operación de todo el sistema, y el destino de los lodos del pretratamiento y de efluentes tratados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de inversión: US\$ 7,467. • Costo de operación, 8 hrs. hombre por mes y 0.4 kw/h/día.

*Fuente: Chorrillos, Lima, Rotaria del Perú SAC.

**Kilowatios por hora al día.

***Precios referenciales para Lima.

2.5.3.3. Lodos activados de aireación extendida.

Los lodos activados son una tecnología de amplia aplicación a nivel mundial. Los lodos activados de aireación extendida son una variación del proceso convencional de lodos activados, que básicamente convierte, gran porcentaje de la materia orgánica del efluente, en partículas sólidas, aglutinadas. Como muestra la figura 2.25, el agua residual ingresa a un proceso de pretratamiento, conformado por rejillas o tamices y desarenadores, para la separación física de los sólidos gruesos y finos, y opcionalmente aceites y grasas, en una trampa de grasas.

Posteriormente, el agua pasa a un estanque de aireación, donde grandes volúmenes de aire son inyectados mediante sopladores e impulsados desde el fondo hacia la superficie, a través de difusores, para mezclar y suspender la materia orgánica y transferir oxígeno a las bacterias que la degradan. Estas bacterias aeróbicas, presentes

en este medio rico en nutrientes, se desarrollan rápidamente y forman una masa activa llamada "lodos activados", depurando las aguas residuales y reduciendo la carga orgánica presente en forma eficiente.

El líquido tratado pasa a un estanque de sedimentación secundaria, donde permanece en reposo para favorecer la sedimentación del lodo activado en el fondo del estanque. Una fracción de este lodo sedimentado es recirculada al estanque de aireación, para mantener una concentración, mientras que el resto pasa a un estanque de digestión de lodos, para su estabilización y posterior deshidratación.

Finalmente, para renovar microorganismos patógenos, el agua que sale del estanque de sedimentación debe ser adicionalmente tratado por una etapa de filtración y de desinfección (cloración, luz ultravioleta u ozono, entre los más utilizados), resultando finalmente un efluente clarificado con muy baja concentración de patógenos, por lo que puede ser utilizado en riego.

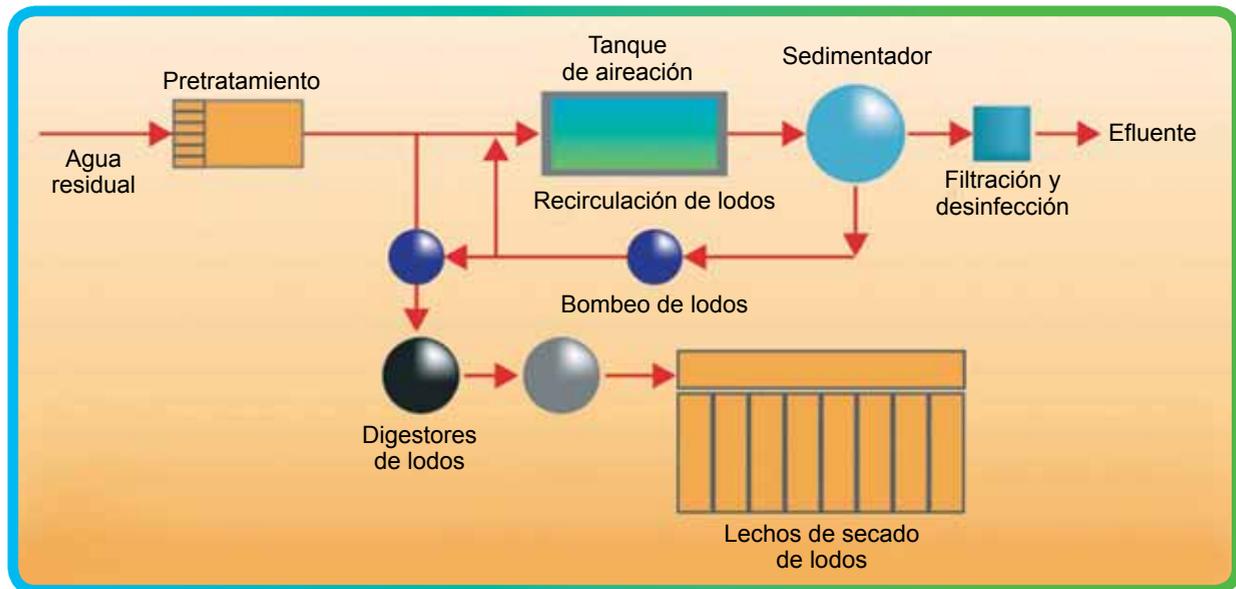


Figura N° 2.25: Flujograma de una planta de tratamiento con proceso de lodos activados de aireación extendida.



LODOS ACTIVADOS

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Este sistema puede implementarse en áreas pequeñas, como bermas centrales de avenidas amplias, óvalos de intersección o parques, con el fin de regar las áreas verdes urbanas, siempre que su mantenimiento y operación sean los adecuados.</p> <p>Como tratamiento secundario la unidad de lodos activados ha demostrado eficiencia en la remoción de la DBO hasta en un 95%.</p>	<p>Requiere de una importante inversión en infraestructura y equipos, que eleva el costo de tratamiento.</p>
<p>La aireación extendida tiene una mayor eficiencia en el porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), por lo que el efluente tiene pocos sólidos y se puede utilizar en el riego tecnificado.</p>	<p>Demanda de energía eléctrica para accionar los equipos, lo que eleva notablemente el costo de operación y mantenimiento.</p>
<p>Es un proceso de tratamiento continuo y para un caudal fijo.</p>	<p>El control operacional es especializado y de mayor costo que otras alternativas tecnológicas.</p>
<p>Es un modelo convencional ampliamente probado y difundido.</p>	<p>Es sensible a los cambios de caudal, carga orgánica y temperatura.</p> <p>Requiere siempre un proceso adicional de desinfección, para remover los organismos patógenos.</p>
<p>Generalmente no produce olores desagradables, por ser un proceso aerobio. Es muy apropiado para zonas intraurbanas.</p>	<p>El manejo de lodos debe realizarse en forma permanente.</p>

Recomendaciones

<p>El programa de operación y mantenimiento deberá ser monitoreado permanentemente para evitar olores desagradables.</p>
<p>El manejo de lodos debe ser realizado con mucha sincronización para evitar su acumulación, la atracción de vectores y la generación de olores desagradables.</p>
<p>Se debe tener equipos de reemplazo para evitar la paralización de alguna parte del proceso, lo que inmediatamente determinaría la paralización de toda la planta.</p>



En el cuadro N° 2.7 se aprecian datos adicionales de la planta de tratamiento de lodos activados por aireación extendida, ubicada en la berma central de la Avenida Universitaria, entre los distritos de Carabayllo y Comas. Ver la figura 2.26.

Cuadro N° 2.7

N° Personas	Caudal tratado	Sistema empleado	Área usada	Otros requisitos	Costo a considerar
1,519.	6 L/seg.	Lodos activados por aireación extendida.	<ul style="list-style-type: none"> • 910 m² • 0,60 m²/hab. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dotación de agua constante. • Energía eléctrica. • Sólo trata desagüe doméstico. • A mayor altitud requerirá más consumo de energía. • Intervención social antes, durante y después de la construcción y funcionamiento de la planta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de inversión US\$ 166,500. • Costo de operación y mantenimiento US\$ 31,400 por año. • Costo de tratamiento US\$ 0.69 por m³.

Fuente: IPES, 2008.



Figura N° 2.26: Planta de tratamiento por lodos activados de aireación extendida, construida con fines de riego de áreas verdes, en una berma central de la Av. Universitaria en Comas.

2.5.3.4. Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización son estanques diseñados para el tratamiento de las aguas residuales, mediante procesos biológicos naturales de interacción de la biomasa (algas y bacterias aeróbicas) y la materia orgánica contenida en esa agua (ver figura 2.27). El uso de este tipo de tratamiento se recomienda especialmente

cuando se requiere un alto grado de remoción de organismos patógenos*, sin emplear los métodos de cloración, oxidación, o radiación UV. Según la norma técnica SO.090, las lagunas de estabilización se clasifican en:

- Lagunas anaerobias
- Lagunas facultativas

* Norma S.090 MTCVC, 1997.

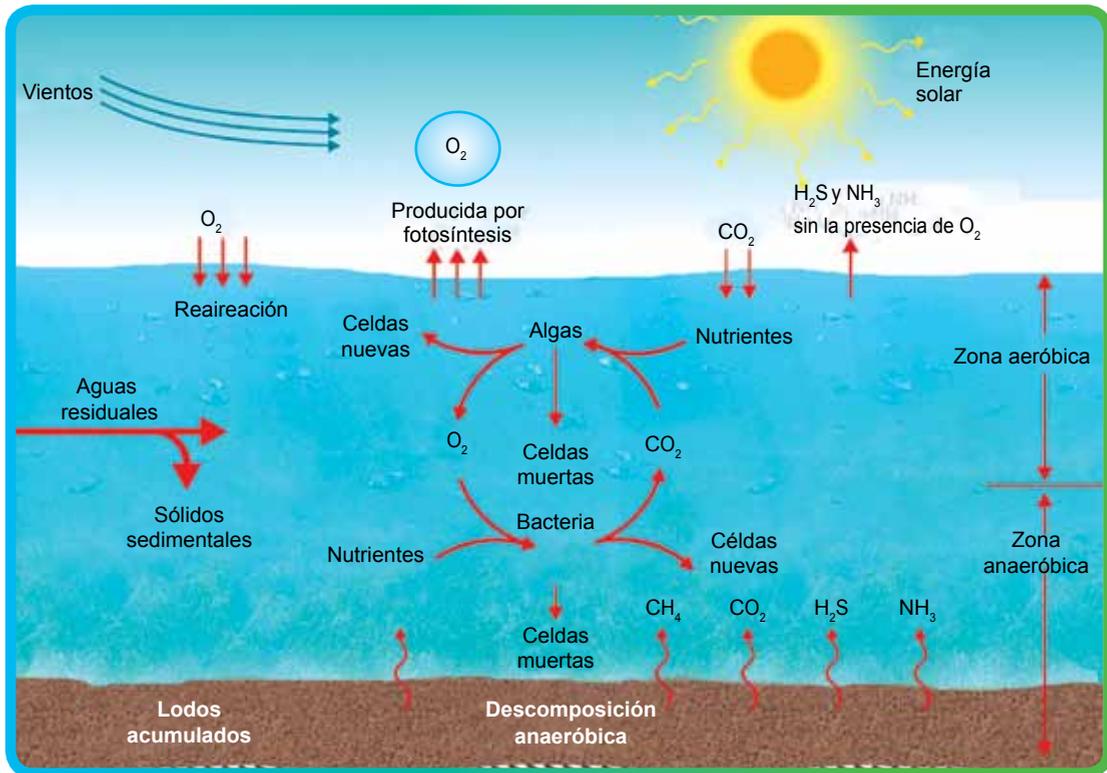


Figura N° 2.27: Interacción de bacterias y algas en las zonas aeróbicas y anaeróbicas, en una laguna facultativa de estabilización.

► Lagunas facultativas

Su ubicación como unidad de tratamiento en un sistema de lagunas puede ser como laguna única (caso de climas fríos) o seguida de una laguna secundaria o terciaria. También se utiliza como una unidad secundaria, después de lagunas anaerobias o aireadas, para procesar y lograr un mayor grado de remoción de organismos patógenos. El límite de carga orgánica para las lagunas facultativas aumenta con la temperatura.

► Lagunas anaerobias

Generalmente se usan como una primera etapa del tratamiento, cuando la disponibilidad de terreno es limitada, o para el tratamiento de aguas residuales domésticas con altas concentraciones y desechos industriales. No es recomendable el uso de este tipo de lagunas en zonas donde la temperatura sea menor a 15°C y haya presencia de alto contenido de sulfatos (mayor a 250 mg/L). Se deberá diseñar un número mínimo de dos unidades en paralelo, para permitir la operación en una de las unidades, mientras se remueve el lodo de la otra. En ningún caso se deberá permitir que el volumen de lodo acumulado supere el 50% del tirante de la laguna.

El tratamiento de las aguas residuales en las lagunas de estabilización deben ser precedidas por un proceso de pretratamiento, tal como se observa en la figura 2.28.

Las lagunas que reciben agua residual cruda son lagunas primarias. Las lagunas que reciben el efluente de las primarias se llaman secundarias, y así sucesivamente. Las lagunas de estabilización se pueden llamar terciarias, cuaternarias, etc.

Normalmente se utilizan dos o tres lagunas en serie. Para el diseño de las lagunas facultativas se tendrá en cuenta la temperatura del agua del mes más frío del año, lo que permitirá calcular la carga superficial de materia orgánica, en kg. de DBO/ha/día (Demanda bioquímica de oxígeno por hectárea al día). La remoción de bacterias representadas por los coliformes fecales se estimará utilizando los coeficientes de mortalidad bacteriana establecidos para cada unidad en el modelo hidráulico de flujo disperso. No es aceptable utilizar información deducida del modelo de mezcla completa. Para una adecuada remoción de parásitos, representados por nemátodos intestinales, se requiere un periodo de retención nominal mínimo de 10 días en una de las lagunas. Los parásitos protozoos se retienen impidiendo la salida del agua por rebose.

Por otro lado, cuando se proponen combinaciones de lagunas que se inician con una anaeróbica, a las siguientes lagunas (a partir de la secundaria) se les puede llamar también lagunas de acabado, maduración o pulimento, tal como se aprecia en las figuras 2.28 y 2.29.



Figura N° 2.28: Infraestructura de un sistema de pretratamiento de aguas residuales, donde se observa una rejilla y un desarenador, diseñados para una laguna facultativa.

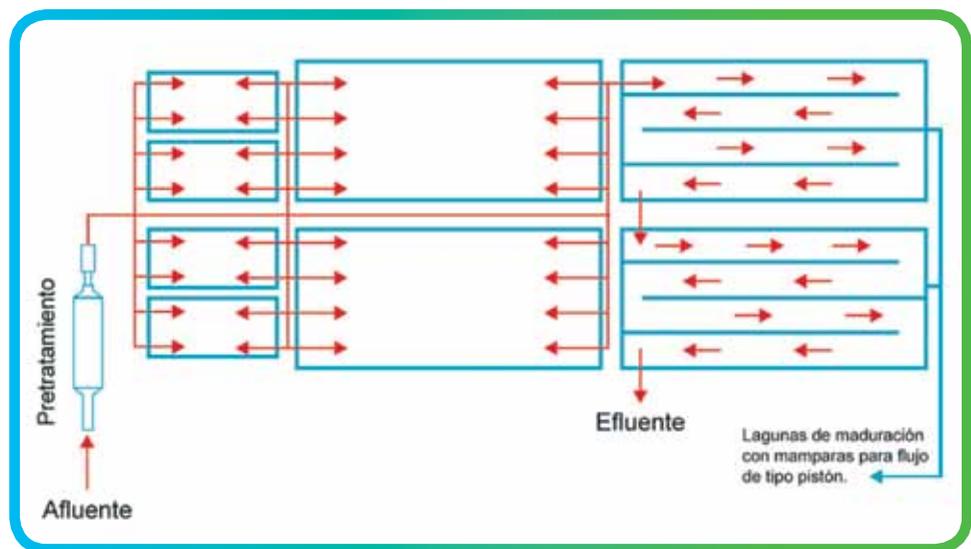


Figura N° 2.29: Baterías en paralelo de lagunas anaeróbicas (A) y facultativas (F), seguidas por lagunas de maduración.



LAGUNAS ANAERÓBICAS

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Las lagunas anaeróbicas disminuyen el área total del sistema, debido a que tienen una buena capacidad para reducir la carga orgánica.	Requieren más área de terreno que los otros sistemas de tratamiento compacto, ya que dependen de las condiciones climáticas, es decir que a menor temperatura, más área. Requieren de 0.4 a 4 m ² por habitante, según la temperatura.
Las lagunas de estabilización tienen una gran capacidad de remoción de microorganismos patógenos, lo que permite la buena reutilización de sus efluentes.	Las lagunas anaeróbicas no se recomiendan en zonas urbanas, porque pueden generar olores desagradables, ni en zonas donde la temperatura sea menor a 15°C, pues disminuye su eficiencia.
Las lagunas de estabilización operan sin ningún consumo de energía.	Las pérdidas de agua por evaporación son mayores que en otros sistemas.
No existen averías de carácter electromecánico.	Se observa elevadas concentraciones de sólidos en suspensión en el efluente, por la alta producción de algas microscópicas. No genera problemas cuando se utiliza para el riego de áreas verdes.
Son sencillas operativamente.	
Se caracterizan por una gran estabilidad de operación, lo que permite una fácil adaptación a cambios de caudal y de carga orgánica.	
Generan escasa producción de lodos ya estabilizados, que se deben extraer después de 5 años.	

Recomendaciones

Se debe construir por lo menos dos lagunas primarias (en paralelo), con el objeto de que una se mantenga en operación, mientras se hace la limpieza de los lodos de la otra.
Una laguna de estabilización con un caudal insuficiente para mantener un balance de agua positivo puede ser invalidada. Por ello es necesario determinar y asegurar un mínimo de caudal del alcantarillado antes de que la laguna entre en operación.
Para el caso de que los efluentes sean descargados a un cuerpo de agua receptor, deberá evaluarse la posibilidad de un post tratamiento, para evitar una eutrofización.
Cuando llegue el momento de remover los lodos, se deberá aprovechar la estación seca o estiaje para realizar la limpieza, previo secado.

En el cuadro N° 2.8 se aprecian datos adicionales de la planta de tratamiento del Colegio La Inmaculada, con un sistema de lagunas de estabilización en funcionamiento. Las figuras 2.30, 2.31 y 2.32 corresponden a esta planta.

Cuadro N° 2.8: Información adicional de la planta de lagunas de estabilización del Colegio La Inmaculada.

N° Personas	Caudal tratado	Sistema empleado	Área usada	Otros requisitos	Costo a considerar*
5,838	15 L./seg.	Lagunas de estabilización	<ul style="list-style-type: none"> • 11,300 m² • 1.8 m²/hab. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dotación de agua constante. • Sólo trata desagüe doméstico. • Intervención social, antes, durante y después de la construcción y funcionamiento de la planta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de inversión: US\$ 692,500. • Costo de operación y mantenimiento: US\$ 39,500 por año. • Costo de tratamiento: US\$ 0.47 por m³.

Fuente: IPES, 2008.

*Cabe recalcar que el costo de estas lagunas de estabilización es elevado, debido a que se bombea el agua residual hacia la parte alta de un cerro.



En estas figuras se aprecia las lagunas de estabilización (primaria, secundaria, y terciaria), previamente descritas, las que son aprovechadas como zocriaderos.



Figura N° 2.30:

Vista panorámica del sistema de lagunas empleado en el tratamiento de aguas residuales del Colegio La Inmaculada, cuyo efluente es utilizado para riego de áreas verdes.

Figura N° 2.31:
Las aguas residuales son bombeadas desde un ramal principal de desagüe hacia la cima del cerro donde se inicia el tratamiento. En la foto se observa la laguna primaria.



Figura N° 2.32:

Lagunas secundarias y de pulimento del sistema de tratamiento de aguas residuales del Colegio La Inmaculada.





2.5.3.5. Lagunas aireadas

Las lagunas aireadas son unidades de tratamiento cuya aplicación debe priorizarse en la fase de tratamiento secundario. Cuando la disponibilidad de terreno es escasa, es importante emplear sistemas de tratamiento primario de mejor eficiencia, previo al empleo de lagunas aireadas. Esto tiene como finalidad reducir el área requerida por estas unidades, además de reducir el consumo de energía eléctrica por disminución de la carga orgánica y por ende menor oxígeno requerido en el proceso de tratamiento.

Las lagunas aireadas suelen ser diseñadas con profundidades de 1 a 4m. La aireación del agua residual tratada se realiza empleando aireadores mecánicos o dispositivos de aireación por medio de difusores (ver fig. 2.33 y fig. 2.34). El empleo de lagunas aireadas, con un enfoque en la ecoeficiencia, busca reducir al máximo el uso de energía eléctrica, por tanto, previo al empleo de este tipo de unidades es importante utilizar los componentes de pretratamiento con rejas, y desarenador para el retiro de sólidos y material grueso (ver fig. 2.35), al menos un componente de tratamiento primario, entre las opciones disponibles el reactor anaerobio brinda mejores condiciones de eficiencia, también puede emplearse un tanque Imhoff o una laguna anaerobia que permita conformar el sistema integral de tratamiento.



Figura N° 2.33: Sistema de lagunas aireadas que emplean aireadores mecánicos.



Figura N° 2.34: Sistema de lagunas aireadas que emplea sistema de difusores de aire comprimido. Se suelen emplear toberas o difusores de burbuja tipo disco. La debilidad del sistema aireado radica en que no asume la visión de ecoeficiencia al emplear energía eléctrica que favorece el calentamiento global.



Figura N° 2.35: Infraestructura de tratamiento preliminar de las lagunas aireadas con aireadores mecánicos del Parque Zonal Huáscar.



Las lagunas aireadas pueden clasificarse en lagunas de mezcla completa y lagunas aireadas facultativas. En el primer caso, el nivel de turbulencia es suficiente para mantener los lodos en suspensión y oxígeno disuelto en toda la laguna, mientras que en el segundo caso la turbulencia en la laguna es insuficiente, es decir que parte de los lodos sedimentan, produciéndose una descomposición anaeróbica en el fondo, tal como se puede apreciar en las figuras 2.36 y 2.37

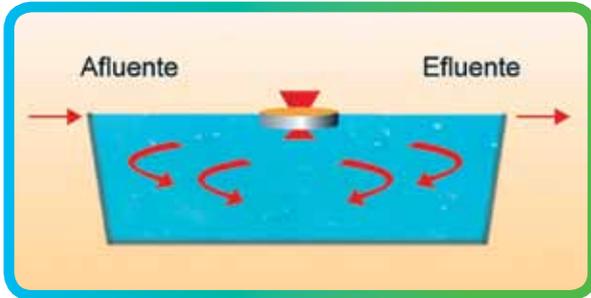


Figura N° 2.36: Laguna aireada de mezcla completa

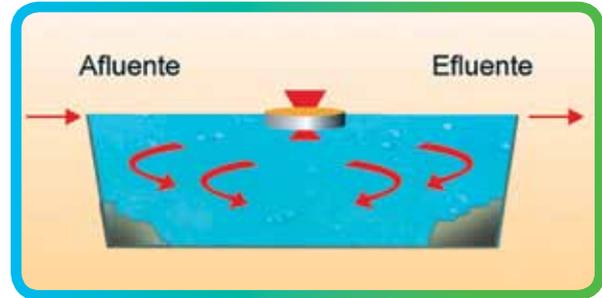


Figura N° 2.37: Laguna aireada facultativa

El cuadro N° 2.9 proporciona algunas características técnicas de lagunas aireadas existentes.

Cuadro N° 9: Tipos de lagunas aireadas

Tipo	Características	Profundidad (m)	Periodo retención (días)
Lagunas aireadas de mezcla completa	Biomasa en suspensión, proceso incipiente de lodos activados, ausencia aparente de algas.	3 a 5	2 a 7
Lagunas aireadas facultativas	Biomasa en suspensión parcial, acumulación de lodos, aparición de burbujas de gas. En climas cálidos, apreciable crecimiento de algas.	Menor a 1.5	7 a 20
Lagunas facultativas con agitación mecánica	Se aplica exclusivamente a unidades sobrecargadas del tipo facultativo en climas cálidos. Puede usarse aireadores en forma intermitente. Su diseño es el mismo que para lagunas facultativas.	Mayor a 1.5	-

El efluente de las lagunas aireadas va a las lagunas de decantación, donde ocurre la sedimentación de lodos generados por el proceso de aireación. Debido a que dichos lodos se acumulan progresivamente en la laguna de sedimentación, ellos deben ser periódicamente retirados de, siendo por tanto necesario la construcción de por lo menos dos unidades de lagunas de sedimentación. Así, mientras se realiza el mantenimiento (limpieza) de una de las lagunas, se mantiene en operación la otra.



LAGUNAS AIREADAS

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Al igual que el tratamiento de lodos activados con aireación extendida, la eficiencia en el porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es alta, por lo que el efluente tiene pocos sólidos y se puede utilizar en el riego tecnificado.	Requieren más área que los sistemas de lodos activados.
	Requieren de una importante inversión en infraestructura y equipos, que eleva el costo de tratamiento.
	Demanda de energía eléctrica para accionar los equipos, lo que eleva notablemente el costo de operación y mantenimiento.
Es un proceso de tratamiento continuo y para un caudal fijo.	El control operacional es especializado y de mayor costo que otras alternativas tecnológicas.
	Es sensible a los cambios de caudal, carga orgánica y temperatura.
	Requiere siempre un proceso adicional de desinfección para remover los organismos patógenos.
	El manejo de lodos debe realizarse en forma permanente.
Recomendaciones	
El programa de operación y mantenimiento deberá ser monitoreado permanentemente para evitar olores desagradables.	
El manejo de lodos debe ser realizado con mucha sincronización para evitar su acumulación, la atracción de vectores y la generación de olores desagradables.	

Un ejemplo de lagunas aireadas en plantas de tratamiento es la que se ha implementado para un caudal del 70 litros por segundo y que está operando en el Parque Zonal Huáscar, Villa El Salvador. Este sistema está conformado por lagunas aireadas de mezcla completa y mezcla parcial, seguidas por lagunas de sedimentación y de acabado. El cuadro N° 2.10 resume los datos técnicos de este sistema.

Cuadro N° 2.10

N° Personas	Caudal tratado	Sistema empleado	Área usada	Otros requisitos	Costo a considerar
28,411	73 L/seg	Lagunas aireadas	<ul style="list-style-type: none"> • 46,500 m² • 1.57 m²/hab. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dotación de agua constante. • Energía eléctrica. • Sólo trata desagüe doméstico. • A mayor altitud requerirá más consumo de energía. • Intervención social antes, durante y después de la construcción y funcionamiento de la planta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de inversión US\$ 18'590,000 • Costo de operación y mantenimiento US\$ 168,000 por año. • Costo de tratamiento US\$ 0.59 por m³.

Fuente: IPES, 2008.



2.5.3.6. Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA)

El Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente, o también conocido como RAFA, es una unidad de tratamiento biológico del tipo anaerobio, cuyo diseño permite mantener en suspensión el agua residual a tratar, haciendo ingresar el afluente por la parte inferior a través de un sistema de distribución localizado en el fondo de la unidad. El agua

residual que ingresa asciende, atravesando por un manto de lodos conformado por microorganismos de tipo anaerobio. En la parte superior existe una campana que facilita la separación de la fase líquida y gaseosa, de modo que el efluente clarificado sale hacia el postratamiento. Los tiempos de permanencia son relativamente cortos. Los parámetros de diseño usualmente empleados para el cálculo de las dimensiones de la unidad se dan en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 2.11: Principales parámetros de diseño empleados para Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente

Críterios	Para flujo promedio
Carga volumétrica hidráulica.	<4.0 m ³ /m ² .d
Tiempo de detención hidráulica.	6.0 - 9.0 h
Velocidad ascendente.	0.5 - 0.7 m/h
Tasa de sobreflujo en la zona del clarificador.	14.4 - 19.2 m ³ /m ² .d
Tiempo de detención hidráulica en la zona del clarificador	1.5 - 2.0 h
Producción de sólidos.	0.1 - 0.2 kg. TSS/kg. Infl. COD
Concentración en exceso de lodo.	2.0 - 5.0 por ciento
Peso específico del lodo.	1020 - 1040 kg. SST/m ³

REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA)	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
El RAFA es un proceso de tratamiento continuo, con cortos periodos de retención que puede sustituir a la unidad de sedimentación primaria por lo que su afluente es el agua que sale de las operaciones de pretratamiento mediante rejillas y desarenador.	Existe mayor dificultad en el arranque del reactor, siendo necesario inoculación de bacterias anaerobias y control operacional especializado.
Permite el tratamiento de aguas con alta concentración de materia orgánica, reduciendo así el tamaño de cualquier unidad que conforme el sistema posterior de tratamiento, tales como lagunas, biofiltros, sistemas aireados y postratamiento que se adicionen para realizar la remoción de organismos patógenos.	Es un proceso anaerobio muy sensible a cambios bruscos de carga orgánica y temperatura. Por tanto, no se recomienda en lugares con climas fríos extremos.
Bajo condiciones topográficas favorables, no requiere energía para su operación, pues el flujo de agua puede darse por gravedad.	La remoción de organismos patógenos es muy limitada, a menos que se complemente con lagunas de pulimento.
Produce gas metano, que puede ser utilizado como fuente de energía para el alumbrado de la planta e incluso para calentar el propio reactor y favorecer la eficiencia del proceso de digestión anaerobia.	Requiere siempre de un tratamiento posterior, ya que el proceso transforma el nitrógeno orgánico en amoníaco, que es tóxico y su eficiencia apenas remueve la DBO en un 55%.
La extracción de lodos es por presión de los mismos lodos y gases, facilitando su manejo.	No se recomienda para aguas con baja concentración de materia orgánica o aguas diluidas por lluvias. No se recomienda en zonas intraurbanas, debido a que puede causar molestias en la población por olores desagradables.

Recomendaciones

Los criterios de diseño normalmente deben ser determinados en forma experimental, mediante la implementación previa de una unidad piloto.

El sistema debe contar con un dispositivo que permita el ingreso de un caudal permanente, como por ejemplo un tanque de ecualización, además de pretratamiento.

Se debe lograr una distribución uniforme del agua cruda en el fondo del reactor, a través de una cantidad mínima de puntos de alimentación.

En la parte superior del sistema debe existir un dispositivo para captar el gas metano $-CH_4-$ producido. Se debe evitar la emisión de los gases que producen olores desagradables.



Figura N° 2.38: Pretratamiento de aguas residuales.



Figura N° 2.39: Detalle de la trampa de rejas.

En la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) opera desde hace varios años un sistema de RAFA, complementado por lagunas de estabilización. Las aguas residuales generadas por los asentamientos humanos ubicados en las laderas del cerro El Milagro, contiguo a la sede universitaria, ingresan a una cámara de derivación que recibe un caudal promedio de 6 L/s que representa el 80% del agua residual transportada, devolviendo el volumen restante a la red de alcantarillado sanitario, para evitar sobrepasar la capacidad de la planta. El agua que ingresa es conducido hacia la cámara de rejas, donde se retienen los sólidos más grandes. Luego pasa por un desarenador, donde ocurre una sedimentación ligera de sólidos básicamente grandes y, medianos. El paso siguiente es el medidor de caudal, luego del cual se hace llegar al RAFA, tal como se muestra en las figuras 2.38 y 2.39.

Estas aguas residuales pretratadas ingresan al RAFA por ductos que van hacia el fondo de la estructura,

tal como se aprecia en la figura 2.40. Las aguas residuales entran en contacto con el manto de lodo, donde se produce la digestión de la materia orgánica, liberando gases y reduciendo significativamente la carga orgánica, para emerger hacia la zona de sedimentación (ver figuras 2.41 y 2.42) y luego pasar a las lagunas. En dos lagunas de estabilización ocurren procesos de reducción de carga patógena y materia orgánica.

Finalmente, las aguas son usadas para riego de las áreas verdes de la universidad y del distrito del Rímac. Cabe resaltar que esta planta no requiere de energía eléctrica, porque todo el proceso de circulación del agua residual es por gravedad, al igual que el retiro de lodos, que son impulsados también por la presión ejercida dentro del RAFA hacia lechos de secado donde se deja reposar en promedio por 1 año antes de ser usados como mejoradores de suelos.

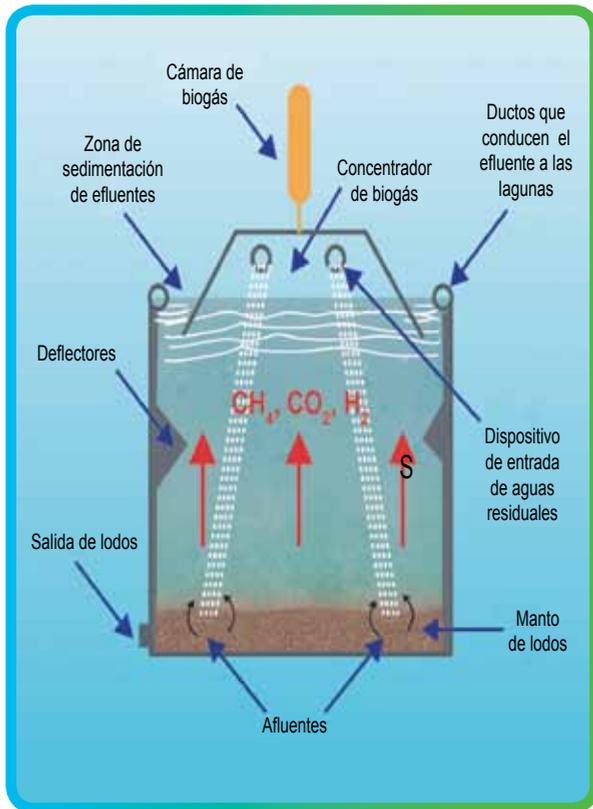


Figura N° 2.40: Principio del sistema RAFA



Figura N° 2.41: Un ducto inferior conduce los lodos dentro del RAFA hacia el lecho de secado.



Figura N° 2.42: Zonas de sedimentación de efluentes en el RAFA y lagunas de acabado.

En el cuadro N° 2.12 se muestra una serie de datos de la planta de tratamiento de la UNI.

Cuadro N° 2.12

N° Personas	Caudal tratado	Sistema empleado	Área usada	Otros requisitos	Costo a considerar*
7,000	10 L/seg	Reactor anaerobio de flujo ascendente	<ul style="list-style-type: none"> • 8,000 m² • 1.1 m²/hab. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dotación de agua constante. • Sólo trata desagüe doméstico. • A mayor altitud el desempeño disminuye por la baja temperatura. • Intervención social antes, durante y después de la construcción y funcionamiento de la planta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de inversión: US\$ 125,000. • Costo de operación y mantenimiento: US\$ 18,750 por año. • Costo de tratamiento: US\$ 0.18 por m³.

Fuente: IPES, 2008

2.5.3.7. Experiencias del RAFA + Postratamiento

La inclusión del reactor anaerobio UASB en una planta de tratamiento, seguido de unidades de tratamiento biológico, preferentemente aerobio de nivel secundario como lagunas, lodos activados, filtros percoladores u otras alternativas, ha demostrado un mejoramiento importante en la eficiencia del tratamiento en su conjunto.

Esta sección describe las experiencias desarrolladas para el tratamiento de aguas residuales, haciendo uso de paquetes tecnológicos que incluyen al RAFA como unidad de tratamiento primario.

a. RAFA + Biofiltros

Los filtros biológicos, instalados para el pos tratamiento del efluente del RAFA (UASB), han demostrado mejor eficiencia que aquellos que tratan el efluente de sedimentadores primarios simples.

El siguiente esquema muestra los niveles de eficiencia logrados con un sistema de RAFA y un filtro biológico de flujo aireado sumergido. La figura define el circuito de operaciones y procesos de los que consta el sistema de tratamiento utilizado y el cuadro inferior define los alcances de remoción en cada etapa.

Para efectos de evaluación se inicia con un desagüe crudo con las siguientes características:

- DBO promedio de 350 mg/l
- Contenido bacteriológico promedio: 108 NMP (Número Más Probable) coliformes fecales/100 ml
- SST del orden de 180 mg/l. que pasa por las siguientes operaciones y procesos.

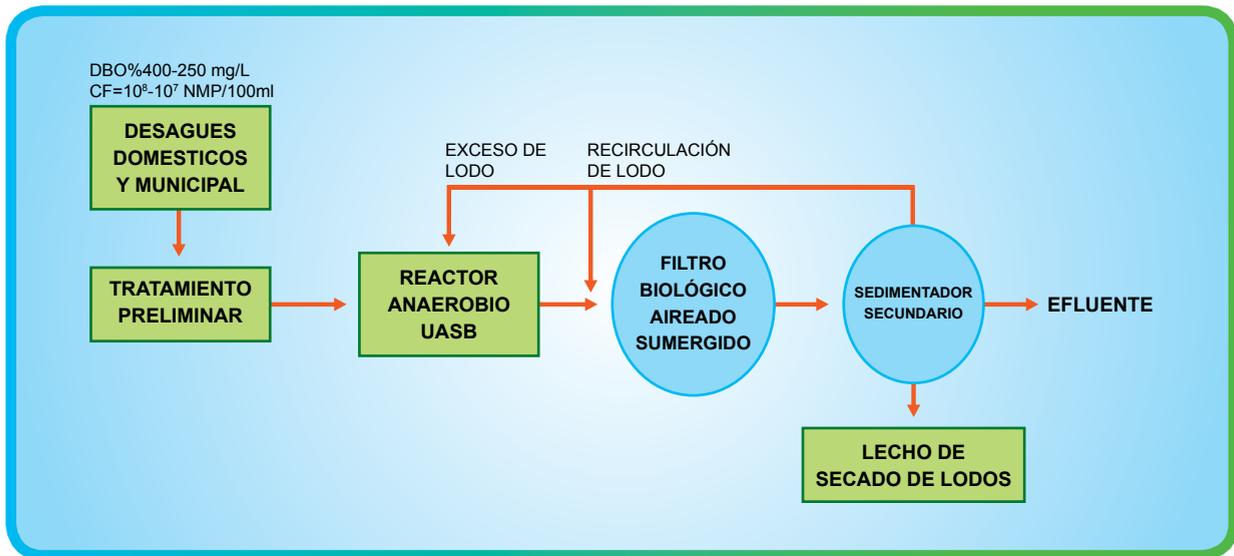
Operaciones y procesos que considera la planta:

1. Pretratamiento mediante rejas y desarenador, unidades que por operaciones unitarias permiten el acondicionamiento previo, y con ello, la retención de material grueso orgánico e inerte.
2. Tratamiento primario: Se ubica al RAFA dentro del circuito, haciendo las veces de un sistema de tratamiento primario, el cual permitirá remover la mayor carga orgánica presente en el desagüe.
3. Tratamiento secundario mediante filtro biológico aireado sumergido, ubicado inmediatamente después del RAFA.

Bajo las condiciones indicadas se logra un agua residual con mucho menor concentración de DBO, reducción apreciable de los SST, pero una baja eficiencia en la reducción de coliformes, los cuales requieren adicionalmente un tratamiento de desinfección. Así mismo los nutrientes se remueven escasamente.

*El costo de inversión, mantenimiento y operación incluye las tres pozas adicionales, usadas para la crianza de peces.

Figura N° 2.43: Flujoograma de tratamiento con RAFA y filtro biológico aireado



Cuadro N° 2.13: Rango de eficiencia observada para el tratamiento de agua residual con RAFA y filtro biológico aireado.

Parámetro	DESAGÜE	PRELIMINAR Y PRIMARIO	REACTOR ANAEROBIO Retiene:	TRAT. SECUNDARIO FILTRO PERCOLADOR Retiene:	Valor Efluente	Posibilidad de Reuso
DBO:	400-250 mg/l	15% 340-225	55%-75% Sale: 165-120 mg/l	83%-95% 30-10 mg/L	10 a 25 mg/L	Ok
TSS	150-190 mg/L	30% 80-120 mg/L	50-60% 50-85 mg/L	70-95% <30 mg/L	20 a 30 mg/L	Ok
CF	10 ⁸ -10 ⁷ NMP/100ml	-	90% 10 ⁷ -10 ⁶ NMP/100ml	0-2 Log. De Magnitud 10 ⁷ -10 ⁵ NMP/100ml	10 ⁷ -10 ⁵ NMP/100ml	Desinfección o Lagunas

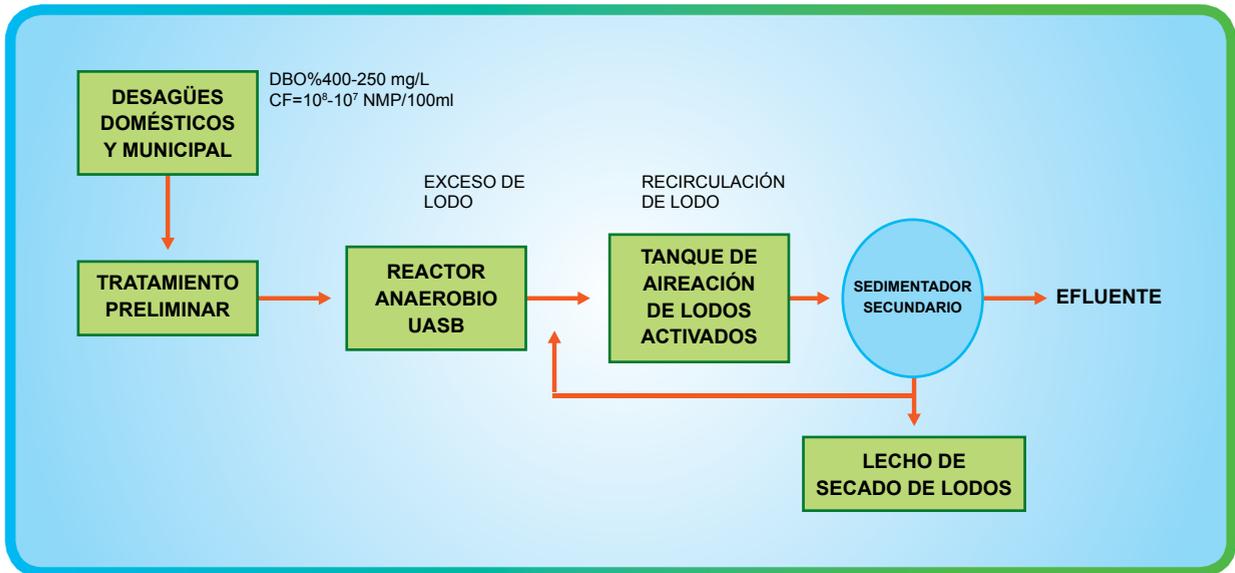
b. RAFA + Sistema de tratamiento con lodos activados

Precedido de un reactor anaerobio de manto de lodos como el RAFA, el tratamiento por lodos activados puede reducir el tamaño del tanque de

aireación y por ende su requerimiento de energía eléctrica por consumo de oxígeno. Experimentos desarrollados en un programa de investigación del Brasil utilizando sistema de lodo activado como postratamiento demostró lo siguiente:



Figura N° 2.44: Flujoograma de tratamiento empleando RAFA y lodos activados.



Cuadro N° 2.14

Parámetro	DESAGÜE	PRELIMINAR Y PRIMARIO	REACTOR ANAEROBIO Retiene:	TRAT. SECUNDARIO Retiene:	Valor Efluente	Posibilidad de Reuso
DBO:	400-250 mg/l	15% 340-225	55%-75% Sale: 165-120 mg/l	70%-95% 30-10 mg/L	10 a 30 mg/L	Ok
TSS	150-190 mg/L	30% 80-120 mg/L	50-60% 50-85 mg/L	70-95% <30 mg/L	20 a 30 mg/L	Ok
CF	10 ⁸ -10 ⁷ NMP/100ml	-	90% 10 ⁷ -10 ⁶ NMP/100ml	0-2 Log. De Magnitud 10 ⁷ -10 ⁵ NMP/100ml	10 ⁷ -10 ⁵ NMP/100ml	Desinfección o Lagunas

En cuanto a la remoción en concentraciones de fósforo o nitrógeno, se observó que la desnitrificación biológica no se obtiene en un lodo activado posterior a un reactor UASB. En los sistemas aeróbicos la eliminación de N y P se obtiene con una proporción N/DOQ < 0.08 y una proporción P/DOQ < 0.03, y en los sistemas pos UASB estas relaciones no son factibles. En realidad, debido a la alta eliminación de substratos orgánicos en el reactor UASB (más del 65 por ciento), y prácticamente ninguna eliminación de N y P, el efluente del UASB presenta proporciones altas de N/ COD y P/COD, por encima de los valores generalmente obtenidos en los sistemas aeróbicos. Lo que se hace ante ello es tratar solamente parte del caudal en el UASB (típicamente no más del 50 por ciento). El resto se deja fluir directamente hacia la unidad de aireación del sistema de lodos activados.

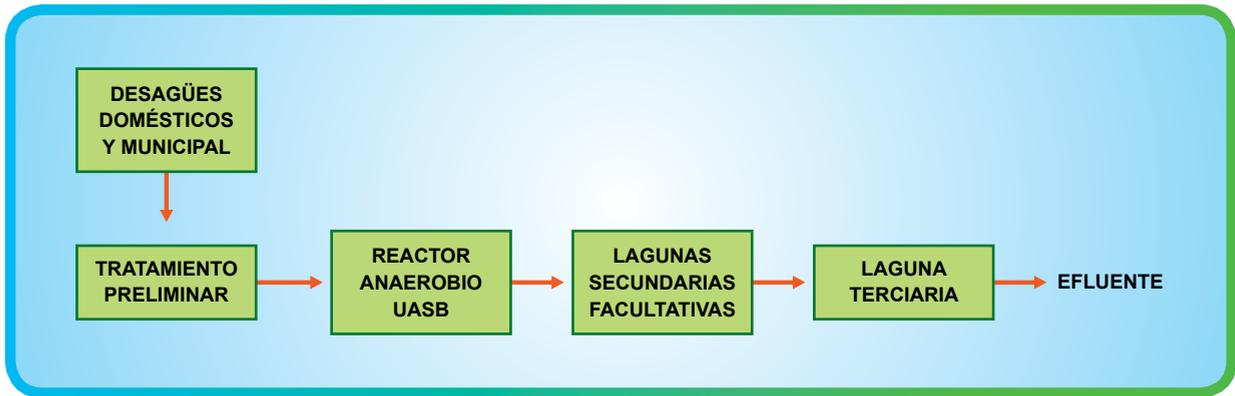
Aun cuando los niveles de remoción en nutrientes no es significativo, el UASB presentará algunas ventajas, ya que podrá recibir el lodo activado/lodo en exceso y disminuir la cantidad de energía requerida por el reactor aeróbico, así como una reducción notoria en la producción de lodos.

c. RAFA + Sistema de tratamiento con lagunas

La inclusión del RAFA como parte del sistema de tratamiento de una batería de lagunas, permitirá reducir la extensión de terreno requerido por éstas, ya que la carga orgánica será reducida con mayor eficiencia en la primera etapa del proceso (tratamiento anaerobio), siendo el efluente menos concentrado, aplicado con baja carga al conjunto de procesos posteriores. La figura y cuadros dados a continuación muestran los resultados para el agua residual de las características antes dadas.



Figura N° 2.45: Flujo de tratamiento empleando RAFA y lagunas facultativas secundarias y terciarias



Cuadro N° 2.15: Rango de eficiencias de sistemas de tratamiento empleando RAFA y lagunas facultativas

Parámetro	DESAGÜE	PRELIMINAR Y PRIMARIO	REACTOR ANAEROBIO Retiene:	TRAT. SECUNDARIO Lagunas Retiene:	Valor Efluente	Posibilidad de Reuso
DBO:	400-250 mg/l	15% 340-225	55%-75% Sale: 165-120 mg/l	70%-95% 30-10 mg/L	10 a 30 mg/L	Ok
TSS	150-190 mg/L	30% 80-120 mg/L	50-60% 50-85 mg/L	70-95% <30 mg/L	20 a 30 mg/L	Ok
CF	10 ⁸ -10 ⁷ NMP/100ml	-	90% 10 ⁷ -10 ⁶ NMP/100ml	0-2 Log. De Magnitud 10 ⁷ -10 ⁶ NMP/100ml	10 ⁴ -10 ² NMP/100ml	Podría requerir desinfección o Laguna de Pulimento

*para el reuso de aguas
residuales tratadas*

2.6.1. EL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS

El manejo racional de los recursos hídricos en el Perú presenta dificultades, debido a la escasa disponibilidad y a la baja calidad de las aguas, originadas por la competencia de las actividades, que las derrochan y contaminan. Esas aguas contaminadas se descargan a los cuerpos receptores, que luego son utilizados como fuentes de agua para bebida y para el riego de los productos agrícolas, o terminan en áreas destinadas a la recreación, tales como las playas, incrementando el riesgo de enfermedades infecciosas, especialmente en los grupos más vulnerables.

Paradójicamente, el Perú fue uno de los primeros países latinoamericanos que logró experiencias exitosas en el uso de las aguas residuales domésticas para el desarrollo de áreas verdes productivas y recreativas en el desierto costero. El Proyecto de San Juan de Miraflores, implementado desde 1964, constituyó un modelo internacional para tratar esta agua a bajo costo y aprovecharla



Figura N° 2.46: El aprovechamiento del agua residual con adecuado tratamiento es una necesidad imperativa en el manejo y aprovechamiento racional de los recursos hídricos y el cuidado del medio ambiente.

en cultivos agrícolas, piscícolas y forestales, que permitieron desarrollar 600 hectáreas en el desierto del sur de Lima. Luego le siguieron muchos proyectos en Tacna, Piura, Chiclayo, Trujillo e Ica, entre otros que, juntos, sobrepasan las 5,000 hectáreas agrícolas regadas con aguas residuales, aunque una quinta parte se realiza con agua sin tratar.



Figura N° 2.47: Complejo Bioecológico de San Juan de Miraflores.



Figura N° 2.48: Uso del efluente de la planta de tratamiento de Ginebra (Colombia) en el riego de caña de azúcar.

2.6.1.1. El concepto de reutilización

Entre el año 2000 y 2003, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo del Canadá (IDRC) ejecutaron una de las investigaciones de mayor envergadura acerca del manejo del agua residual doméstica en la Región Latinoamericana. En esta investigación, denominada “Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial”, participaron catorce países. Su tarea consistió en analizar las experiencias de manejo de las aguas residuales, recomendar estrategias para el diseño e implementación de sistemas que integren el tratamiento y el uso productivo de las aguas residuales, e identificar nuevas oportunidades de intervención en esta región.

Las experiencias sistematizadas a través de este proyecto han permitido desarrollar un modelo de gestión para integrar el tratamiento al uso productivo de las aguas residuales domésticas, utilizando tecnologías de bajo costo y orientadas principalmente a remover los organismos patógenos para proteger la salud pública, en lugar de remover materia orgánica y nutrientes que sí son aprovechados por la agricultura o las áreas verdes.

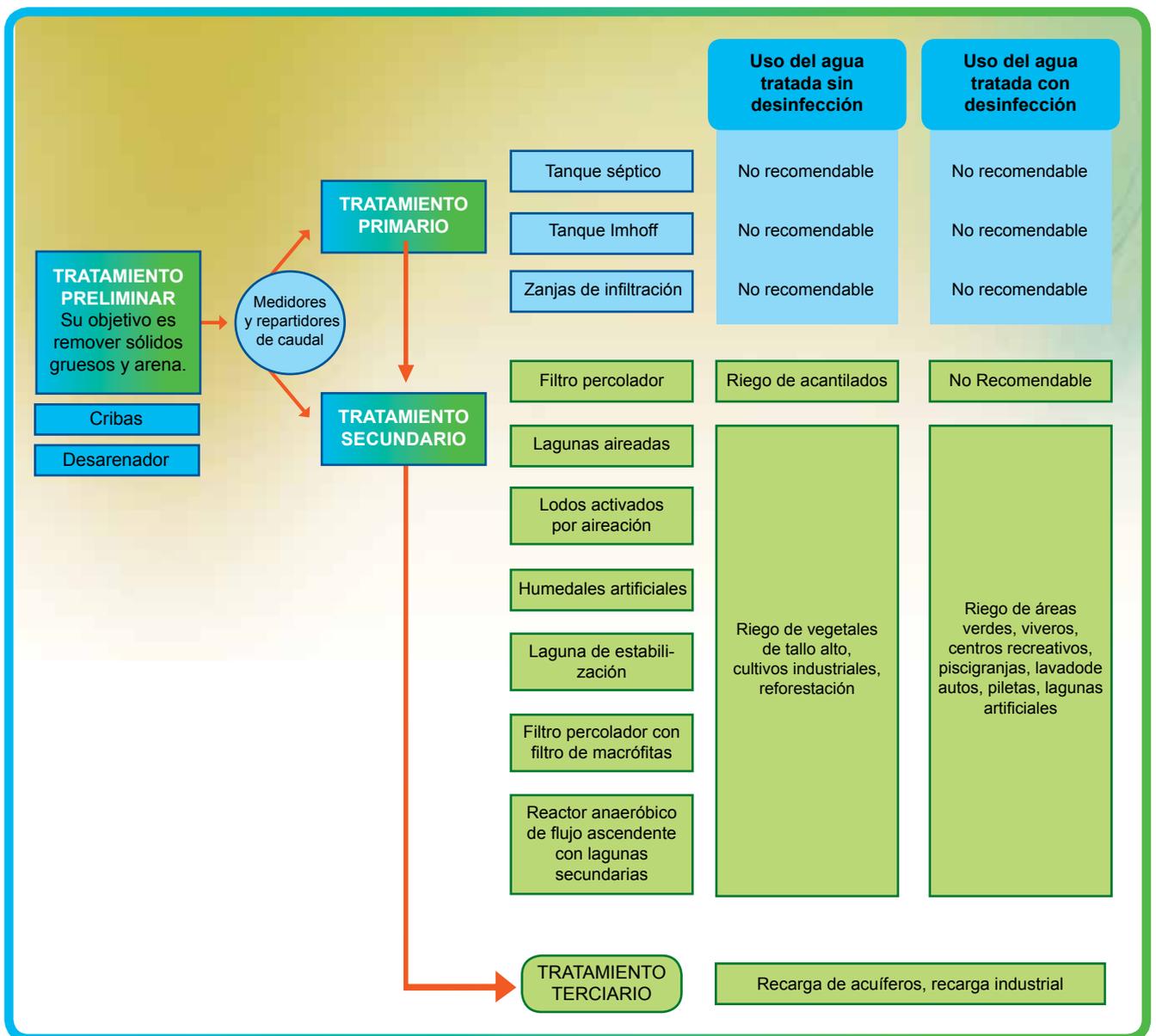
Se resaltó que las lagunas de estabilización han constituido la tecnología más confiable para lograr este objetivo, además de requerir sólo el 20% de la inversión y el 10% de los costos de operación que otras opciones tecnológicas demandan.

El modelo indica que el uso de estas aguas en actividades como la forestación, que son menos exigentes en calidad sanitaria, permitiría reducir aún más el costo del tratamiento. Además, el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas en el riego agrícola significa reducir y hasta eliminar las descargas que generan impactos negativos en el ambiente. El modelo de gestión incorpora el tratamiento y uso del agua residual a la gestión eficiente de los recursos hídricos en una cuenca. La integración del tratamiento al uso agrícola permite controlar un incremento significativo de las tarifas, cuando en éstas se incorpore el costo del tratamiento, garantizando así una mayor sostenibilidad del servicio. Por último, la aceptación de este modelo implica que la comunidad asuma la responsabilidad de tratar sus aguas residuales con tecnología apropiada, valorando beneficios como la protección de la salud y el ambiente, y la generación de empleo y de alimentos de calidad. Toda la experiencia acumulada a nivel nacional e internacional permite asegurar que las aguas residuales tratadas pueden

ser bien aprovechadas en el riego de áreas verdes productivas y recreativas. Por tanto, debe ser el sustento del desarrollo y mantenimiento de las áreas verdes municipales (parques y jardines) y privadas (colegios, clubes y cementerios), así como de entornos ecológicos que contribuyan a la

protección ambiental de las ciudades y a la lucha contra la desertificación y el calentamiento global. En el cuadro 2.16 se muestran los sistemas de tratamiento de las aguas servidas que describe el presente manual y los posibles usos de los efluentes de dichos sistemas.

Cuadro N° 2.16: Flujograma de tecnologías de tratamiento de aguas residuales y potencialidades de reuso.



2.6.1.2. Casos prácticos del reuso de agua residual tratada para la creación de áreas verdes urbanas

El proyecto global “Manejo Sostenible del Agua para Mejorar la Salud de las Ciudades del Mañana” (SWITCH) muestra un inventario de las experiencias de uso de aguas residuales en Lima Metropolitana*. De los 37 casos identificados, el 59% han destinado el reuso del agua tratada para actividades tales como creación de áreas verdes, campos deportivos y parques públicos, que se desarrollan principalmente en el ámbito intraurbano. Más del 70% del agua utilizada en dichas áreas se enfocan en la actividad forestal, creación de bosques o arborización de parques y bermas de avenidas, mientras que el 30% se utiliza para el riego de cobertura vegetal como el grass o pasto americano. Las principales especies recomendadas para las áreas verdes recreativas son los ficus y molles, que están ganando preferencia en los últimos años, por ser especies

que se adaptan mejor que los eucaliptos a las condiciones climáticas y a las características de los suelos de Lima. Los molles muestran un excelente crecimiento en las zonas más áridas. Igualmente, el uso de la campanilla (*Ipomoea purpureosa*) para cubrir las laderas de acantilados como la Costa Verde, en la ciudad de Lima, ha dado buen resultado. Ver figura 2.49.

Este proyecto también permitió comprobar que los altos costos demandados por el riego de las áreas verdes con agua potable han determinado que algunas instituciones decidan tratar y usar las aguas residuales locales para reducir los costos significativamente.

Una forma de evaluar los beneficios económicos del uso de las aguas residuales tratadas en el riego de las áreas verdes es a través del ahorro económico, producto del reemplazo del agua potable que tradicionalmente se ha utilizado.



Figura N° 2.49: Acantilado de la Costa Verde y del parque María Reiche, regados con efluentes de la planta de tratamiento de filtros percoladores de Miraflores.

*Moscoso, Julio y Alfaro, Tomás. 2008.



Cuadro N° 2.17: Ahorro en el gasto de agua para riego de los casos estudiados

Caso	Tecnología de tratamiento	Tarifa del agua potable (US \$/ m ³)	Costo del agua tratada (US \$/ m ³)	Diferencia de costo (US \$/ m ³)	Volumen anual gastado (US \$/ m ³)	Ahorro	
						(US \$/ año)	%
Avenida Universitaria	Lodos activados	0.72	0.69	0.03	55,176	1,682	4.23
Pucusana	Lagunas de estabilización	0.72	0.22	0.50	15,600	7,792	69.37
Oasis de Villa	Humedales artificiales	0.72	0.46	0.26	3,532	911	35.83
Miraflores (Costa Verde)	Filtros percoladores	0.93	0.32	0.61	22,072	13,531	65.92
Colegio La Inmaculada	Lagunas de estabilización	1.75	0.47	1.28	142,500	182,144	73.04
Parque 26	Lagunas aireadas	0.72	0.59	0.13	518,393	65,072	17.43



Figura N° 2.50: Lagunas del Parque Zonal Huáscar, Villa El Salvador, Lima.

Como se puede observar en el cuadro N° 2.17, el ahorro por costo de agua fluctúa, según la tecnología utilizada para el tratamiento, entre el 4 y 73%, respecto de la tarifa de agua potable de SEDAPAL aplicada. Las cifras indican que en todos los casos se logra un beneficio, demostrando que las aguas residuales tratadas constituyen una estrategia eficaz para reemplazar el uso actual de agua potable en el riego de las áreas verdes.

Una exigencia básica es que los parques y jardines se rieguen con aguas residuales tratadas y que tengan menos de 1,000 coliformes fecales por 100 ml. Esto significa que los sistemas de tratamiento deben lograr remover de 4 a 5 unidades logarítmicas de coliformes fecales, empleando sistemas como lodos activados, humedales artificiales y filtros percoladores con filtros de macrófitas que tengan desinfección final, o lagunas de estabilización con más de 18 días de periodo de retención, en el caso de Lima. De igual forma, el agua requiere estar libre de helmintos y protozoos, que son parásitos humanos. En virtud de esto, los sistemas de tratamiento deben ser capaces de remover de 2 a 3 unidades logarítmicas de tales organismos.

Estos sistemas pueden ser las lagunas de estabilización con periodos de retención mayores a 10 días y lodos activados con desinfección u otros. Teniendo en cuenta que el 98% de los parásitos pertenecen al grupo de los protozoos, se recomienda que todas las plantas de tratamiento implementen dispositivos hidráulicos que eviten la salida del efluente por rebose. Es necesario indicar que los sistemas de riego por gravedad (inundación y surcos), utilizados actualmente en las experiencias con aguas residuales tratadas, deben ser reemplazados por sistemas de riego tecnificado (goteo y otros), que logran un uso más eficiente del agua. En el caso de riego por aspersión en parques y jardines, éste debe realizarse en horas de baja circulación peatonal,

para evitar posibles impactos en la salud. Se debe promover también el uso de las aguas residuales tratadas y desinfectadas en el riego de las áreas verdes, para sustituir los fertilizantes químicos por la materia orgánica que éstas aportan, mejorando así la fertilidad y la retención de agua en los suelos arenosos típicos de las zonas áridas como Lima y otras de la costa peruana.

Asimismo, las plantas de tratamiento deben mejorar sus sistemas de operación y mantenimiento, para reducir los olores desagradables, principal motivo de reclamo de los vecinos. Para tal efecto, se pueden valer de la implementación de una cobertura tipo invernadero y una barrera forestal. Ambos métodos contribuyen eficientemente a evitar el traslado de los olores por el viento a los parques y viviendas aledañas. Es necesario también lograr un manejo adecuado de los sólidos recolectados dentro de la planta. Además, se debe poner en marcha campañas de desratización y fumigación. Paralelamente, se debe sensibilizar a la ciudadanía acerca de las ventajas y riesgos del uso de las aguas residuales domésticas, a fin de lograr la aceptación de esta práctica como una alternativa eficiente y de menor costo para mantener las áreas verdes de la ciudad.



Figura N° 2.51: Riego de áreas verdes con aguas residuales tratadas y desinfectadas.



Figura N° 2.52: Vivero de plantas ornamentales y árboles ubicado en la Av. Ayacucho en el distrito de Surco.

2.6.1.3. El desarrollo de áreas verdes multipropósito con aguas residuales tratadas

Las nuevas áreas verdes municipales podrían ser implementadas en espacios actualmente ociosos y desperdiciado, para que brinden una oportunidad a la población vecina, para que participe en el desarrollo de un área verde productiva y recreativa, en lugar de mantener un espacio propenso al vertimiento de basura y al riesgo de asaltos y pandillajes.

Estas áreas verdes, según el objetivo que se desea, deben ser regadas con aguas residuales tratadas y desinfectadas, o provenientes de un tratamiento terciario, de tal forma que brinde toda la seguridad del caso. Además deberán ser aprobados por la comuna y diseñadas de acuerdo al tamaño, dimensiones y las características específicas de cada terreno y conformado, si fuera posible, por los siguientes componentes:

- Área forestal y viveros.
- Estanques de peces y otros ambientes acuáticos.
- Jardines y caminos de paseo.
- Área paisajística.
- Centros recreativos.



Figura N° 2.53: Vivero ubicado en el distrito de Villa El Salvador.

• Área forestal y viveros

Las áreas forestales pueden ser ubicados o distribuidas en bermas centrales, parques, áreas bajo redes eléctricas de alta tensión, u otros espacios abandonados. Las especies arbóreas pueden ser implementadas básicamente en perímetros para proteger las actividades internas y evitar impactos en la zona residencial vecina. Se debe preferir especies de crecimiento vertical y de tallo alto, plantas aromáticas, medicinales y ornamentales de alto valor económico. Ver figuras 2.53 y 2.54.



Figura N° 2.54: Aguas residuales tratadas para forestación y creación de zonas recreativas. Vista lateral del parque Húascar en Villa el Salvador.

• Jardines y caminos de paseo

Los espacios disponibles entre los componentes antes citados permiten desarrollar una ruta de paseo con jardines de gras, flores y arbustos, y caminos rústicos de tierra y grava. También se debe prever la instalación de pequeños puentes de madera en los pases del sistema de canales de riego. Estas áreas deben brindar facilidades para el esparcimiento de la población local. Ver figura 2.55



Figura N° 2.55: Vivero ubicado en el distrito de Villa El Salvador.

• Estanques de peces y otros ambientes acuáticos

Pueden construirse estanques para la crianza de peces, a fin de generar una producción orientada al autoabastecimiento y la venta local de pescado. Estos ambientes productivos deben ser diseñados en forma artística para cumplir con un rol paisajístico en forma simultánea. También estos ambientes podrían ser utilizados para la crianza de patos. De ser posible se debe implementar otros ambientes recreativos, como piletas decorativas y viveros acuáticos para la primera etapa de crianza de los peces en la época invernal.

- **Área paisajística**

Es una zona especialmente orientada a crear un entorno paisajístico de calidad, basado en una combinación de flores y el diseño de un riachuelo artificial artístico. Este objetivo no limita el que las flores se puedan constituir en una producción comercial regular. Ver figura 2.57.



Figura N° 2.56: Vista de parques en San Borja, Lima.



Figura N° 2.57: Diseño paisajístico con lagunas. Parque Zonal Huáscar en Villa El Salvador, Lima.

- **Centros recreativos**

Espacios libres donde se combinan actividades productivas y recreativas, donde se genera demanda de ambientes para oficinas, baños, auditorios, tiendas y almacenes. También, se puede incluir servicios de comida para consumir los productos generados en el mismo módulo, mediante la construcción de pequeños restaurantes rústicos y con mesas al aire libre. Ver figuras 2.58 y 2.59.



Figura N° 2.58: Zona recreacional en un centro educativo.



Figura N° 2.59: Parque Zonal Huáscar, ubicado en el distrito de Villa El Salvador, Lima.



2.6.1.4. Reuso de aguas residuales tratadas para riego en la agricultura periurbana

Una de las experiencias más antiguas e importantes se generó en 1964, con la implementación de una serie de lagunas para tratar 200 L/s de aguas residuales en San Juan de Miraflores, y que luego permitió el desarrollo de más de 600 hectáreas de bosques, campos agrícolas y estanques piscícolas en las zonas desérticas del Sur de Lima. Ver figura 2.60. Los

pobladores de esa zona, provenientes del campo y con tradición de agricultores, se posesionaron de las tierras aledañas e iniciaron una importante experiencia de agricultura regada con estas aguas. La experiencia luego se extendió hasta Villa El Salvador, con el apoyo técnico del Programa de Protección Ambiental y Ecología Urbana del Ministerio de Vivienda y Construcción (MVCS). Igualmente, motivó la creación del Parque Zonal Huayna Cápac, que actualmente permite esparcimiento para la población del sur de Lima.



Figura N° 2.60: Planta de tratamiento de aguas servidas de San Juan de Miraflores.

Actualmente, en Lima, el 88% de los casos de la actividad productiva se realiza en el ámbito periurbano, quedando claro que el uso de las aguas residuales está más difundido en el riego de cultivos agrícolas ubicados en estas áreas, donde es posible manejar este recurso con mayor facilidad y aceptación. Las experiencias de uso de aguas residuales tratadas desarrolladas en Lima desde hace más de 10 años, permiten recomendar la implementación de actividades productivas como el cultivo de forraje (chala, pasto elefante y alfalfa), árboles frutales (olivos, pecanos, naranjos, chirimoyos, paltos, limoneros e higueras), tara, tuna para producir cochinilla, bambú y viveros de plantas ornamentales y forestales.

Otra importante experiencia de uso agrícola de aguas residuales en el Perú se viene desarrollando desde 1974, en la zona de COPARE en Tacna, donde se construyó la primera planta de tratamiento de aguas residuales y que luego permitió la habilitación de 400 hectáreas eriazas para la actividad agrícola. Ya desde 1975 los agricultores reportaban incrementos del 20 al



Figura N° 2.61: El uso de infraestructura complementaria para el aprovechamiento de las aguas residuales, apropiadamente tratadas en riego, representa las acciones complementarias de un proyecto integral de gestión de recursos hídricos, especialmente en zonas áridas.





100% de su producción agrícola, cuando regaban con aguas residuales, en comparación con los cultivos tradicionales que usaban aguas de río y fertilizantes químicos. Así, por ejemplo, la producción de avena forraje se elevó de 12 a 22 TM/ha y la de tomate de 18 a 35 TM/ha.

Al transcurrir los años, la ciudad de Tacna tuvo un desarrollo urbano acelerado, que rodeó de edificaciones a la zona de COPARE. Por tal razón, en 1996 se implementó una nueva planta de tratamiento en la zona de Magollo, ubicada a 15 km de la primera planta. Esta planta ocupa casi 25 hectáreas de lagunas de estabilización y tiene capacidad para tratar 180 L/s, que abastecen 1,952 hectáreas*. En 2001, el grueso de la superficie agrícola regada con aguas residuales en Tacna estaba destinada a cultivos temporales, dentro de los que destacaba el cultivo de maíz chala (58%), alfalfa (11%) y otros como el ají y ají pprika (8%). Los cultivos perennes ocupaban 8% de la superficie total y las áreas forestales paisajistas otro 15%. En suma, queda claro que esta actividad tiene capacidad para seguir creciendo, conforme se incrementa el agua residual de la ciudad.

2.6.1.5. El desarrollo de entornos ecológicos en la zona desértica costera

La creación de entornos ecológicos es una necesidad imperante en las ciudades, ya que permiten reducir la contaminación del aire. En los centros poblados ubicados en zonas áridas pueden constituir una cortina de viento para proteger la salud de la población de las bajas temperaturas y el exceso de partículas de polvo en el aire. El uso de las aguas residuales para la producción forestal tiene la ventaja de un menor requerimiento de cantidad y calidad de agua. En términos prácticos, significa que el costo del tratamiento puede ser menor cuando se apliquen los efluentes de las plantas de tratamiento en el riego de áreas forestales.

En el Perú existe una rica y variada experiencia del desarrollo de entornos ecológicos, especialmente en la costa desértica. Nuevamente es el caso del entorno verde de Tacna, implementado por la Municipalidad Provincial y que ya ha concluido las dos primeras etapas, con 110 hectáreas regadas con los efluentes de la planta de lagunas de estabilización de Magollo. Esta rea verde está constituida por árboles forestales y frutales, que han mostrado un desarrollo impresionante en sólo 10 años y que aseguran un manejo sostenible con la producción esperada. Actualmente se está creando campos deportivos, un jardín botánico y un zoológico.

*ATDR-Tacna. 2006 Estadísticas de la Administración Técnica del Distrito de Riego del 2006.



2.7

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

para el tratamiento de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales

Los lodos se generan a partir de la sedimentación de los sólidos en los procesos de tratamiento de las aguas residuales. Deben ser retirados periódicamente, para asegurar la eficiencia del sistema, y tratados antes de su disposición final. Este tratamiento sirve para reducir la presencia de patógenos, para eliminar los olores desagradables y reducir o eliminar su potencial de putrefacción. Entre las alternativas existentes se ha considerado 3 tratamientos por su bajo costo y aprovechamiento seguro como insumo para otras actividades productivas.

2.7.1. DIGESTIÓN ANAERÓBICA

La digestión anaeróbica es un proceso bacteriano que se realiza en ausencia del oxígeno. En este proceso, la materia contenida en los lodos se convierte biológicamente, bajo condiciones anaerobias, en metano (CH_4) y dióxido de

carbono (CO_2). Este proceso se lleva a cabo en un reactor herméticamente cerrado, de forma continua e intermitente, y la materia permanece en su interior durante periodos variables. Un ejemplo de este sistema es el biodigestor tipo chino, que se muestra en la figura 2.62

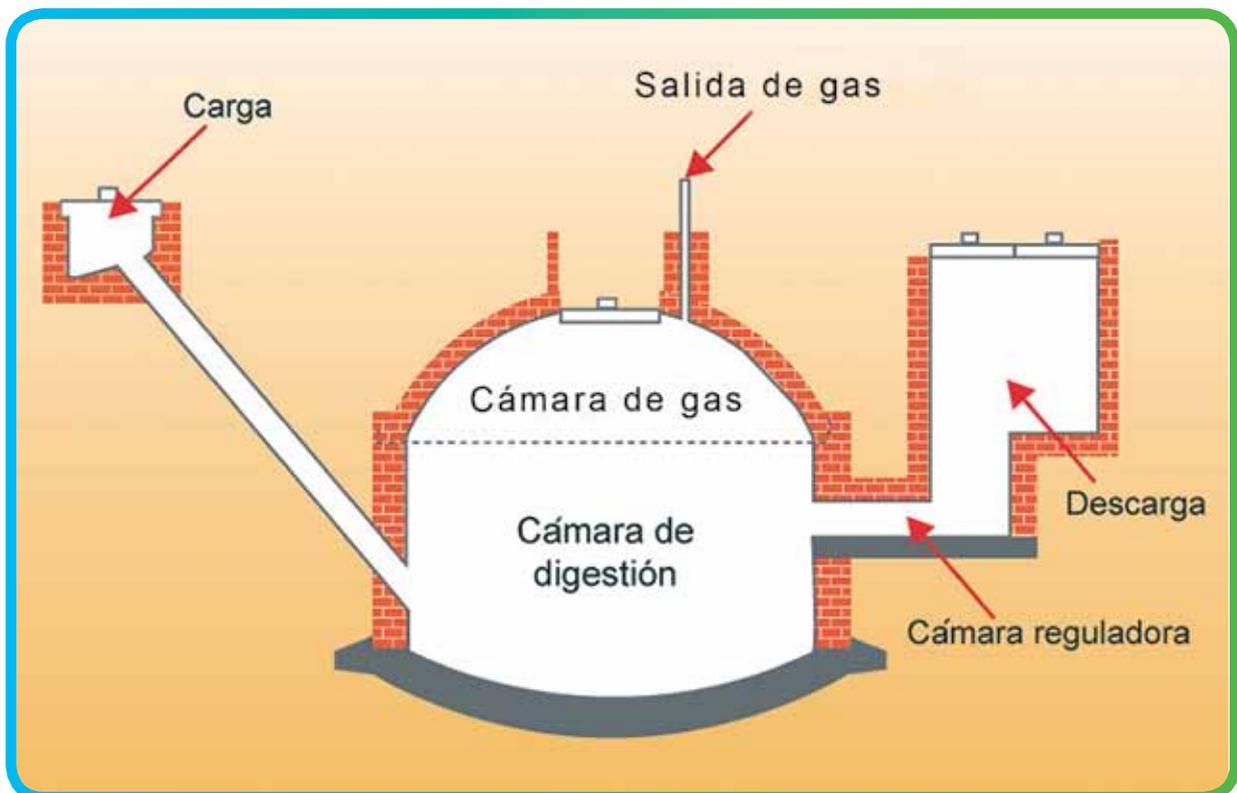


Figura N° 2.62: Biodigestor tipo chino.



DIGESTIÓN ANAERÓBICA	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
No requiere de energía eléctrica.	El costo de inversión es relativamente alto. La tecnología aún es poco aplicada en nuestro país.
Por tratarse de un sistema herméticamente cerrado puede ser empleado en zonas inundables.	
Se requiere poco espacio para su implementación.	
Se genera gas metano, el cual puede usarse como fuente de calor o energía.	
Durante el proceso se obtiene también un líquido llamado biol, el cual es usado como fertilizante foliar. Los lodos que resultan al final del proceso son estables y se usan como abono.	Necesita temperaturas exteriores por encima de los 10°C.
Recomendaciones	
El sistema puede funcionar en zonas de temperaturas más bajas de 10°C, siempre que parte del gas producido sea empleado en calentar la infraestructura del biodigestor, o éste se encuentre debajo de la superficie (suelo).	
Para acelerar el proceso de digestión se puede agregar material orgánico vegetal.	
Para tener un proceso eficiente se debe controlar frecuentemente la temperatura y el Ph.	

2.7.2. LECHO DE SECADO

En el lecho de secado, los lodos que suelen tener alto contenido de agua, son vertidos a una superficie acondicionada, donde son expuestos al ambiente. Este procedimiento permite que con el tiempo se de la deshidratación y pérdida de agua contenida en las partículas solidas, formándose una capa superior dura, que inicialmente impide la evaporación de agua en las capas inferiores. Sin embargo, progresivamente, los lodos empiezan a formar grietas, facilitando el secado de las capas inferiores, hasta formar lodos secos, que facilitan su disposición final. En zonas de alta precipitación es recomendable añadir a la estructura un techo de protección que evite que el agua de lluvia ingrese al área destinada al lecho de secado.

Es preferible contar con dos o más lechos de secado para facilitar el mantenimiento y la operación del sistema. Esta estructura, construida habitualmente de mampostería, concreto o de tierra (con diques), debe tener una profundidad útil de 50 a 60 cm. y un ancho entre 3 y 6 m. Está compuesta de una capa de ladrillos colocados sobre el medio filtrante, que

está constituido por arena fina, una capa inferior de grava y drenes de tubos de 100 mm de diámetro, tal como se aprecia en la figura 2.64. Asimismo, deberá proveer de una tubería de descarga con su respectiva válvula de compuerta y losa de fondo, para impedir la destrucción del lecho.



Figura N° 2.63: Vista panorámica de unidades de lecho de secado, empleado en el tratamiento de lodos procedentes de reactores y sedimentadores de una planta de tratamiento.



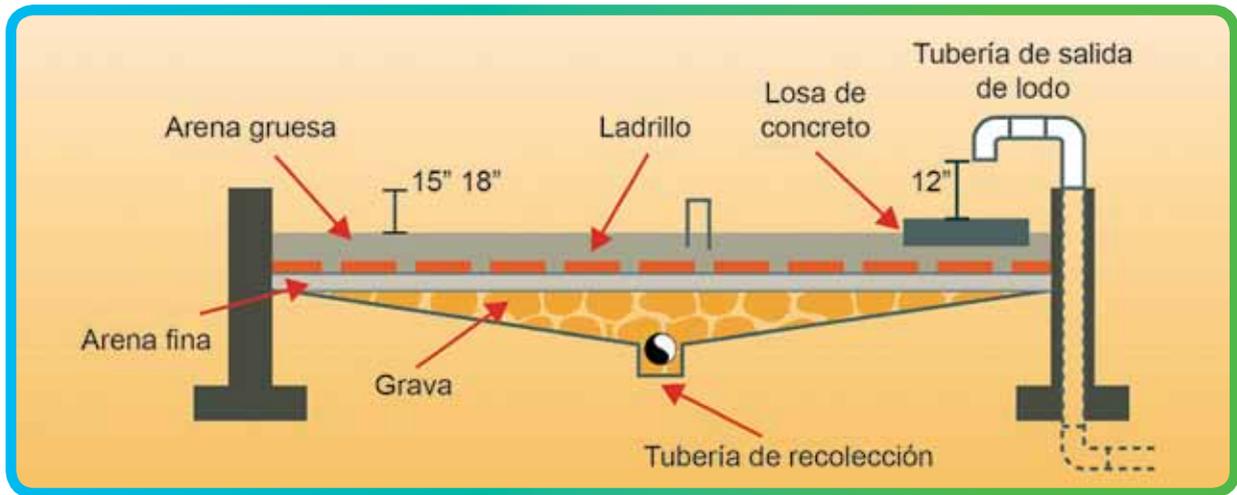


Figura N° 2.64: Corte transversal de una planta de lecho de secado.

LECHO DE SECADO	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
No requiere de energía.	Requiere de extensiones de terreno adicionales dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales.
Es un proceso muy sencillo.	Es un sistema muy dependiente de las condiciones climáticas.
Los lodos, una vez estabilizados, pueden aprovecharse para compostaje.	En zonas de inundaciones, si no están bien diseñados, pueden generar problemas.
Recomendaciones	
Se debe considerar medidas de seguridad ante la presencia de los lodos frescos, para evitar proliferación de vectores.	
El área donde se ubique el lecho de secado debe ser lo más ventilada posible.	
Los líquidos que se generen en el proceso de secado deben ser retornados al sistema de tratamiento.	

2.7.3. COMPOSTAJE

El compostaje es un proceso aeróbico que implica mezclar los sólidos de las aguas residuales con fuentes de carbón, tales como aserrín, paja o virutas de madera. En presencia del oxígeno, las bacterias digieren los sólidos de las aguas residuales y la fuente agregada del carbón y, al hacer eso, producen una cantidad grande de calor. Este proceso de digestión puede dar lugar a la destrucción de microorganismos y de parásitos causantes de enfermedades, a un nivel suficiente como para permitir que los sólidos digeridos que resultan sean aplicados con seguridad a la tierra

usada como material de la enmienda del suelo (con las ventajas similares a la turba) o usada para la agricultura como fertilizante, a condición de que los niveles de componentes tóxicos sean suficientemente bajos. En la figura 2.65 se puede apreciar las rumas de material orgánico, en cuyo interior se encuentran los lodos, así como otros ingredientes necesarios para la elaboración de compost.





Figura N° 2.65:
Montículos o camas de materia orgánica, en proceso de fermentación.

COMPOSTAJE	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Es un proceso aireado, por lo que no se debe generar malos olores.	En zonas de muy baja temperatura, el proceso requerirá de mayor tiempo para descomponer la materia orgánica.
Requiere de poco espacio para su manejo.	Si el proceso es mal dirigido, puede generar olores desagradables.
En ambientes calurosos el proceso de fermentación es más rápido.	El líquido resultante, si no es recepcionado, puede contaminar el ambiente.
Recomendaciones	
Se puede usar tanto lodo seco, como húmedo, al momento de elaborar el compost. Esto dependerá de la facilidad de transporte al área donde se encuentren las camas.	
Si la zona tiene un clima frío, se puede proteger el ambiente de las camas bajo estructuras de madera, concreto, u otro material.	