

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS MEDIANTE HUMEDALES DE FLUJO
VERTICAL EN EL CONDOMINIO “LOS PARQUES DE
CARABAYLLO II”**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

FRANK ROY VILCA FELIX

Lima- Perú

2015

DEDICATORIA:

A Norma y Danilo, mis padres

A Danny y Jhon, mis hermanos

A Cecilia, mi esposa

A la FIC UNI, mi alma mater.

	Pág.
RESUMEN	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS	7
INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO I: AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, MARCO LEGAL Y ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO	9
1.1 AGUAS RESIDUALES	9
1.1.1 Contaminantes del agua	9
1.1.2 Fuentes de aguas residuales	11
1.1.3 Clasificación de aguas domesticas	12
1.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	13
1.2.1 Objetivos de los sistemas de tratamiento	13
1.2.2 Tipos de procesos de tratamiento	14
1.2.3 Criterios para la selección de los procesos de tratamiento	16
1.3 CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y NORMAS DE CALIDAD DE AGUAS	19
1.3.1 Caracterización de aguas residuales	19
1.3.2 Normas de calidad de las aguas	25
1.3.3 Calidad del agua para reüso	26
CAPÍTULO II: HUMEDALES ARTIFICIALES	27
2.1 DEFINICIÓN	27
2.2 VENTAJAS Y LIMITACIONES	27
2.3 CLASIFICACIÓN	28
2.3.1 Sistemas de flujo libre o superficial	29
2.3.2 Sistemas de flujo subsuperficial	29
2.4 MECANISMOS DE DEPURACIÓN	33
2.5. COMPONENTES DEL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL	35
2.5.1 Cubeta de confinamiento y membrana impermeabilizante	35
2.5.2 Relleno, sustrato o lecho filtrante	36

2.5.3 Vegetación: Plantas acuáticas emergentes	37
2.5.4 Estructuras de entrada y salida	38
2.6. PRETRATAMIENTO DEL ALFUENTE	38
2.7. CRITERIOS DE DISEÑO DE H.A. DE FLUJO SUBSUPERFICIAL	39
2.7.1 Predimensionamiento de la profundidad	40
2.7.2 Selección del sustrato	40
2.7.3 Cálculo de área necesaria	42
2.7.4 Profundidad	42
2.7.5 Pendiente	44
2.7.7 Vegetación emergente	44
 CAPÍTULO III : DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES PARA EL CONDOMINIO “LOS PARQUES DE CARABAYLLO II”	
3.1 EL PROYECTO “LOS PARQUES DE CARABAYLLO II”	45
3.1.1 Ubicación geográfica	45
3.1.2 Clima	46
3.1.3 Datos del estudio de suelos	47
3.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CONDOMINIO	49
3.3 TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES	51
3.4 CARACTERIZACIÓN DEL AFLUENTE	52
3.5 EFICIENCIA REQUERIDA	53
3.6 ESTUDIO DE LA DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO	54
3.6.1 Volumen de agua para riego	54
3.6.2 Caudal para riego	54
3.7 ESTUDIO DE LA OFERTA DE AGUAS GRISES	54
3.7.1 Dotación de diseño	54
3.7.2 Población de diseño	55
3.7.3 Caudal de diseño	55
3.8 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PROYECTADO	55
3.8.1 Cisterna de pretratamiento	56
3.8.2 Humedal de flujo vertical	57
3.8.3 Vegetación	57
3.9 MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PROYECTADO	59

3.9.1 Diseño del sistema colector y conductor	59
3.9.2 Diseño del humedal de flujo vertical	62
3.9.3 Instalaciones del humedal	65
CAPÍTULO IV : PROCESO CONSTRUCTIVO DEL HUMEDAL	67
4.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS	67
4.2 CONSTRUCCIÓN DE LA CUBETA	67
4.3 IMPERMEABILIZACIÓN DE LA CUBETA	68
4.4 RELLENO DEL SUSTRATO	69
4.5 ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y SALIDA	71
4.6 PLANTACIÓN DE VEGETACIÓN	72
CAPÍTULO V : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
5.1 CONCLUSIONES	74
5.2 RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	76
ANEXOS	77
ANEXO 1: MARCO LEGAL NACIONAL PARA LA CALIDAD DEL AGUA	
ANEXO 2: IDENTIFICACIÓN DE REQUISITOS LEGALES	
ANEXO 3: PLANOS DE DETALLE DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	

RESUMEN

En el presente Informe de Suficiencia se realiza el diseño del humedal de flujo vertical donde se llevará a cabo el tratamiento de aguas grises del condominio "Los Parques de Carabaylo II", proyecto de desarrollo inmobiliario que abarca la construcción de 532 departamentos distribuidos en 10 edificios multifamiliares.

Debido a su ubicación, alejada de las redes de agua potable de Sedapal, el proyecto ha optado por abastecer de agua potable al condominio exclusivamente con agua de pozos operados y administrados por la inmobiliaria. El proceso de extracción y potabilización de esta agua subterránea tiene un costo elevado y no justifica su uso para el riego de los parques y jardines del condominio; por este motivo, se plantea contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales de bajo costo que permita reutilizar las aguas grises de las duchas para el riego de las áreas verdes del condominio.

Para desarrollar el contenido del presente informe se recurrió a la recopilación e investigación de bibliografía básica como: normas, manuales, informes, expedientes y toda aquella información relevante.

El diseño se fundamenta en las investigaciones realizadas sobre aguas residuales, sistemas de tratamiento, humedales artificiales, experiencias de este tipo de tratamiento y normativa aplicable.

De acuerdo a las características de diseño del condominio y la normativa del rubro, se determina la oferta de afluente y demanda y calidad del efluente para el riego de las áreas verdes del condominio. Finalmente en base a la investigación realizada se determinarán las dimensiones y el sustrato del humedal artificial propuesto por el proyecto.

En resumen, el presente Informe de Suficiencia presenta los criterios generales a considerar para el diseño de humedales artificiales que son una alternativa de tratamiento de aguas grises más económica y amigable.

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N°1.1: Criterios para la selección de un adecuado sistema de tratamiento	17
Cuadro N°1.2: Diferencias entre ECA y LMP	26
Cuadro N°2.1: Ventajas y desventajas del uso de los humedales artificiales	28
Cuadro N°2.2: Porcentajes de remoción de los tipos de humedales de flujo subsuperficial	32
Cuadro N°2.3: Mecanismos de depuración de los humedales artificiales	33
Cuadro N°2.4: Distribución recomendada para las capas del sustrato del humedal	41
Cuadro N°2.5: Valores típicos de sustratos de humedales artificiales	42
Cuadro N°3.1: Dimensiones útiles de Sedimentador – Cámara de Bombeo	60
Cuadro N°3.2: Tasa de acumulación de lodos en Litros	60
Cuadro N°3.3: Espesor de capas para el sustrato	63

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura N°1.1: Componentes de las aguas domésticas	12
Figura N°1.2: Clasificación de sólidos totales presentes en al agua residual	21
Figura N°1.3: Compuestos generados en las fases del ciclo del nitrógeno	23
Figura N°2.1: Corte longitudinal de Humedal con sistema de flujo superficial	29
Figura N°2.2: Corte longitudinal de Humedal con sistema de flujo horizontal	30
Figura N°2.3: Corte longitudinal de Humedal con sistema de flujo vertical	31
Figura N°2.4: Mecanismos de remoción de contaminantes	34
Figura N°2.5: Ciclo de nitrificación en Humedales	34
Figura N°2.6: Componentes de un humedal artificial	35

Figura N°2.7: Esquema de tanque séptico con trampa de grasa	39
Figura N°2.8: Huso para tamaño de grano del sustrato	41
Figura N°3.1: Ubicación del proyecto “Los Parques de Carabayllo II”	45
Figura N°3.2: Vista en planta de departamento típico	50
Figura N°3.3: Vista arquitectónica del condominio	51
Figura N°3.4: Esquema del sistema de tratamiento	56
Figura N°3.5: Humedal artificial de la primera etapa del proyecto “Los Parques de Carabayllo”	58
Figura N°3.6: Dimensiones finales del tanque séptico	62
Figura N°3.7: Vista de planta del Humedal artificial de flujo vertical proyectado	66
Figura N°4.1: Encofrado del parapeto de la cubeta	68
Figura N°4.2: Colocación de geomembrana	69
Figura N°4.3: Colocación de geotextil de protección	69
Figura N°4.4: Colocación del confitillo de base	70
Figura N°4.5: Colocación del sustrato de arena	70
Figura N°4.6: Colocación de la estructura de salida	71
Figura N°4.7: Colocación de la estructura de entrada	71
Figura N°4.8: Colocación de bancos de madera	72
Figura N°4.9: Vista del humedal terminado	73

LISTA DE SÍMBOLOS

Ah:	Área del humedal
c:	Cohesión
Ca:	Concentración de DBO5 en el afluente (mg/L)
Ce:	Concentración de DBO5 en el efluente (mg/L)
H:	Profundidad del humedal
Kt:	Constante de biodegradación primaria
Ka:	Coefficiente de empuje de tierras activo
Kp:	Coefficiente de empuje de tierras pasivo
Ko:	Coefficiente de empuje de tierras en reposo
n:	Porosidad del substrato
PR:	Tiempo promedio de retención hidráulica, en días
Qd:	Caudal promedio diario (m ³ /d)
T:	Temperatura de operación del sistema (°C)
Vi:	Velocidad de infiltración (m/d)
γ:	Peso volumétrico
Ø:	Ángulo de fricción interna

LISTA DE SIGLAS

ABS o LAS:	Sulfonato de alquibenceno, agente tensoactivo del detergente
DBO:	Demanda bioquímica de oxígeno
DN75:	Diámetro nominal de 75mm
DQO:	Demanda química de oxígeno
ECA:	Estándares de calidad ambiental
HDPE:	Polietileno de alta densidad
LAS:	Formulación basada en sulfonatos alquilo lineales
LMP:	Límites máximos permisibles
OD:	Oxígeno disuelto
PVC:	Policloruro de vinilo
S.A.A.M.:	Sustancias activas de azul metileno
SS:	Sólidos suspendidos
SST:	Sólidos suspendidos totales
UV:	Rayos ultravioleta

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de varios proyectos inmobiliarios en la periferia de Lima ha traído consigo la necesidad de expandir las redes de agua potable y alcantarillado. Pero en muchas ocasiones esta expansión no es factible para las entidades prestadoras de servicio, por lo que las empresas inmobiliarias asumen la construcción y operación de dichas redes. Y como consecuencia se tiene el encarecimiento de dichos proyectos, para la construcción y posterior adquisición.

En el proyecto inmobiliario “Los Parques de Carabaylo II” se ha optado por aprovechar las aguas subterráneas para el abastecimiento de agua potable; y además, el tratamiento parcial de las aguas residuales domésticas para su reutilización para el riego de áreas verdes mediante un sistema de bajo costo.

Dentro de la literatura, existen diferentes experiencias desarrolladas utilizando los llamados “humedales artificiales”, que son sistemas caracterizados por su bajo costo de construcción y mantenimiento. Estos sistemas funcionan mediante el tratamiento biológico, y la eficiencia del tratamiento se asegura con un diseño en base al comportamiento hidráulico del agua a tratar.

El objetivo del presente informe es mostrar los criterios y desarrollar el diseño del humedal de flujo vertical propuesto para el proyecto inmobiliario. Para ello, el presente Informe de Suficiencia se divide en cinco capítulos:

El primer capítulo se centra en la caracterización de las aguas residuales y las alternativas de sistemas de tratamiento de estas aguas. En el segundo capítulo se estudian las características principales de los humedales artificiales y los criterios de diseño recomendados por autores con experiencias anteriores. Seguidamente, en el tercer capítulo se describen las características y parámetros del proyecto inmobiliario para desarrollar el diseño y cálculo del sistema de tratamiento propuesto. En el capítulo cuatro se describe el proceso constructivo del humedal en el proyecto. Finalmente, en el quinto capítulo se especifican las conclusiones y recomendaciones propias del desarrollo del informe. Además en el Anexo 1 se presenta información sistematizada del marco legal nacional aplicable al tratamiento de aguas residuales.

CAPÍTULO I: AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, MARCO LEGAL Y ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

1.1 AGUAS RESIDUALES

Se puede definir a las aguas residuales como el producto de las aguas que han sido usadas en diferentes ámbitos, tanto domésticos, industriales y comunitarios. En dicho proceso de usos las aguas han sido alteradas en su cantidad y calidad y finalmente captadas y conducidas por un sistema de alcantarillado.

El hombre para sobrevivir necesita abastecerse de agua, y usarlo en diferentes ámbitos, modificando su estado inicial para después devolverlo al medio natural. Sin embargo, antes de ello es necesario descontaminar las aguas residuales mediante una serie de procesos que han sido estudiados y desarrollados en las últimas décadas.

1.1.1 Contaminantes del agua

Son aquellas impurezas presentes en el agua residual en diferentes proporciones, de acuerdo al uso anterior dado al agua, que pueden encontrarse en suspensión o en solución. Estos componentes y sus concentraciones son determinados mediante análisis de laboratorio, a dicho proceso se le denomina **caracterización del agua**.

Los contaminantes del agua se clasifican en: químicos, físicos y biológicos.

a) Contaminantes químicos

Los contaminantes químicos comprenden tanto productos orgánicos como inorgánicos. El aspecto fundamental de la contaminación por compuestos orgánicos es la disminución del oxígeno disuelto como resultante de la utilización de éste en el proceso de degradación biológica de dichos compuestos.

En el caso de la contaminación derivada de la presencia de compuestos inorgánicos el resultado más importante es su posible efecto tóxico más que la disminución de oxígeno.

Los iones de metales pesados, tóxicos para los seres humanos, son importantes contaminantes de este grupo. Se presentan generalmente en aguas residuales provenientes de las industrias. Estos contaminantes pueden incluir arsénico, cobre, cinc, níquel, cromo, plomo, cadmio, etc. Su presencia aunque en pequeñas cantidades pueden causar grandes problemas de salubridad o contaminación.

b) Contaminantes físicos

Algunos contaminantes físicos incluyen cambios térmicos, para el caso de aguas provenientes de enfriadores en las industrias; el color; la turbidez, originada por la descarga de aguas que contienen sólidos en suspensión; espumas, originadas por el uso de detergentes; y radioactividad.

Estos contaminantes, por lo general se detectan durante una visita de campo, y son un indicativo de la cantidad de procesos que se requerían para el tratamiento de descontaminación de dichas aguas. Regularmente se usa la acción de la gravedad para remover esta clase de contaminantes del agua.

c) Contaminantes biológicos

Los contaminantes biológicos hacen referencia a microorganismos (hongos, bacterias y virus) que, en su mayoría, representan un riesgo a la salubridad pública ya que son responsables de la transmisión de enfermedades, algunas de ellas: alergias, hepatitis, cólera y tifoidea. La presencia de estos contaminantes en el agua obedece principalmente a la presencia de materia fecal y demás sustancias orgánicas susceptibles a descomposición.

En términos de sus requerimientos de oxígeno, se acostumbra clasificar a los microorganismos como aeróbicos y anaeróbicos. Los aeróbicos son

aquellos que requieren oxígeno libre para obtener la energía necesaria para sus procesos vitales, mientras que los anaeróbicos son aquellos que pueden utilizar fuentes de oxígeno diferentes a la del oxígeno libre.

1.1.2 Fuentes de aguas residuales

De acuerdo a su procedencia o uso anterior, podemos señalar tres fuentes fundamentales de aguas residuales: domésticas, industriales y pluviales.

a) Aguas domésticas

Líquidos provenientes de las viviendas, edificios multifamiliares y negocios pequeños. Los desechos biológicos presentan la mayor incidencia entre los demás contaminantes de estas aguas.

b) Aguas industriales

Aguas provenientes de la industria manufacturera. Con mayor incidencia de componentes químicos los cuales pueden ser tóxicos.

c) Aguas pluviales

Aguas provenientes de las lluvias, los cuales arrastran una gran cantidad de sedimentos. Estas aguas son captadas en las viviendas y las calles, conducidas mediante un sistema de alcantarillado.

Por otro lado, se conoce como **aguas residuales municipales**, a los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad, este alcantarillado puede conducir aguas domésticas, aguas industriales y aguas pluviales.

El sistema de alcantarillado de las ciudades puede ser combinado o separado. El sistema combinado conduce aguas domésticas, municipales y pluviales combinadas; mientras que el sistema de alcantarillado separado no conduce las aguas pluviales junto con las aguas domésticas e industriales.

1.1.3 Clasificación de aguas domésticas

De acuerdo al uso y la procedencia dentro de la vivienda o edificio podemos clasificar a las aguas domésticas como sigue:

a) Aguas grises

Aguas residuales provenientes de tinajas, duchas, lavaderos y lavatorios que aportan contaminantes orgánicos, sólidos suspendidos, fósforo, grasas, coliformes fecales, excluyendo las de los inodoros.

b) Aguas negras

Aguas residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y la orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.

De acuerdo a Romero Rojas (2000), la cantidad de agua de consumo doméstico no debería superar los 200 L/hab.día con un promedio de 60 a 70% para baño, lavandería, cocina y aseo; y un 30% para el uso del inodoro.

Siendo la materia fecal y orina componentes orgánicos putrescibles, se concluye que el agua residual doméstica es ofensiva para la salubridad y el equilibrio del recurso hídrico.

Todo lo mencionado se puede resumir de acuerdo al esquema siguiente:

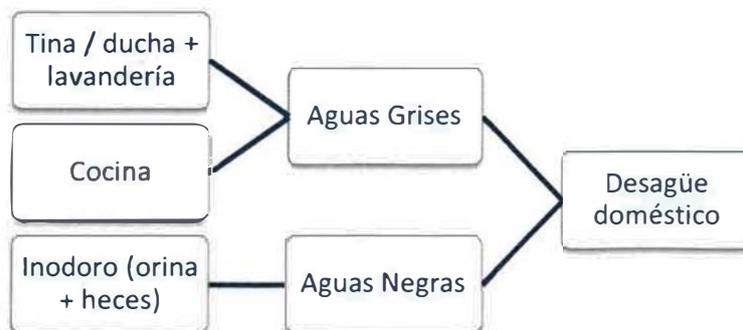


Figura N° 1.1.- Componentes de las aguas domésticas

Fuente: MSc. Ing. Yaya Beas, Curso de actualización de conocimientos - Lima 2014

1.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Se conoce como sistema de tratamiento al conjunto de procedimientos, procesos y técnicas que tienen como finalidad la remoción de todos los contaminantes del agua hasta por debajo de un límite máximo permisible en función al reúso o disposición final del agua tratada.

El agua residual cruda que ingrese al sistema de tratamiento o que ingrese a una etapa del tratamiento será denominada como afluente; y el agua resultante del sistema de tratamiento o alguna etapa será denominada efluente.

1.2.1 Objetivos de los sistemas de tratamiento

Los objetivos del tratamiento de aguas son proteger la salud, promover el bienestar de los individuos miembros de la sociedad y prevenir la contaminación del recurso hídrico y el suelo.

En la formulación, planeamiento y diseño de un sistema de tratamiento se pueden considerar objetivos diferentes, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos económicos y técnicos, así como los criterios establecidos para la descarga del efluente o el reúso que se le quiera dar.

En un desarrollo gradual de sistemas de tratamiento se puede considerar como objetivos iniciales principales del sistema de tratamiento, los siguientes:

- Remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- Remoción de sólidos suspendidos
- Remoción de patógenos

Posteriormente ha sido común agregar

- Remoción de nitrógeno y fósforo

Finalmente se involucra

- Remoción de contaminantes tóxicos (metales pesados, pesticidas, etc.)

Por lo tanto, la complejidad del sistema de tratamiento es función de los objetivos propuestos.

1.2.2 Tipos de procesos de tratamientos

Teniendo en cuenta el gran número de operaciones y procesos disponibles para tratamiento de aguas, es común hablar de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado.

a) Pretratamiento

El pretratamiento tiene como objetivo remover aquellos constituyentes que puedan causar dificultades de operación y mantenimiento en los procesos posteriores. Generalmente se aplican los siguientes procesos:

- Cribado o Desbrozo
- Separación de grasas y aceites
- Sedimentación

b) Tratamiento primario

El tratamiento primario se refiere a la remoción parcial de sólidos suspendidos, materia orgánica u organismos patógenos, mediante sedimentación u otros medios; y constituye un método para preparar el agua para el tratamiento secundario. Algunos de los métodos más utilizados son:

- Sedimentación
- Flotación
- Homogenización
- Neutralización

c) Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario convencional se usa principalmente para la remoción del DBO soluble y sólidos suspendidos e incluye, por ello, los procesos biológicos como:

- Lodos activos
- Aireación prolongada (procesos de oxidación total)
- Estabilización por contacto
- Lagunaje con aireación
- Estabilización por lagunaje
- Filtros biológicos (percoladores)
- Discos biológicos
- Tratamientos anaeróbicos: proceso de contactos, filtros (sumergidos)

d) Tratamiento terciario o avanzado

El tratamiento terciario y avanzado supone la necesidad de remover nutrientes para prevenir la eutrofización de las fuentes receptoras o de mejorarla calidad de un efluente secundario con el fin de adecuar el agua para su reúso.

El objetivo fundamental del tratamiento terciario es la eliminación de contaminantes que no se pudieron eliminar con los tratamientos biológicos convencionales. Entre las principales técnicas se cuenta:

- Microtamizado
- Filtración (lecho de arena, antracita, diatomea)
- Precipitación y coagulación
- Adsorción (carbón activado)
- Intercambio iónico
- Osmosis inversa
- Electrodiálisis
- Cloración y ozonización
- Proceso de reducción de nutrientes

El grado de tratamiento requerido para aguas residuales depende fundamentalmente de los límites de vertido del efluente o el reúso que se quiera dar.

1.2.3 Criterios para la selección de los procesos de tratamiento

La selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales, o de la combinación de ellos, depende principalmente de:

- a) Las características del agua cruda, ya que de acuerdo al grado de contaminación que tenga se podrán estimar los procesos físicos, químicos y biológicos que se requieran para remover dichos contaminantes.
- b) La calidad requerida del efluente, esto de acuerdo con las normas para el vertido o reúso del efluente; esto dará una idea a los diseñadores del grado de tratamiento que se debe alcanzar para el agua tratada.
- c) La disponibilidad del terreno, ya que todos los sistemas de tratamiento necesitan un área de emplazamiento para cada proceso que se requiera; es decir, a más procesos, más área de terreno necesaria.
- d) Los costos de construcción, definidos por la dificultad constructiva del sistema diseñado, el volumen o alcance a construir y al tiempo que se solicite para su ejecución.
- e) Los costos de operación y mantenimiento. De acuerdo a la sencillez o complejidad del sistema diseñado, se requerirá personal capacitado para su operación y mantenimiento preventivo y correctivo.
- f) La confiabilidad del sistema de tratamiento, basado en proyectos parecidos de parecida envergadura.

- g) La facilidad de optimización del proceso para satisfacer requerimientos futuros, el sistema diseñado debe poder fácilmente ser acoplable para hacer frente al crecimiento poblacional o industrial de una zona.

El determinante más importante en la selección del sistema de tratamiento lo constituyen la naturaleza residual del agua cruda y los requerimientos de uso o disposición del efluente.

Un sistema de tratamiento de aguas residuales incluye, desde su concepción hasta su operación, seis etapas principales:

- Caracterización del agua residual cruda
- Definición de las normas de vertimiento
- El diseño conceptual de los sistemas de tratamiento propuestos, incluyendo la selección de los procesos de cada sistema, parámetros de diseño y la comparación de costos de las alternativas propuestas
- Diseño detallado de la alternativa de costo mínimo
- Construcción
- Operación y mantenimiento

Metcalf y Eddy (1989) consideran los factores del cuadro 1.1 como los más importantes para la evaluación y selección de las operaciones y procesos unitarios de un sistema de tratamiento de aguas residuales, los cuales coinciden con los factores seleccionados comúnmente en la mayor parte de la literatura del tema.

Cuadro N° 1.1.- Criterios para la selección de un adecuado sistema de tratamiento

Factor	Comentario
Aplicabilidad del proceso	De debe evaluar la aplicabilidad del proceso con base en la experiencia o en plantas piloto
Aplicabilidad en el rango de caudales	El proceso seleccionado debe ser aplicable a todo el rango de caudales esperado en el periodo de diseño.
Aplicabilidad en la variabilidad del caudal	Se debe evaluar si el proceso resiste la variación de caudales o si requiere igualamiento

Características del afluente	La selección de las operaciones y procesos del sistema de tratamiento depende de las características del agua residual cruda
Características inhibidoras o no modificables	Se debe evaluar si existen sustancias inhibidoras de los procesos de tratamiento y la presencia de constituyentes que los procesos no van a modificar.
Restricciones de clima	La temperatura determina la tasa de reacción de los procesos biológicos y físico-químicos, así como la generación y dispersión de olores.
Cinética de reacción y tipo de reactor	El diseño de un proceso depende de la cinética de reacción y del tipo de reactor que se seleccione
Rendimiento	El rendimiento requerido depende de la calidad del efluente y debe satisfacer los requisitos legales.
Tratamiento de residuos	Se debe evaluar el tipo y cantidades de residuos sólidos, líquidos y gaseosos producidos.
Procesamiento de lodos	El tratamiento de lodos es un factor decisivo en la selección del sistema de tratamiento y debe mantenerse en un grado mínimo de requerimientos.
Restricciones ambientales	Factores ambientales como localización, viento, proximidad a áreas residenciales, olores, ruido, tráfico y estética, pueden limitar la aplicabilidad de un proceso de tratamiento
Requerimientos de sustancias químicas	Debe evaluarse la disponibilidad de los compuestos químicos necesarios, su almacenamiento y sus efectos.
Requerimientos de energía	En la selección de procesos con necesidades energéticas deben evaluarse los costos actuales y futuros de ellas.
Requisitos de personal	Hay que tener en cuenta la cantidad de recursos humanos requeridos, su capacidad técnica, su entrenamiento y su disponibilidad.
Requerimientos de operación	Se debe evaluar la facilidad y sencillez de la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento.
Confiabilidad	Se debe evaluar la confiabilidad del proceso a largo

	plazo, su resistencia a cargas choque, operación intermitente y su seguridad para proveer el efluente requerido.
Complejidad	Es preferible contar con procesos sencillos que no requieren personal con entrenamiento elaborado y que operan rutinariamente aún en condiciones adversas.
Compatibilidad	Los procesos y equipos seleccionados deben ser compatibles con los existentes o con los que en un futuro se adopten.
Disponibilidad del terreno	Preferiblemente, el terreno debe permitir el diseño actual y la expansión probable futura, así como la existencia de una zona de aislamiento adecuada.

Fuente: Tratamiento de aguas Residuales (Romero Rojas)

1.3 CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y NORMAS DE CALIDAD DE AGUAS

1.3.1 Caracterización de aguas residuales

Los contaminantes en las aguas residuales son normalmente una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos. Estas impurezas pueden encontrarse en solución o en suspensión.

La caracterización del agua tiene como objeto conocer sus atributos físicos, químicos y biológicos con el propósito de definir su aptitud para el uso humano, agrícola, industrial, recreacional o como recurso asimilatorio de descargas contaminantes.

Para establecer los **criterios de calidad** deberá realizarse la caracterización del agua, lo mismo que especificar los métodos usados para la determinación de la cantidad de sus contaminantes.

Los parámetros más usados para caracterizar el agua son:

a) Análisis físico del agua

- **Turbidez**

Es causada por partículas pequeñas suspendidas en el agua, de origen orgánico e inorgánico. La turbiedad protege a los microorganismos de la acción del cloro y de los desinfectantes y actúa como fuente alimentaria de los microorganismos.

- **Olor y sabor**

La determinación del olor y sabor en las aguas es útil para evaluar la calidad de la misma y su aceptabilidad por parte del consumidor, para controles de procesos en planta y para determinar en muchos casos la fuente de una posible contaminación.

- **Temperatura**

La determinación de la temperatura exacta es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que, el grado de saturación de oxígeno disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio se relacionan con la temperatura.

- **Sólidos**

Se define como sólidos a la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103°C. Los procedimientos usados en la determinación del contenido de sólidos son los métodos gravimétricos, donde se coloca la muestra a altas temperaturas para finalmente hallar las diferencias en peso de la muestra en cuestión.

- **Sólidos totales (ST, mg/L):** El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos en suspensión).
- **Sólidos en suspensión (SS, mg/L):** Estos sólidos en suspensión, que pueden removerse mediante sedimentación simple, son importantes en aguas residuales. Se determinan gravimétrica y volumétricamente.

- **Sólidos disueltos totales (STD, mg/l):** Son determinados directamente por la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos. El contenido de los sólidos disueltos en el agua depende principalmente de los carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y nitratos de calcio, magnesio, sodio y potasio.
- **Sólidos volátiles y sólidos fijos:** Esta determinación se suele hacer para determinar la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual. El procedimiento consiste en calcinar los residuos obtenidos de los ensayos de sólidos suspendidos y disueltos. La pérdida de peso se registra como sólidos volátiles y el residuo como sólidos fijos.

Se denomina **sólidos sedimentables** a los sólidos en suspensión que se sedimentarán, en condiciones tranquilas, por acción de la gravedad. La determinación se hace llenando un cono Imhoff de un litro de volumen y registrando el volumen del material sedimentado en el cono al cabo de una hora, en mL/L.

Podemos simplificar lo mencionado anteriormente mediante el siguiente esquema con porcentajes.

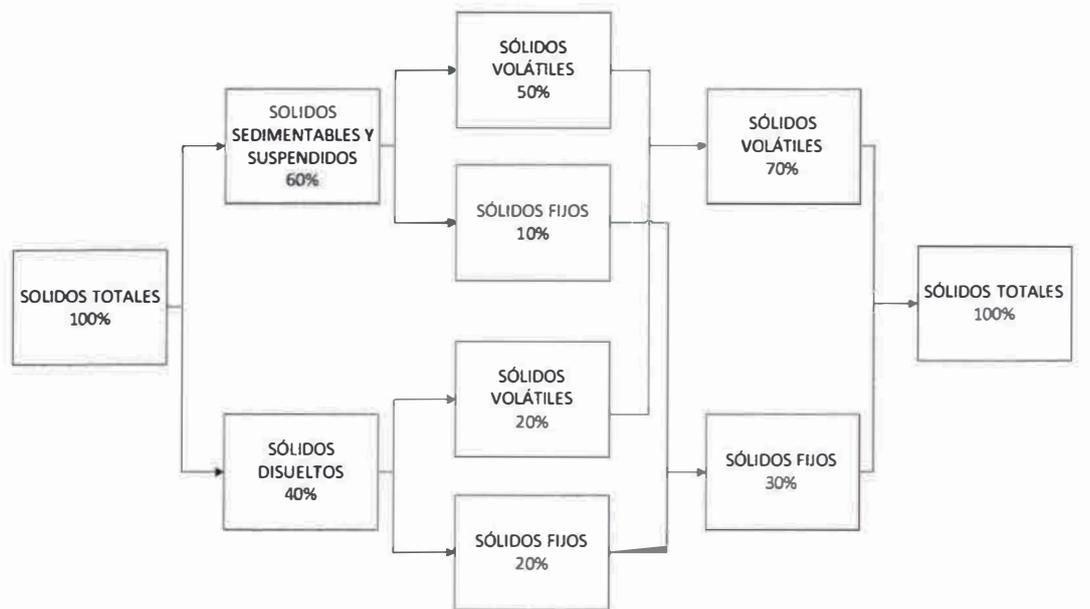


Figura 1.2.- Clasificación de sólidos totales presentes en al agua residual

Fuente: Elaboración propia

b) Análisis químico del agua

- **pH (alcalinidad o acidez)**

Parámetro ampliamente utilizado para visualizar la aptitud del agua para diferentes usos y tratamientos. Además conociendo el pH, es posible calcular la cantidad de CO₂ existente en el agua.

- **Dureza**

La dureza del agua (Ca+Mg) no tiene efectos perjudiciales para la salud y su remoción obedece a la necesidad económica de reducir el consumo de jabón y los depósitos de precipitados en artefactos de calentamiento de agua. Otros cationes importantes causantes de dureza pueden ser el hierro, el aluminio y el manganeso.

- **Grupo del Nitrógeno**

Los compuestos del nitrógeno son de gran interés para los ingenieros ambientales debido a su importancia en los procesos vitales de todas las plantas y animales. La química del nitrógeno es compleja a causa de diversos estados de valencia que puede asumir este elemento y el hecho de que los cambios en la valencia los pueden hacer organismos vivos. Para agregar más interés, los cambios de valencia efectuados por las bacterias pueden ser positivos o negativos, según si las condiciones son aeróbicas o anaeróbicas.

Las formas de más interés para el tratamiento de aguas son:

- Nitrógeno amoniacal
- Nitrógeno de nitritos
- Nitrógeno de nitratos
- Nitrógeno orgánico

Las relaciones existentes entre las distintas formas de compuestos del nitrógeno y los cambios que pueden ocurrir en la naturaleza están ilustradas en el diagrama del ciclo de nitrógeno, mostrado en la figura 1.3.

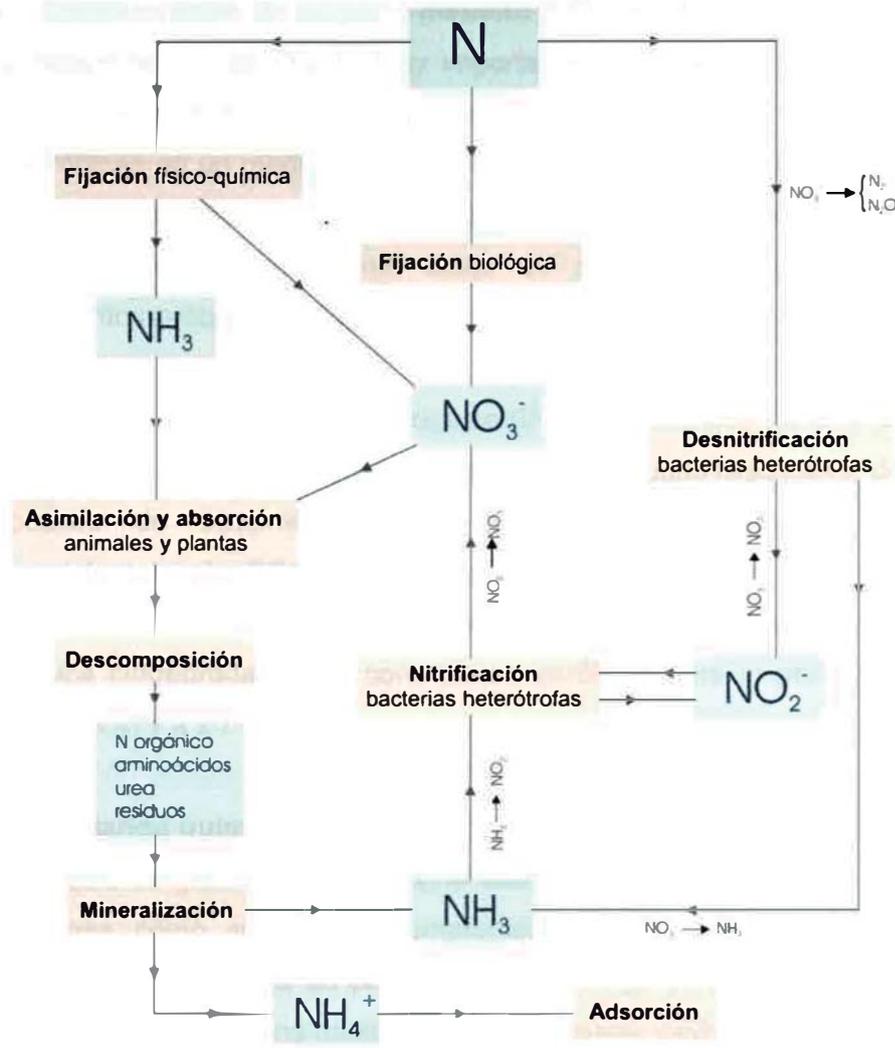


Figura 1.3.- Compuestos generados en las fases del ciclo del nitrógeno

Fuente: www.miliarium.com/Proyectos/Nitratos/Fuentes/Fuentes_Reservorios.asp

- **Grupo del Fósforo**

El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de las plantas y animales, pero un exceso de fósforo produce un desarrollo exorbitado de plantas, el cual es causa de condiciones inadecuadas para ciertos usos benéficos del agua.

El empleo de detergentes, los cuales contienen grandes cantidades de fósforo, ha aumentado el contenido de fosfatos en aguas residuales domésticas y ha contribuido al problema de incremento del mismo en las fuentes receptoras.

- **Concentración de oxígeno disuelto (OD, mg/L)**

La determinación de OD es muy importante en ingeniería ya que es el factor que determina la existencia de condiciones aeróbicas o anaeróbicas en un medio particular. La determinación de OD sirve como base para cuantificar la demanda bioquímica de oxígeno, aerobividad de los procesos de tratamiento, tasas de aireación en procesos de tratamiento aeróbico y grado de polución de los ríos.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Es un parámetro necesario en la evaluación de aguas residuales, de los procesos de tratamiento y de los efectos de contaminación. Esencialmente, la DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de 5 días (DBO₅) y a 20°C.

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Parámetro de gran importancia en la evaluación de aguas residuales, en ocasiones como sustituto o complemento de la DBO. La demanda química de oxígeno es un parámetro analítico de polución que mide el material orgánico en una muestra líquida mediante oxidación química.

- **Detergentes (SAAM)**

Compuestos también llamados surfactantes o agentes superficiales activos, usados como sustitutos del jabón, con un 20% a 30% de agente superficial activo (ABS o LAS) y 70 a 80% de un llenante. Se regulan como SAAM, sustancias activas de azul de metileno, para prevenir problemas de espumas, sabor, olor y eutrofización.

- **Grasas y aceites**

Se entiende por grasas y aceites el conjunto de sustancias pobremente solubles que se separan de la porción acuosa y flotan formando natas. Las grasas y los aceites son muy complicados de transportar en las tuberías de alcantarillado, reducen la capacidad de flujo de los conductos,

son difíciles de atacar biológicamente y generalmente se requiere su remoción en plantas de pretratamiento.

- **Concentración de productos tóxicos**

Los productos tóxicos hacen referencia a metales pesados provenientes, por lo general, de las aguas industriales. Dichos metales, en concentraciones apreciables, causan serios problemas como la inhibición del tratamiento biológico así como la disposición de lodos del sistema de tratamiento. Algunos de estos metales pesados son: arsénico, bario, cadmio, cianuro, cobre, cromo hexavalente, cromo total (cromo hexavalente + cromo trivalente), fluoruros, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, zinc.

c) Análisis bacteriológico del agua

El examen bacteriológico del agua usualmente involucra dos ensayos: la estimación del número de bacterias de acuerdo con el conteo total en placa y la determinación de la presencia o ausencia de miembros del grupo coliforme.

- **Grupo coliforme**

La secreción diaria de coliformes fecales por habitantes varía entre 125×10^9 y 400×10^9 . En aguas residuales la relación de organismos coliformes con organismos entéricos patógenos es del orden de $10^6/1$.

1.3.2 Normas de calidad de las aguas

La formulación de las normas de calidad del agua está a cargo de entidades nacionales, las cuales tienen como objetivo regular la descarga de las aguas residuales sobre fuentes superficiales y subsuperficiales.

Los criterios de calidad dependerán del reúso o vertimiento del efluente del agua. Las normas de calidad de aguas están basadas en los siguientes criterios:

- Estándares de calidad de las aguas superficiales.

- Normas de límites máximos permisibles (LMP) de vertidos.

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) y el Límite Máximo Permissible (LMP) son instrumentos de gestión ambiental que consisten en parámetros y obligaciones que buscan regular y proteger la salud pública y la calidad ambiental.

Cuadro N° 1.2.- Diferencias entre ECA y LMP

ECA	LMP
<p>Los ECA son indicadores de calidad ambiental, miden la concentración de parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el cuerpo receptor, que al exceder representan riesgo significativo de alteración de dicho cuerpo.</p> <p>La medición de un ECA se realiza directamente en los cuerpos receptores, es decir aguas arriba y abajo del punto de vertido.</p>	<p>Los LMP miden la concentración de parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en las emisiones, efluentes o descargas generadas por una actividad productiva (minería, hidrocarburos, electricidad, etc.), que al exceder causa daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Un LMP se mide en los puntos de emisión y vertimiento.</p>

Fuente: Elaboración propia

1.3.3 Calidad del agua para reúso

Cuando el impacto del crecimiento poblacional urbano es tan grande que agota los recursos hídricos superficiales o subterráneos, se hace necesario buscar fuentes adicionales sustitutivas, una de ellas es el agua residual recuperada.

En general, se reconocen las siguientes clases de reúso del agua:

- Reúso para consumo humano
- Reúso agrícola sobre cultivos alimenticios
- Reúso agrícola sobre cultivos no alimenticios
- Reúso recreacional
- Reúso industrial

CAPÍTULO II: HUMEDALES ARTIFICIALES

2.1 DEFINICIÓN

Son sistemas de tratamiento de aguas residuales de procesos biológicos, confinados mediante algún tipo de impermeabilización, que surgen a partir de la simulación de los mecanismos propios de los humedales naturales para la depuración de las aguas. En estos sistemas de tratamiento se combinan procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren al interactuar las aguas con el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmósfera, dando lugar a la aparición de procesos de sedimentación, filtración, adsorción, degradación biológica, fotosíntesis y toma de nutrientes por parte de la vegetación.

Los humedales artificiales tienen las siguientes características:

- Se basan en tratamientos físicos, químicos y biológicos naturales, que no requieren aporte extra de reactivos químicos.
- En lo que respecta a su funcionamiento como tratamiento biológico, se opera en condiciones anaerobias, facultativas y/o aerobias en las que el oxígeno se aporta de forma espontánea por transporte desde la atmósfera, lo que representa un ahorro importante de energía por prescindir de aireación con procedimientos mecánicos.
- Se requieren extensiones de terreno superiores a las de los sistemas convencionales, dadas la baja velocidad de degradación de la materia orgánica del agua.

2.2 VENTAJAS Y LIMITACIONES

En la siguiente tabla se especifican los aspectos que han motivado el creciente interés por esta tecnología y sus respectivas desventajas:

Cuadro N°2.1: Ventajas y desventajas del uso de humedales artificiales

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Eliminan de las aguas residuales un amplio espectro de contaminantes: materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos, metales pesados, etc. • Los costos de inversión, operación y mantenimiento son significativamente menores que los de los sistemas convencionales de tratamiento.. • Proporcionan un tratamiento secundario y/o terciario produciendo un agua reutilizable en muchos casos. • El aporte de oxígeno es espontáneo. • No generan fangos. • Aguantan bien las fluctuaciones de caudal o de carga contaminante. • Están bien integrados dentro del paisaje 	<ul style="list-style-type: none"> • En países con clima templado durante el invierno disminuye su efectividad de depuración, sobre todo en la eliminación de nitrógeno. • La eliminación fósforo es baja y disminuye con el tiempo. • Requieren grandes extensiones de terreno para alcanzar resultados satisfactorios. • No pueden ser alimentados directamente con aguas residuales de altas cargas orgánicas o de sólidos suspendidos. • Requieren pretratamientos para eliminar un exceso de sólidos suspendidos que podría provocar la obturación del lecho en poco tiempo.

Fuente: Elaboración propia

2.3 CLASIFICACIÓN

Los humedales artificiales se clasifican por el régimen del flujo del agua: humedal artificial de flujo superficial y humedal artificial de flujo subsuperficial. Los diferentes tipos de humedales artificiales pueden ser combinados entre sí (sistemas híbridos) con el fin de explotar las ventajas específicas de cada sistema.

2.3.1 Sistemas de flujo libre o superficial

Consisten en balsas de poca profundidad (0.1 a 0.6 m) construidas sobre el terreno con algún tipo de barrera que confine el sistema y evite filtraciones, que contienen un lecho de grava o arena para soportar las raíces de la vegetación emergente y a través de los cuales circula agua residual (figura 2.1).

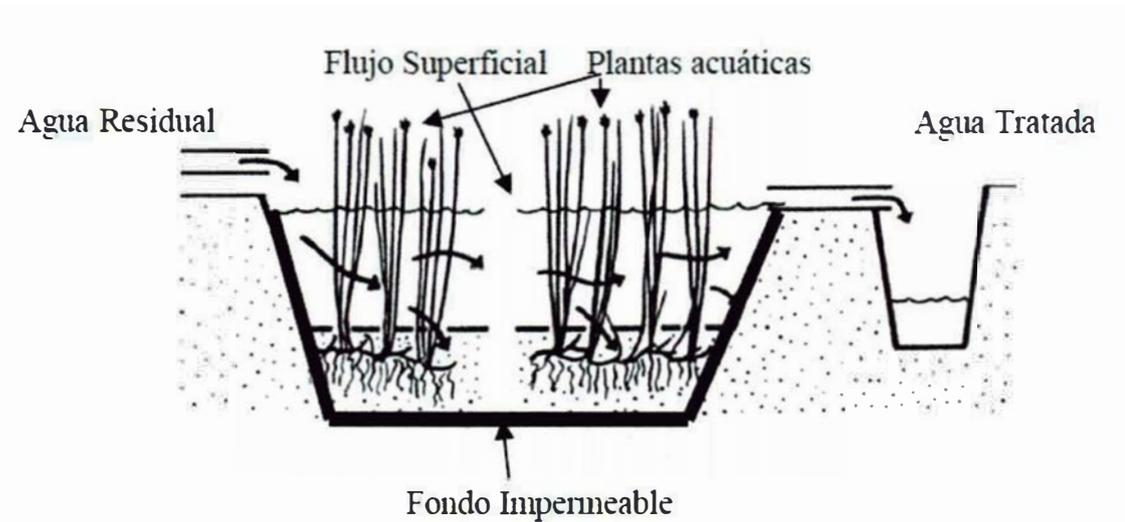


Figura N° 2.1: Corte longitudinal de Humedal con sistema de flujo superficial

Fuente: Noveno Congreso Nacional del Medio Ambiente, 2008.

La superficie de agua está expuesta a la atmósfera y la trayectoria del flujo es horizontal. Son utilizados principalmente para tratamientos terciarios y, en algunos casos, para secundarios.

El tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente.

2.3.2 Sistemas de flujo subsuperficial

El humedal artificial de flujo subsuperficial consiste igualmente en una balsa impermeabilizada del exterior, que se encuentra rellena de un material sólido poroso ocupando casi toda su profundidad. El agua residual circula a través del medio poroso y siempre por debajo de la superficie del mismo. Además de tener medio soporte o sustrato, estos sistemas funcionan con vegetación emergente, cuyo papel es fundamental para su buen funcionamiento.

Durante el paso del agua residual a través del lecho poroso, se produce un contacto con zonas aerobias, anóxicas y anaerobias. Las zonas aeróbicas se encuentran muy cercanas a la superficie y alrededor de las raíces y rizomas de las plantas que liberan oxígeno en el sustrato. Los procesos anóxicos se dan en condiciones de ausencia de oxígeno cuando el nitrato (NO_3) es utilizado por ciertas bacterias que son capaces de degradar la materia orgánica.

Los microorganismos que degradan la materia orgánica se encuentran formando una biopelícula o "biofilm" alrededor de la grava y de las raíces de las plantas. Por lo tanto, cuanto mayor sea la superficie susceptible de ser ocupada por la biopelícula, mayor será la densidad de microorganismos y mayor el rendimiento del sistema.

a) Humedales de Flujo Subsuperficial Horizontal

Trabajan con una alimentación continua realizada a lo largo de uno de los laterales. La captación del agua depurada se realiza en la parte inferior del lado opuesto al de la alimentación. Como se ve en la figura 2.2, el nivel de agua es regulado con una tubería flexible (ajustable) manteniendo en todo momento el lecho saturado de agua.

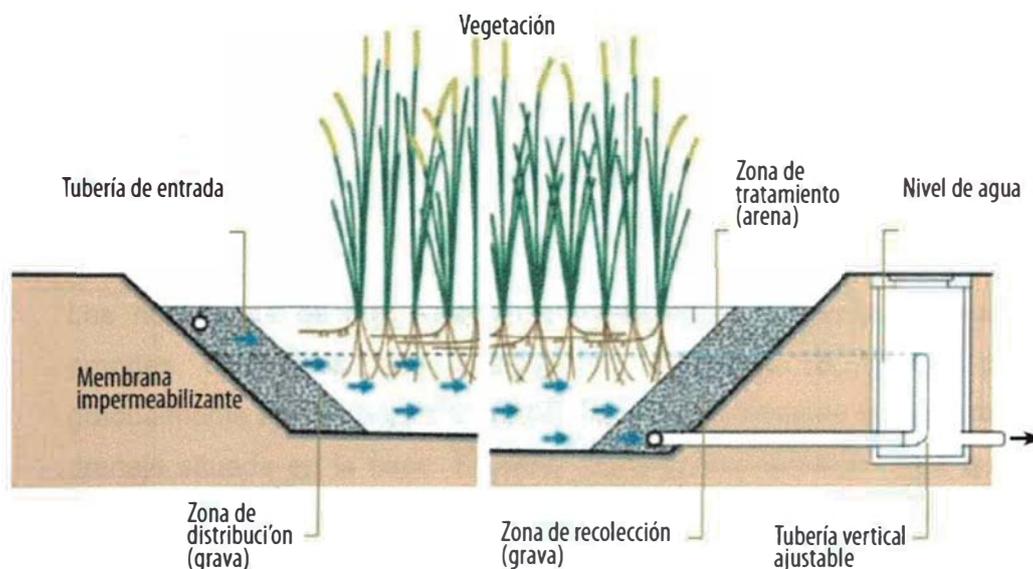


Figura N°2.2: Corte longitudinal de Humedal con sistema de flujo horizontal

Fuente: Morel y Diener, 2006

Los humedales de flujo horizontal funcionan bien en el caso de la remoción de DBO₅ y SST para el tratamiento secundario de aguas residuales, pero no es así en el caso de la nitrificación debido a su limitada capacidad de transferencia de oxígeno.

b) Humedales de Flujo Subsuperficial Vertical

En los humedales de flujo vertical, como se observa en la figura 2.3, la alimentación se realiza distribuida uniformemente y habitualmente por cargas por toda la superficie, y la captación del agua tratada se da a lo largo de todo el fondo. Con este sistema, se consigue un mayor contacto entre el agua residual y el aire dentro de los poros, por lo tanto, mejores rendimientos en aquellos mecanismos aeróbicos que tuvieron lugar debido a un mayor aporte de oxígeno.

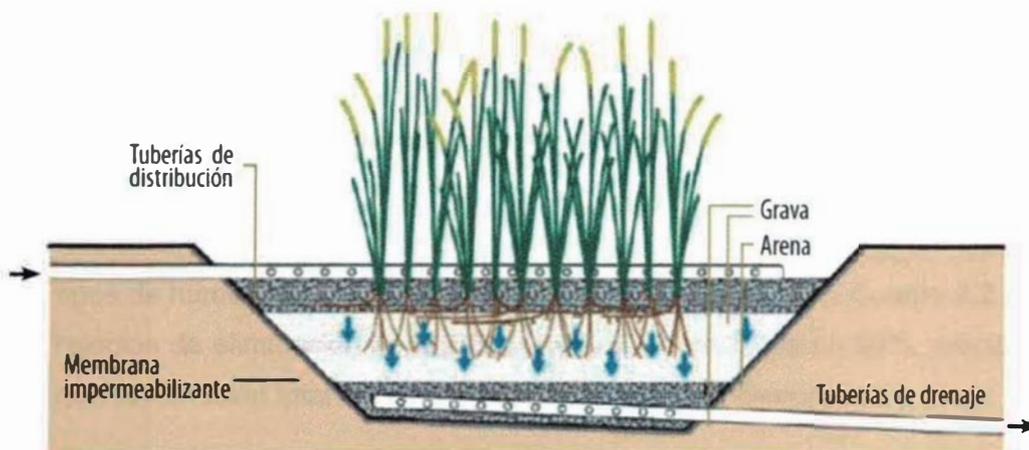


Figura N°2.3: Corte longitudinal de Humedal con sistema de flujo vertical

Fuente: Morel y Diener, 2006

Los humedales de flujo vertical son alimentados intermitentemente en grandes cantidades que inundan la superficie. El líquido drena gradualmente hacia abajo a través del lecho y es recogido por una red de drenaje situada en la base. El lecho drena completamente hasta quedar libre de líquido, lo que posibilita que haya de nuevo aire. La siguiente dosis de líquido atrapa este aire y junto con a la aireación causada por la rápida presencia de líquido en el lecho, genera una buena transferencia de oxígeno posibilitando, por tanto, la nitrificación. La difusión del oxígeno del aire generado por el sistema de descargas intermitentes contribuye en

mayor medida a la oxigenación del lecho de filtrado en comparación con la transferencia de oxígeno por medio de la planta.

La última generación de humedales artificiales ha sido desarrollada haciendo uso del sistema de flujo vertical con cargas intermitentes. Los motivos del creciente interés en el uso de este tipo de sistemas son principalmente:

- Presentan una mayor capacidad de transferencia de oxígeno dando como resultado una buena nitrificación.
- Son considerablemente más pequeños que los sistemas de flujo horizontal.
- Pueden eliminar eficientemente DBO₅, DQO y los patógenos.

No obstante, los humedales de flujo vertical también tienen sus limitaciones tales como una menor eficacia en la remoción de sólidos, si la selección del sustrato no es la adecuada. Debido a estas razones, el interés por los humedales combinados (híbridos) ha aumentado.

Las eficiencias de remoción del tratamiento de las aguas grises en los dos tipos de humedales de flujo subsuperficial se resumen en el Cuadro 2.2. La relación de eliminación de la DBO₅ y los SST son hasta un 99%, mientras que la remoción total del nitrógeno el porcentaje es menor.

Cuadro N°2.2: Porcentajes de remoción de los tipos de humedales de flujo subsuperficial

Contaminantes	Humedales de Flujo Horizontal (Morel y Diener, 2006)	Humedales de Flujo Vertical (Ridderstolpe, 2004)
DBO ₅	80 – 90%	90 – 99%
SST (sólidos totales)	80 – 95%	90 – 99%
NT (nitrógeno total)	15 – 40%	30%

Fuente: Morel y Diener, 2006 y Ridderstolpe, 2004

2.4 MECANISMOS DE DEPURACIÓN DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES

En el cuadro 2.3, se señalan los principales procesos que se llevan a cabo en un humedal y que permiten la depuración del agua residual.

Cuadro N°2.3: Mecanismos de depuración de los humedales artificiales

CONTAMINANTES	MECANISMOS DE ELIMINACIÓN
Sólidos suspendidos	Sedimentación Filtración
Materia orgánica	Degradación microbiana aeróbica Degradación microbiana anaeróbica
Nitrógeno	Amonificación seguida de nitrificación microbiana Desnitrificación Asimilación por parte de las plantas Adsorción por parte del lecho Volatilización del amoníaco (principalmente en sistemas de flujo superficial)
Fósforo	Adsorción por parte del lecho Asimilación por parte de las plantas
Metales	Asimilación por parte de las plantas Adsorción e Intercambio iónico Precipitación Oxidación / reducción microbiana
Patógenos	Sedimentación Filtración Degradación natural Depredación Radiación ultravioleta (sistemas de flujo superficial) Excreción de antibióticos por las raíces de los macrófitos.

Fuente: Manual para humedales artificiales de la ONU

Los humedales pueden tratar con efectividad altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos (SS), y nitrógeno, así como niveles significativos de metales, compuestos orgánicos y patógenos.

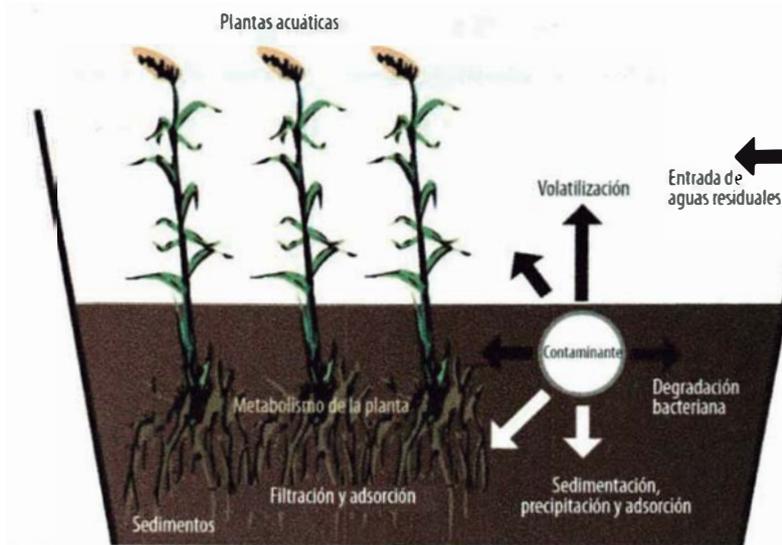


Figura N° 2.4 Mecanismos de remoción de contaminantes

Fuente: Manual de humedales artificiales de la ONU

Uno de los mecanismos importantes en la mayoría de los humedales artificiales es la nitrificación / desnitrificación microbial. El amoníaco se oxida y se transforma en nitrato mediante la acción de bacterias nitrificantes en las zonas aeróbicas. El nitrato se convierte en gas dinitrogeno por medio de bacterias desnitrificantes en zonas anóxicas y anaeróbicas (figura 2.5).

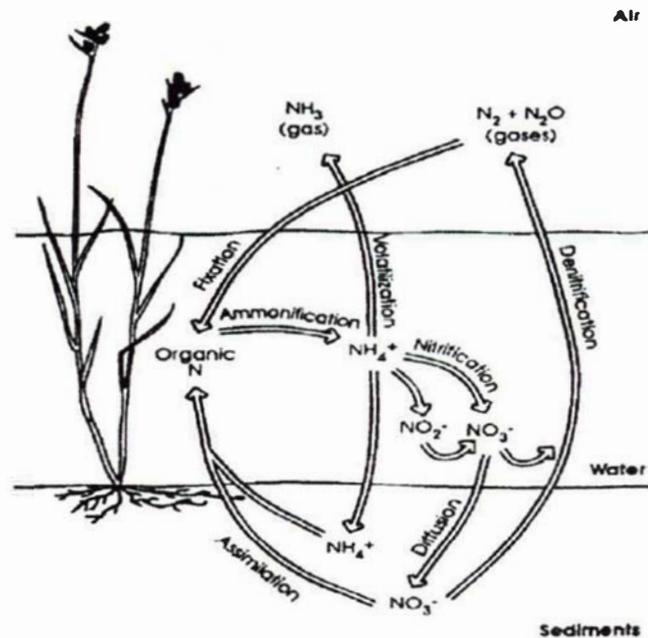


Figura 2.5: Ciclo de nitrificación en Humedales

Fuente: Guía técnica y regulatoria de tratamiento por humedales artificiales

Los patógenos son eliminados durante el paso de las aguas residuales a través del sistema, principalmente mediante sedimentación, filtración y adsorción por

biomasa. Una vez que estos organismos son atrapados dentro del sistema, su número disminuye rápidamente, principalmente por procesos de degradación natural y depredación (Cooper et. al, 1996).

2.5 COMPONENTES DEL HUMEDAL SUBSUPERFICIAL

Un humedal artificial se compone de los siguientes cinco componentes principales (figura 2.6):

- Cubeta de confinamiento
- Relleno, sustrato o Lecho filtrante
- Vegetación
- Membrana impermeabilizante
- Estructuras de entrada y salida

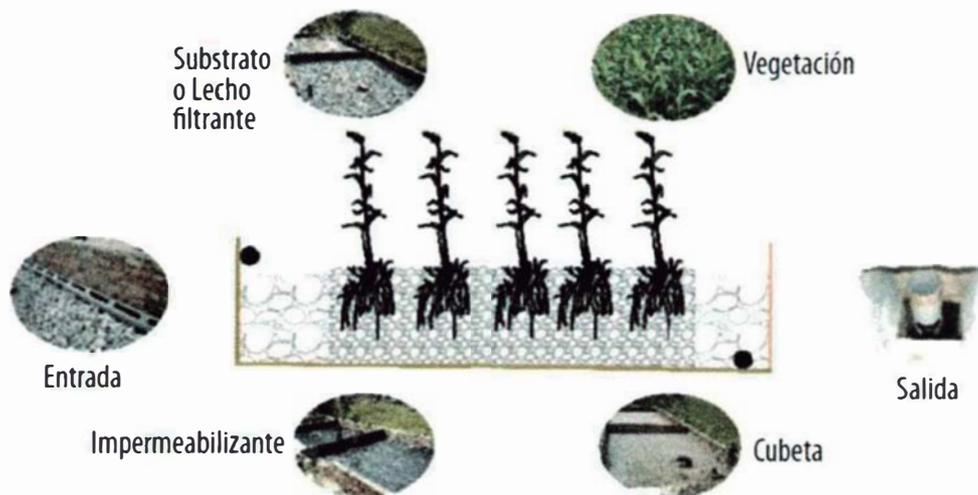


Figura 2.6: Componentes de un humedal artificial

Fuente: Manual de humedales artificiales de la ONU

2.5.1 Cubeta de confinamiento y membrana impermeabilizante

Es el espacio de terreno excavado donde se emplaza el humedal, de base y superficie rectangular, sus paredes pueden tener o no pendiente; y dependiendo del tipo de humedal la base puede tener cierta pendiente para el flujo del agua a evacuar. Esta cubeta debe estar impermeabilizada para evitar la contaminación del terreno o agua subterránea que pueda existir en la zona.

2.5.2 Relleno, sustrato o lecho filtrante

La cubeta excavada se rellena con un sustrato permeable (roca, grava, arena y material de suelo). Este sustrato da soporte a las raíces de los mismos tipos de vegetación emergente, plantada en la superficie superior del sustrato.

El relleno, junto con los sedimentos y los restos de vegetación, es importante por varias razones:

- Actúan como barrera primaria de tamizado
- Actúan como estructura soporte de las plantas y como superficie para el crecimiento y desarrollo de la masa microbiana. En esta función, el tamaño de partícula es importante, puesto que, cuanto más pequeño es el tamaño de partícula, mayor cantidad de biopelícula albergará, pero mayores probabilidades existirán de que se produzcan una obturación de los poros e inundaciones por encima del nivel subsuperficial. Por lo tanto, es necesario optimizar el tamaño de partícula.
- Facilitan los mecanismos de adsorción e intercambio iónico entre el agua residual y los componentes minerales del suelo.
- La permeabilidad del relleno afecta al movimiento del agua a través del humedal.
- Favorecen la precipitación química de contaminantes disueltos, por ejemplo, precipitación de fosfatos con calcio, aluminio o hierro contenido en el relleno (Molle y col., 2003).

El parámetro más importante en el diseño del humedal de flujo subsuperficial es la permeabilidad del sustrato. La correcta selección es en relación a la carga hidráulica y orgánica. La mayoría de problemas en el tratamiento se originan cuando la permeabilidad del sustrato no es la correcta para la carga aplicada.

Solo en esta clase de humedales los tubos de entrada y de salida son cubiertos con 10 a 20 cm de grava. Su función es proteger el área de entrada, distribuyendo efectivamente el agua que entra en el humedal y evitando su acumulación en la superficie, mientras que en la salida la grava asegura que la arena del lecho filtrante se mantenga dentro del humedal y que no se pierda con el efluente.

2.5.3 Vegetación: Plantas acuáticas emergentes

Los humedales artificiales siempre utilizan plantas macrófitas, que son plantas acuáticas que crecen en o cerca al agua. Se piensa que las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual de varias maneras:

- Las plantas acuáticas que crecen en los humedales de flujo subsuperficial se supone que actúan como canales de transporte de gases (dióxido de carbono, metano, etc.) hacia la atmósfera y oxígeno hacia el relleno. Las plantas suministran oxígeno a sus propias raíces para mantenerlas en condiciones aerobias.
- Las plantas contribuyen a estabilizar el cauce, influyen en la conductividad hidráulica del terreno, distribuyen y ralentizan la velocidad del agua, lo que favorece la sedimentación de los sólidos suspendidos y aumenta el tiempo de contacto entre el agua y la vegetación (Pettecrew y Kalff, 1992).
- La influencia de las raíces de las plantas es bastante grande. Alrededor de las raíces, existen gradientes de muchas de las especies químicas presentes en el agua (Kadlec y Knight, 1996). Éstos son atribuibles a la extracción de nutrientes y de otras sustancias por las plantas hacia su sistema de raíces. Esto agota las sustancias disueltas en el agua.
- Compactan el lecho dotándolo de estabilidad.
- Las raíces actúan como superficie para la fijación de microorganismos, aumentando así, la superficie de biopelícula (Kadlec y Knight, 1996; Bastviken y col., 2005).

- Minimizan el gradiente de temperatura dentro del relleno, protegiéndolo del frío en invierno y evitando flujos indeseables por diferencias de temperatura (García y col., 2003; Brix, 1994a).

2.5.4 Estructuras de entrada y salida

Por medio de sistemas de estructuras de entrada y salida, se consigue que la distribución y recolección de aguas residuales sea homogénea. Estas estructuras consisten en tubos de PVC o HDPE con agujeros a lo largo de su desarrollo por donde descargan el afluente en la parte superior del humedal y reciben el efluente en el fondo del mismo.

La estructura de entrada debe diseñarse para minimizar una posible obstrucción de los suelos así como para maximizar la distribución constante del caudal; mientras que la estructura de salida debe diseñarse para maximizar la recolección constante del caudal y permitir la variación el nivel hídrico operativo, pudiendo así drenar el lecho.

2.6 PRETRATAMIENTO DEL AFLUENTE

Los humedales artificiales se implementan principalmente como tratamiento secundario, es decir, los efluentes siempre necesitan de un tratamiento primario o pretratamiento, que debe ser de acuerdo a las características del afluente, antes de entrar en el lecho filtrante del humedal.

El término "pretratamiento" es utilizado para referirse a la etapa de tratamiento de aguas residuales crudas, antes de entrar en el lecho filtrante del humedal. Otros autores llaman a este paso "tratamiento primario".

Las principales tecnologías de pretratamiento que se pueden utilizar antes de filtrar el agua residual en el humedal artificial son: desarenador o sedimentador para la eliminación de arena y arenilla, trampa de grasa, tanque séptico, tanque Imhoff.

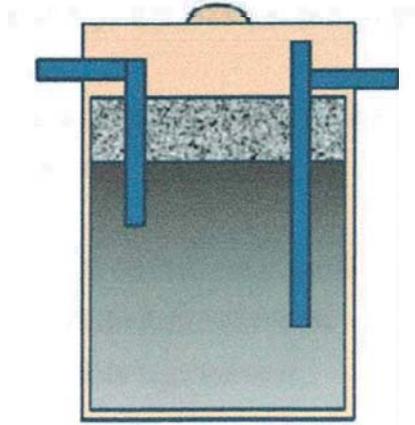


Figura 2.7: Esquema de tanque séptico con trampa de grasa

Fuente: Hoffman, 2010

De acuerdo a la figura 2.7, los pretratamientos mediante tanques sépticos se basan en la sedimentación de sólidos y la flotación de la grasa, con una degradación parcial anaerobia de lodos.

2.7 CRITERIOS DE DISEÑO DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

El diseño hidráulico de un humedal es crítico para obtener buenos rendimientos en la eficiencia de depuración. En los modelos de diseño se asume un flujo en condiciones uniformes y de tipo pistón. Para llegar a acercarse al modelo ideal (flujo pistón) es muy importante realizar un cuidadoso diseño hidráulico y los métodos constructivos apropiados.

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

Además, para el diseño de los humedales se tienen que considerar siempre las circunstancias locales específicas, tales como clima (temperatura), disponibilidad de tierras y la reutilización prevista o la vía de eliminación del efluente.

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

1. Se consideran reactores biológicos.
2. Se considera que el flujo a través del medio poroso es flujo pistón y en forma uniforme.
3. Para los humedales de flujo horizontal, la Ley de Darcy describe el flujo a través del medio poroso.

Existen dos tipos de humedales de flujo subsuperficial:

- Humedal subsuperficial de flujo horizontal.
- Humedal subsuperficial de flujo vertical.

El presente informe se enfocará en el diseño de humedales de flujo vertical solamente.

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

1. Predimensionamiento de la profundidad
2. Sustrato
3. Cálculo del área necesaria.
4. Profundidad final
5. Pendiente

2.7.1 Predimensionamiento de la profundidad

La profundidad del humedal suele ser de unos 50 a 80 cm. El agua fluirá a través del medio poroso y se recogerá en una red de tuberías de drenaje situada en el fondo del lecho. La mayoría de los sistemas de flujo vertical en el Reino Unido tienen una profundidad de entre 50-80 cm (Cooper et al., 1996). Cabe resaltar que en la mencionada experiencia se trataron aguas municipales, es decir aguas negras.

2.7.2 Selección del sustrato

De acuerdo a experiencias anteriores el humedal debe estar conformado por tres capas bien definidas de acuerdo al siguiente cuadro:

Cuadro N°2.4: Distribución recomendada para las capas del sustrato en el humedal

Tipo de capa	Función	Conformación
Capa superficial	Protección del lecho filtrante	h de 10 a 15 cm. De grava fina, diámetro efectivo de 2 – 10 mm
Intermedia	Sustrato o lecho filtrante	h de acuerdo al diseño geométrico del humedal, diámetro efectivo 5 a 20mm
Drenaje	Drenaje en el fondo del humedal	h de 10cm de grava de diámetro de 20 – 40 mm

Fuente: Manual para humedales artificiales de la ONU

Es importante prestar atención al tamaño del grano de la arena utilizada como material de filtrante en los humedales de flujo subsuperficial. El aspecto más importante es que el tamaño del grano sea suficientemente grueso. El d_{10} (figura 2.8), corresponde al tamaño de grano que en una muestra permite que solo un 10% en peso de la misma sea más pequeño, debe estar entre 0,1 mm y 0,4 mm. Idealmente, el d_{10} debe estar más cerca de 0,4 mm. El d_{10} de la arena no debe tener un grosor mayor a 0,4 mm ya que el efecto de filtración en el lecho se deterioraría. Cuanto más empinada sea la curva de tamizado mejor.

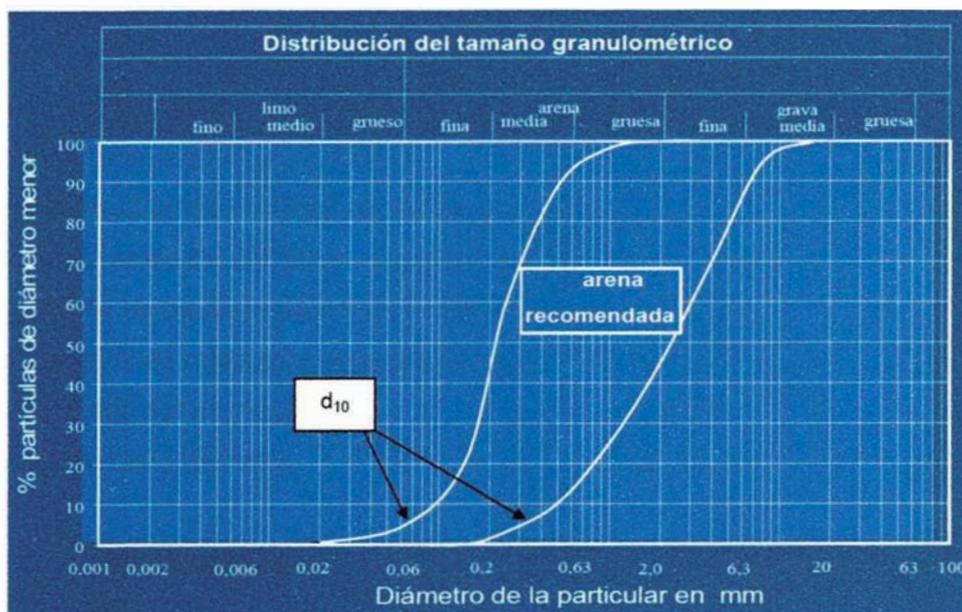


Figura 2.8: Huso para tamaño de grano del sustrato

Fuente: Platzer, 1998

Para la selección del lecho filtrante se debe usar el siguiente cuadro (cuadro N° 2.5) d_{10}^* es el diámetro de una partícula en una distribución del peso de las partículas que es más pequeña que todo salvo 10% de las partículas.

Cuadro N°2.5: Valores típicos de sustratos de humedales artificiales

Sustrato	Tamaño efectivo d_{10}^* , mm	Porosidad efectiva n
Arena media	1	0.3
Arena gruesa	2	0.32
Grava media	32	0.4
Grava gruesa	128	0.45

Fuente: Crites and Tchobanoglous 1998

2.7.3 Cálculo del área necesaria

El cálculo del área del humedal se puede determinar usando la ecuación de Ecuación de Kickuth:

$$A_h = \frac{Q_d * \ln(C_a/C_e)}{K_T * h * n}$$

$$K_T = K_{20} * 1.06^{T-20}$$

Donde:

A_h: área del humedal

Q_d: caudal promedio diario (m³/d)

C_a: concentración de DBO5 en el afluente (mg/L)

C_e: concentración de DBO5 en el efluente (mg/L)

K_t: constante de biodegradación primaria

T: temperatura de operación del sistema (°C)

H: profundidad del humedal

n: porosidad del sustrato

2.7.4 Profundidad

Para comprobar la profundidad asumida, debemos asegurarnos que el tiempo de retención que se requiere para lograr la depuración deseada como mínimo igual al tiempo en que el fluido llegue a la parte baja del sustrato por velocidad su de infiltración.

Para calcular el tiempo de residencia del flujo en el humedal mediante la ecuación del Flujo Pistón:

$$T_r = \frac{1}{K_T} * \ln\left(\frac{C_a}{C_e}\right)$$

Por su similitud con la ecuación de Kickuth podemos decir que T_r se puede expresar como:

$$T_r = \frac{A_h * h * n}{Q_d} = \frac{Vol_h * n}{Q_d}$$

En otras palabras T_r se representa como el volumen efectivo de agua en el humedal entre el caudal promedio diario.

La velocidad de infiltración es igual a la carga hidráulica del sistema:

$$V_i = \frac{Q_d}{A_h}$$

Donde:

V_i : velocidad de infiltración (m/d)

Q_d : caudal promedio de diseño (m³/d)

A_h : Superficie del humedal

El tiempo que le tome al flujo llegar al fondo del humedal será:

$$t_i = \frac{h}{V_i}$$

De ambas ecuaciones, debemos comprobar

$$t_i \geq t_r$$

2.7.5 Pendiente

La pendiente de la superficie del humedal es plana (0%), y la pendiente del fondo o lecho del humedal varía de 0.5 a 2% pero generalmente se utiliza una pendiente ligera del 1%.

2.7.6 Vegetación emergente

La vegetación y sus restos son necesarios para el rendimiento exitoso de los humedales artificiales, contribuyendo además a darles una apariencia estética.

Hay una serie de criterios que la vegetación a ser plantada en los humedales artificiales ha de cumplir:

- Utilización de especies de micrófitos locales predominantes
- Penetración profunda de las raíces
- Rizomas fuertes y raíces fibrosas en gran cantidad
- Considerable biomasa o densidad de tallo para lograr la máxima transferencia de agua.
- Asimilación de nutrientes
- Área superficial máxima para poblaciones microbianas
- Transporte eficiente de oxígeno hacia la zona de raíces para facilitar la oxidación de metales tóxicos reducidos y soporte de una amplia rizosfera.

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES PARA EL CONDOMINIO “LOS PARQUES DE CARABAYLLO II”

3.1 EL PROYECTO “LOS PARQUES DE CARABAYLLO II”

3.1.1 Ubicación geográfica

El terreno destinado a la segunda etapa del proyecto “Los Parques de Carabayllo” se ubica en la Mz. D lote 1 de la lotización Los Parques de Carabayllo, en el distrito de Carabayllo, comprendido entre la Av. Perimétrica, Av. San Lorenzo, Av. s/n y Ca. Libertad, cuyo propietario es VivaGyM S.A. Para mejor detalle, ver Anexo 3.

Las coordenadas geodésicas del proyecto son:

Latitud: $11^{\circ} 51.5' 46''$ Sur

Longitud: $77^{\circ} 4' 2.91''$ Oeste



Figura N° 3.1. Ubicación del proyecto “Los Parques de Carabayllo II”

Fuente: Google Maps

3.1.2 Clima

La temperatura media anual de la costa del Litoral Limeño es de 18°C (64,4°F). La temperatura máxima en los meses veraniegos puede llegar a los 30°C (86°F) y la mínima a los 12°C (53.6°F) en época invernal.

El clima de la ciudad de Lima, que está ubicado en la franja costera, es de tipo árido, con deficiencia de lluvias durante todo el año; solo se presentan lloviznas ligeras entre abril y diciembre con una precipitación máxima anual de 15mm, con un ambiente atmosférico húmedo.

Las sensaciones de calor o frío que se dan de acuerdo a las estaciones correspondientes, están en función de la alta humedad atmosférica que domina el ambiente de la capital.

a) Temperatura promedio anual

Los siguientes son los promedios de temperatura diaria para Lima según las estaciones:

- Verano: enero a marzo: 21 - 29 °C (70 - 84 °F).
- Otoño: abril a junio: 17 - 27 °C (63 - 81 °F).
- Invierno: julio a setiembre: 15 - 19 °C (59 - 66 °F).
- Primavera: octubre a diciembre: 16 - 24 °C (61 - 75 °F).

b) Clima de diciembre a abril

- De enero a abril el brillo solar es mayormente a partir de la media mañana.
- La humedad relativa durante la noche y primeras horas del día fluctúan alrededor del 90%, disminuyendo a 70% al mediodía.
- La temperatura más alta ocurre en el mes de febrero, alcanzando un promedio mensual de mínimo 20° y máximo de 27°.
- Es soleado, húmedo y caliente

c) Clima de mayo a noviembre

- La cobertura nubosa es casi permanente en el día y la noche, de junio a setiembre.
- La humedad relativa durante la noche y primeras horas del día fluctúan alrededor del 90%, disminuyendo a 80% al mediodía.
- Las temperaturas más bajas se presentan en el mes de agosto, alcanzando temperaturas máximas promedios valores de 19° a 20° y las mínimas 14° o 15°. En este mes predomina cielo cubierto durante el día y la noche, alta humedad, lloviznas frecuentes durante la noche y primeras horas del día y temperaturas bajas, con un tiempo generalmente nublado en invierno.
- Los meses de primavera y otoño (septiembre, octubre y mayo) tienen temperaturas templadas que oscilan entre los 23°C y 17°C.
- Nuboso y templado a ligeramente frío en los inviernos (junio a setiembre).

3.1.3 Datos de estudio de suelos

El programa de exploración de campo llevado a cabo comprendió 17 calicatas excavadas en forma manual hasta profundidades comprendidas entre 4.20 y 5.20 m con respecto al nivel de la superficie del terreno. Adicionalmente se tomaron 48 muestras inalteradas las cuales debidamente protegidas, fueron remitidas al laboratorio para la ejecución de ensayos.

Del E.M.S. realizado por M&M Consultores, podemos mencionar lo siguiente:

a) Topografía del terreno

En general, el terreno presenta una topografía plana.

b) Perfil del suelo

El perfil del suelo registrado en las calicatas está conformado por una capa superior de relleno antiguo constituida por arcilla limosa, ligeramente arenosa a arenosa, de plasticidad baja a media, medianamente compacta a

compacta, que en algunos casos presenta fragmentos pequeños de cerámicas antiguas y conchuelas, y tiene un espesor variable entre 0.50 y 2.35 m.

Sobre esta capa, se registró en las calicatas una capa de relleno con basura, de 0.10 a 0.50 m de espesor. A continuación, desde profundidades comprendidas entre 0.90 y 2.70 m y hasta el límite de la profundidad investigada (5.20 m) se encuentra un depósito natural de suelos finos de baja a mediana resistencia constituido por estratos intercalados de:

- Limo arcilloso, limpio a arenoso, de plasticidad media, medianamente compacto
- Arcilla limosa, con contenido variable de arena, de plasticidad baja a media, medianamente compacta a compacta
- Arena fina, con contenido variable de limo y arcilla, medianamente densa
- Arena fina, mal graduada, medianamente densa.

c) Nivel freático

No se registró nivel freático para las calicatas excavadas.

d) Presión admisible por esfuerzo cortante

En arcillas medianamente compactas a compactas, tales como las registradas en las calicatas, la presión admisible se encuentra controlada por esfuerzo cortante, ya que su consistencia indica que se encuentran preconsolidadas y que los asentamientos que se producirán en ellas serán relativamente pequeños.

Finalmente, se obtuvieron las siguientes presiones admisibles de las arcillas:

- Para zapatas y cimientos corridos

$$q_a = 1.00 \text{ Kg/cm}^2$$

- Para plateas de cimentación apoyadas sobre relleno estructural

$$q_a = 0.90 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (sobre terreno natural)}$$

$$q_a = 0.70 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (sobre relleno antiguo)}$$

e) Empuje de tierras

De acuerdo al estudio de mecánica de suelos, se recomienda la utilización de los siguientes parámetros para el cálculo de los empujes de tierras en los muros enterrados y/o cisternas; los cuales son los valores promedio representativos de las capas superiores del perfil del suelo:

- Angulo de fricción interna $(\phi) = 31^\circ$
- Cohesión $(c) = 0.37 \text{ Kg/cm}^2$
- Peso volumétrico $(\gamma) = 1.80 \text{ Ton/m}^3$
- Coeficiente de empuje de tierras activo $(K_a) = 0.32$
- Coeficiente de empuje de tierras pasivo $(K_p) = 3.12$
- Coeficiente de empuje de tierras en reposo $(K_0) = 0.48$

f) Parámetros de diseño sismorresistente

Según la Norma Técnica de Edificación E030: Diseño Sismorresistente el perfil del suelo registrado en todas las calicatas se puede clasificar como Tipo S2 y le corresponde un Factor de Suelo S igual a 1.2 y un Período Predominante de Vibración T_p de 0.6 s.

g) Agresividad de las sales del suelo

De acuerdo al análisis de muestras en laboratorio no se han registrado en el terreno sales solubles agresivas al concreto.

3.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CONDOMINIO

La segunda etapa del proyecto "Los Parques de Carabaylo" comprende un conjunto residencial que consta de 20 edificios de vivienda social, sobre un área de terreno de 14,243.96 m².

• EDIFICACIONES

Consta de 8 edificios de 5 pisos y 12 edificios de 4 pisos, con 4 departamentos por piso, de 3 dormitorios y de áreas de 61.95 a 62.27 m² aproximadamente de área techada con un total de 352 departamentos.

Cada departamento cuenta con los siguientes ambientes:

Ingreso, Sala – comedor, terraza, jardín, cocina-lavandería, patio, pasadizo, baño de uso común (01 inodoro, 01 lavatorio y ducha), estar, 02 dormitorios con espacio para closet y un dormitorio principal con espacio para closet y baño (01 inodoro, 01 lavatorio y ducha). Ver figura 3.2.

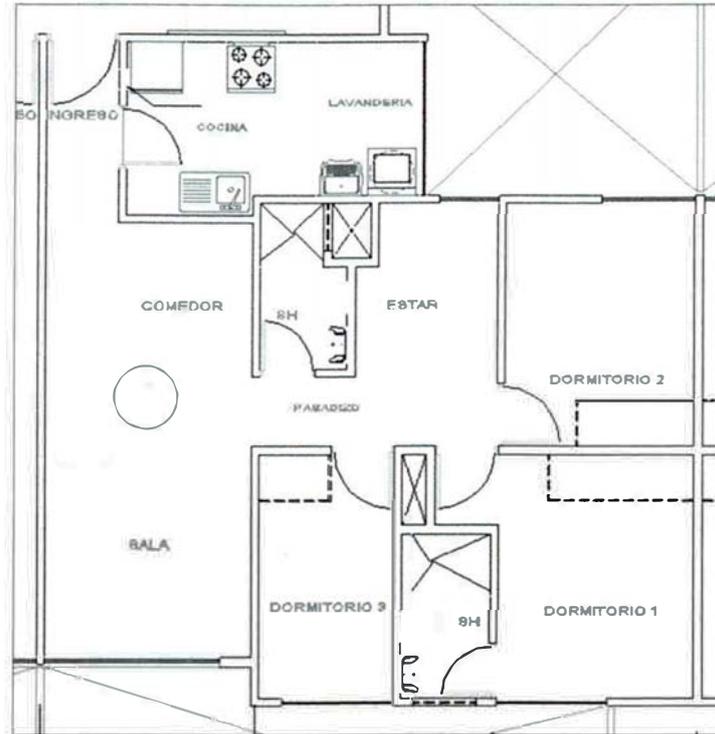


Figura N° 3.2. Vista en planta de departamento típico

Fuente: Log de planos del proyecto

El edificio típico de 04 pisos cuenta con un área techada de 1,049.05 m² y el de 05 pisos con área techada de 1,311.21m².

El área techada total de los 20 edificios del proyecto es de 23,078.28 m². Y el área de terreno ocupada por estos edificios es de 5,245.09m².

- **AREAS COMUNES**

El acceso peatonal a los edificios del conjunto se da a través de veredas interiores que permiten la integración y comunicación del conjunto.

Al interior del condominio se plantea además, una zona de uso común compuesta por: área de recreación, humedal, juegos infantiles, losa multideportiva, casa club y 03 locales comerciales.

Los estacionamientos del conjunto residencial se distribuyen frente a las vías públicas, contando en total con 185 estacionamientos.

Todo lo mencionado para áreas comunes ocupa un área de terreno de 3,257.34m².

- **PARQUES Y JARDINES**

Las áreas verdes del condominio ocupan un área de 5,714.53m². El grass o césped es la planta predominante en los parques y jardines, con una cantidad menor de árboles de distintas especies tales como ficus, poincianas y otros.



Figura N° 3.3. Vista arquitectónica del condominio

Fuente: Presentación de la reunión de transferencia del proyecto

3.3 TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES

La finalidad del tratamiento es la reutilización de las aguas grises para el riego de parques y jardines del condominio, por lo que se busca un sistema eficiente de tratamiento con buena relación de beneficio/costo. Estas exigencias se cumplen de mejor forma con el sistema de tratamiento mediante Humedales.

Los Humedales procuran imitar las funciones existentes de auto depuración de pantanos naturales, en particular la capacidad de filtración mecánica y biológica, y de degradación de materia orgánica. De esta forma, estos son sistemas proyectados para utilizar plantas en substrato de arena donde, de forma natural y con condiciones ambientales adecuadas, ocurre la formación de biofilm que albergan una población variada de microorganismos. Estos microorganismos poseen una capacidad de tratar los desagües biológicamente.

Con una operación adecuada el efluente final es transparente, sin olor y principalmente puede ser reutilizado para el riego de áreas verdes y árboles (clase B y C según la definición de Organización Mundial de la Salud - OMS). Mientras la reutilización de jardines y verduras (clase A, OMS) exige para cualquier tipo de tratamiento, una desinfección final ya sea con cloro, rayos ultra violeta (UV) u ozono.

Dentro de su normatividad el estado peruano exige por medio de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) que se cumpla para el agua de riego en plantas de tallo alto y bajo los siguientes parámetros:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno 15 mg/L
- Demanda Química de Oxígeno 40 mg/L
- Carbonatos 5 mg/L
- Aceites y grasas 1 mg/L
- S.A.A.M (detergentes) 1 mg/L
- PH 6,5-8,5

Además, actualmente no se cuenta con normativas legales peruanas para el diseño de humedales; no obstante a nivel internacional hay parámetros y referencias para la construcción de este sistema los cuales varían dependiendo de las condiciones climáticas locales.

3.4 CARACTERIZACIÓN DEL AFLUENTE

Las aguas residuales producidas en las duchas de los departamentos serán captadas para su reutilización en el riego. Con esta finalidad es que estas aguas

son separadas del resto del desagüe para ser tratadas. Al ser evidente que la producción diaria de las duchas de todo el condominio es mucho mayor a lo requerido para el riego, sólo se hará la separación de los desagües de algunos edificios, preferentemente los de 5 pisos por su cercanía al emplazamiento del humedal.

La ventaja de las aguas producidas en las duchas es que no contienen patógenos y materia orgánica como lo puede tener el resto de los desagües domésticos (aguas negras). Aprovechando esta característica es que se puede hacer un diseño de tratamiento de las aguas con la ventaja de que el sistema no necesite de mayor mantenimiento, facilitando la operación de la planta.

Al tratarse de aguas grises de duchas solamente, el sistema de tratamiento se diseñará para la degradación del DBO5 que es el componente más incidente en el agua con una concentración de DBO5 de 33mg/l.

3.5 EFICIENCIA REQUERIDA

El efluente tratado debe tener la calidad necesaria para la irrigación de áreas verdes. Importante para es la reducción de materia orgánica que es caracterizado por la concentración de parámetros DBO5 y/o DQO y Sólidos Suspendedos. El sistema (Humedal) debe garantizar:

- Concentraciones de DBO5 debajo de 15 mg/L y/o la reducción de 90% DBO5
- Concentraciones de DQO debajo de 40 mg/L y/o la reducción de 80% DQO
- Concentraciones de Sólidos Suspendedos Totales debajo de 25 mg/L

Para reusar el efluente para irrigación de plantas, la eliminación de Nitrógeno (N) y Fosfato (P) no es necesaria, porque sirve como abono natural para el crecimiento de las plantas, sin embargo se espera en resultado de tratamiento del sistema una oxidación parcial de amonio amoniacal que resulta en nitrato.

3.6 ESTUDIO DE LA DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO

La fuente de agua para el riego de las áreas verdes del proyecto inmobiliario "Los Parques de Carabaylo II" será abastecido de los efluentes (aguas grises) tratados provenientes de las duchas de los departamentos.

3.6.1 Volumen de agua para riego

El volumen de acuerdo al estudio de demanda, se ha determinado que la necesidad de agua para los parques y jardines es de 11.48 m³ por día, según el siguiente detalle:

- Área verde a irrigar: 5741,53 m²
- Lámina de agua: 2 mm/m²día
- Volumen de agua requerida: 11483,1 litros diarios

3.6.2 Caudal para riego

El caudal de agua que se dispondrá una vez construido los sistemas de redes de aguas grises y humedales será de 0.133 l/s, que equivale a 11,48 m³ por día de riego.

3.7 ESTUDIO DE LA OFERTA DE AGUAS GRISES

3.7.1 Dotación de diseño

De acuerdo a la norma IS.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones. En el Artículo 2.2 "Dotaciones" se señala para edificios multifamiliares con 3 dormitorios:

- Dotación : 1200 litros/departamento/día

Considerando un número máximo de personas por departamento:

- N° de personas : 5 habitantes

Dotaciones de diseño

- Dotación por habitante : 240 litros / habitante / día
- Producción en duchas : 48 litros / habitante/día
- Consumo en población clase C : 16 litros / habitante / día

3.7.2 Población de diseño

Para determinar el número de pisos necesarios para regar el área verde del condominio.

- Área verde a irrigar : 5741,53m²
- Lámina de agua para riego : 2 mm/m²día
- Volumen de Agua Requerida : 11481,1 litros/día
- Habitantes necesarios : 718 personas
- Departamentos necesarios : 144
- Pisos necesarios: 36
- Edificios necesarios : 9 de 4 pisos o 8 de 5 pisos

Finalmente, se opta por la opción de 8 edificios de 5 pisos

3.7.3 Caudal de diseño (Caudal promedio)

8 edificios de 5 pisos producen un volumen total de 12800 L/día, por lo tanto el caudal promedio será de: 0.148 L/s

3.8 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PROYECTADO

Para el tratamiento de las aguas grises de los edificios de 5 pisos proyectados se requerirá de 3 componentes principales (figura 3.4)

- 1. Cisterna de pretratamiento:** Cisterna enterrada de dos cámaras. La primera cámara tendrá la función será la de almacenar el afluente de las duchas de los departamentos, sedimentar los sólidos y entrapar las grasas y aceites del agua cruda. La segunda cámara almacenará el agua proveniente de la primera cámara y, mediante una bomba sumergida sus aguas serán transportadas hasta el humedal de flujo vertical.

2. **Humedal:** Batea semienterrada de paredes de concreto y revestida con geomembrana, que recibirá el agua pretratada de la cisterna de pretratamiento y donde se llevará a cabo el tratamiento secundario del agua gris, para luego entregar por gravedad su efluente a la cisterna de riego.
3. **Cisterna de riego:** Reservorio enterrado donde se almacenará el agua tratada del humedal, y mediante bombeo dicho efluente podrá ser usado para el riego del área verde.

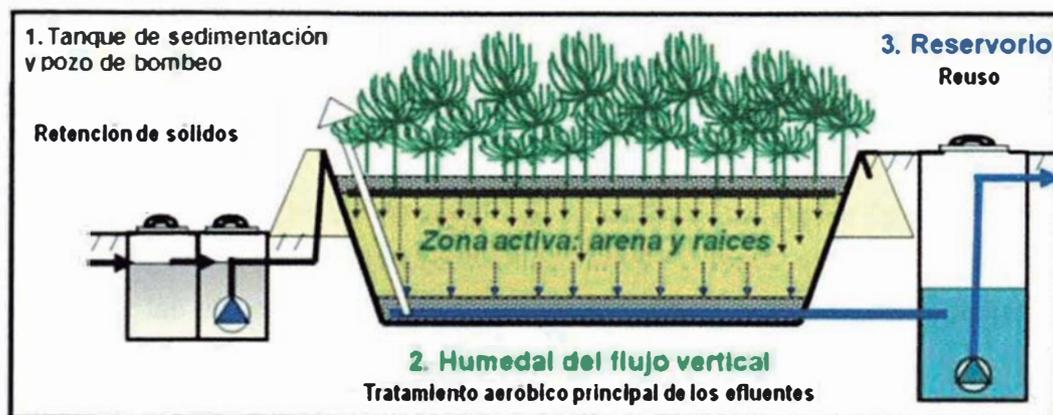


Figura N° 3.4. Esquema del sistema de tratamiento

Fuente: Proyecto "Los Parques de Carabayllo II"

La Figura 3.4 muestra el principio del tratamiento en el humedal de flujo vertical; el cual está constituido por: lecho de arena gruesa lavada, llamada también medio filtrante; lecho de grava en el fondo, que sirve para la protección del dren, y lecho de confitillo arriba, que tiene una función de distribución y estética, además evita la acumulación de desagües en la superficie.

3.8.1 Cisterna de pretratamiento

Las aguas de las duchas serán conducidas al pre tratamiento, un tanque sedimentador que no necesitará de mayor mantenimiento. Tendrá la función de retener los cabellos, grasas, espumas y otros restos que se generan en este desagüe. Adicionalmente será equipado con un sistema de retención en formado por tubos con agujeros para retener materiales que muchas veces podrán pasar por la decantación.

3.8.2 Humedal de flujo vertical

El tratamiento principal estará a cargo de un humedal de flujo vertical. La entrada de agua en el humedal estará controlada por tres válvulas, esto permite el descanso de una parte de la superficie permitiendo que se recupere la permeabilidad esto para asegurar la durabilidad y el correcto funcionamiento del sistema.

El abastecimiento de agua en los humedales de flujo vertical se debe dar por tiempos espaciados de manera alternada, para que el sistema se oxigene y no ocurra la colmatación del medio filtrante, es decir, la obstrucción de los poros; por esto el sistema se separa en dos o más unidades para que trabajen en alterno, mientras descansa una unidad de superficie trabaja la que ya descansó.

Se obtiene un efluente final de excelente calidad, que puede ser reutilizado para el riego según los ECA o como aguas en categoría B y C según la OMS. Para garantizar las elevadas exigencias de la categoría A, el efluente final debe ser desinfectado.

3.8.3 Vegetación

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial son instalados con plantas macrófitas, que son típicas de humedales naturales y riberas de ríos. Las plantas pueden ser estéticamente agradables y también pueden presentar un hábitat para los animales, como aves o ranas. No obstante, las plantas cumplen funciones importantes para el proceso de tratamiento, ya que las plantas proporcionan el ambiente apropiado para la fijación microbiana. Los tipos de plantas recomendadas son:

- Papyrus: *Cyperus papyrus* o papiro egipcio.- son decorativos, pero tienen los problemas que crecen hasta 3m de altura y tiende a formar una capa de materia orgánica en la superficie. Las plantas crecen solo por esquejes de la raíz de la planta madre.
- Papiro Paraguas (*albostratus* C. y *C. altemifolius*).- plantas muy resistentes, también son excelente para una mayor concentración de aguas residuales o contenido de sal.

- Papiro Enano (*C. haspens*),- excelente cuando es el único cultivo, no sobrevive a la sombra de plantas más grandes.
- Una planta que no es típica en humedales y se utiliza con éxito es el Vetiver *Chrysopogon zizanioides* (*Vetiveria zizanioides*), puede crecer hasta 1,5 metros de altura y constituye un eficaz sistema de raíces.
- Junco - *Typha latifolia*



Figura N° 3.5. Humedal artificial de la primera etapa del proyecto “Los Parques de Carabayllo”

Fuente: Proyecto “Los Parques de Carabayllo I”

3.9 MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PROYECTADO

3.9.1 Diseño de Cámara de pretratamiento

Para el diseño se tomó en cuenta la Norma Técnica IS.02 para diseño de Tanques Sépticos:

a) Tiempo de Retención

$$PR = 1.5 - 0.3 * \text{Log}(P * q)$$

Donde:

PR= Tiempo promedio de retención hidráulica, en días

Q: población servida

Q: caudal de aporte unitario de aguas residuales (L/hab.día)

Reemplazando:

$$PR = 1.5 - 0.3 * \text{Log}((8 * 20 * 5) * 16) = 0.27 \text{ días} = 6.5 \text{ horas}$$

Se considera el menor tiempo de retención 6 horas

b) Volumen del tanque sedimentador

El volumen requerido para la sedimentación (V_s) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V_s = 0.001 * (P * q) * PR$$

Reemplazando:

$$V_s = 0.001 * (800 * 16) * 0.27 = 3.45 \text{ m}^3$$

Se proyecta el tanque de dos cámaras el primero para la sedimentación y el segundo para la bombeo.

- Volumen del Tanque sedimentador : 1,725 m³
- Volumen de pozo de bombeo : 1,725 m³

Para la simplicidad constructiva y el uso efectivo del área disponible se predimensionan las medidas del tanque séptico de acuerdo al cuadro 3.1.

Cuadro N° 3.1 : Dimensiones útiles de Sedimentador – Cámara de Bombeo

Dimensión	Medida
Largo	1.50 m
Ancho	1.00 m
Altura	1.20 m

Fuente: Elaboración propia

c) Altura del tanque séptico y trampa de grasas

De acuerdo a la norma IS.020, el volumen requerido para la digestión del lodo se calcula con la fórmula:

$$Vd = ta * 10^{-3} * P * N$$

Donde:

N: es el intervalo deseado entre operaciones sucesivas de remoción de lodos, expresado en años.

ta: tasa de acumulación de lodos expresada en L/hab.año. Su valor se ajusta al cuadro 3.2.

Cuadro N° 3.2: Tasa de acumulación de lodos en Litros

Intervalo de limpieza del tanque séptico (años)	ta (L / hab.año)		
	T ≤ 10 °C	10 ≤ T ≤ 20 °C	T > 20 °C
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137

Fuente: Norma técnica IS. 020

Reemplazando los valores para el proyecto se tendrá:

$$Vd = 65 * 10^{-3} * 800 * 1 = 52(L)$$

Por lo tanto la altura necesaria para la digestión de lodos será:

$$Hd = \frac{0.052}{1.5 * 10} = 0.04(m)$$

La profundidad máxima de espuma sumergida (H_e) se calcula mediante la ecuación:

$$H_e = \frac{0.7}{A}$$

Para el caso del proyecto, asumiendo el predimensionamiento:

$$H_e = \frac{0.7}{1.5 * 1.0} = 0.47(m)$$

La profundidad libre de lodo es la distancia entre la parte superior de la capa de lodo y el nivel inferior de la Tee o cortina del dispositivo de salida, y se calcula con la siguiente fórmula.

$$H_o = 0.82 - 0.26 * A = 0.43(m)$$

Y la profundidad de espacio libre se calcula como

$$H_l = H_o + 0.1 = 0.53(m)$$

Finalmente la profundidad total efectiva del tanque séptico será

$$H_{total\ efectiva} = H_d + H_l + H_e = 1.04(m)$$

De acuerdo al cálculo realizado, se concluye que el tanque tendrá una profundidad de 125 cm debajo de la entrada del agua gris (tanque sedimentador) y 120 cm a la salida (pozo de bombeo).

La Norma recomienda, además, una altura libre entre el nivel superior de las natas o espumas y la parte inferior de la losa del techo de la cámara mínima de 30cm.

La cota de salida de la primera cámara estará a 5cm por debajo de la cota de entrada, para evitar represamientos.

En base a lo anterior se diseña el tanque como se muestra en la figura 3.6

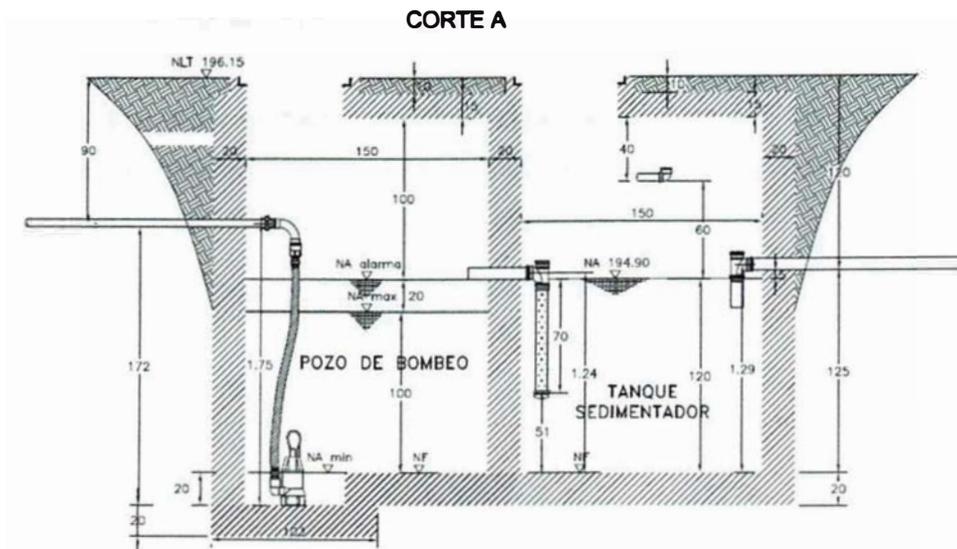


Figura 3.6: Dimensiones finales del tanque séptico

Fuente: Proyecto "Los Parques de Carabaylo II"

Finalmente, se proyecta para la trampa de grasa: La entrada tendrá conectada una "Tee" de DN75 mm con un tubo de 30 cm de largo, que permitirá una entrada dirigida hacia la profundidad de la cámara. En la salida igualmente tendrá una "Tee" de 70 cm conectada a un tubo que estará perforado alrededor con agujeros de 8 mm, los cuales no permitirán el pase de los sólidos suspendidos, que estará ubicada a lo largo de la zona libre de lodos.

3.9.2 Diseño del Humedal de Flujo vertical

El humedal de flujo vertical debe ser alimentado en pulsos durante el día. Una carga constante no permitiría al humedal tener un descanso adecuado para la oxigenación del sistema. Por lo que se proyecta usar 3 tuberías para alimentar al humedal, de las cuales 1 se mantendrá cerrada para permitir la oxigenación del sustrato debajo de él.

Para el diseño del humedal usamos el criterio señalado en el capítulo II.

a) Profundidad (predimensionamiento)

Se asume una profundidad mínima de 0.5m

b) Selección del sustrato

Se busca tener el menor movimiento de tierra; y, ya que las paredes del humedal servirán como base para bancos; la altura a excavar será igual a la profundidad del humedal menos 45cm.

Cuadro N° 3.3: Espesor de capas para el sustrato

Espesor de capas		
Material	Espesor	Unidad
Confitillo del dren	0.2	m
Arena gruesa sin polvo (n=0.32)	0.5	m
Confitillo de protección superficial	0.1	m
Borde libre	0.15	m
Profundidad total	0.95	m

Fuente: Elaboración propia

Los humedales se trabajarán con una profundidad total de 0,95 m, distribuidos debajo y sobre la superficie del suelo. Sobre el nivel de la capa superior se tendrá 15 cm de borde libre y 30 cm de filtro (10 de confitillo de recubrimiento y 20 cm de arena gruesa lavada) y 50cm de la profundidad del lecho.

c) Área necesaria del humedal

Usando la ecuación de Kirckuth:

$$A_{ht} = \frac{Q_d * \ln(C_a/C_e)}{K_T * h * n}$$

$$K_T = K_{20} * 1.06^{T-20}$$

De acuerdo a lo mencionado anteriormente el humedal señalado anteriormente estará conformado por tres fuentes de alimentación, de las cuales solamente funcionarán 2.

Entonces la fórmula quedará:

$$A_{hr} = \frac{Q_d * \ln(C_a/C_e)}{K_T * h * n} * \frac{3}{2}$$

Donde:

Qd: caudal promedio diario (m³/d) = 12.8

Ca: concentración de DBO5 en el afluente (mg/L) = 33

Ce: concentración de DBO5 en el efluente (mg/L) = 15

T: temperatura de operación del sistema (°C) = 20°C

H: profundidad del humedal = 0.50m

n: porosidad del substrato = 0.32

Reemplazando:

$$K_T = 1.1 * 1.06^0 = 1.1$$

$$A_{hr} = \frac{Q_d * \ln(C_a/C_e)}{K_T * h * n} * \frac{3}{2} = \frac{12.8 * \ln\left(\frac{33}{15}\right)}{1.1 * 0.5 * 0.32} * \frac{3}{2} = 86.01m^2$$

Ya que el humedal estará conformado por 3 "celdas" asumiremos la siguiente relación Largo – Ancho del humedal:

$$\frac{L}{A} = \frac{3}{1}$$

Por lo que:

$$L = 16.05 \text{ m}$$

$$A = 5.35 \text{ m}$$

d) Comprobación de la profundidad

Mediante la ecuación (...) determinamos el tiempo de residencia necesario

$$T_r = \frac{Vol_{ht} * n}{Q_d} = \frac{57.34 * 0.5 * 0.32}{12.8} = 0.72 \text{ días}$$

El tiempo de infiltración será

$$t_i = \frac{h * Aht}{Q_d} = 2.24 \text{ días}$$

Por lo tanto, la profundidad asumida es la correcta

e) Pendiente

Para asegurar el flujo del humedal por los tubos recolectores en la parte inferior se proyecta el humedal con una pendiente inferior de 1%.

3.9.3 Instalaciones en el Humedal

La tubería que provenga del tanque de sedimentación repartirá el caudal en 3 unidades, a la entrada de cada contará con su respectiva válvula globo, para poder usar alternadamente las unidades en toda la superficie del humedal. Estas unidades estarán compuestas cada una por 3 tuberías de distribución que irrigarán uniformemente la superficie del humedal, para esto es importante asegurar la horizontalidad de los tubos sobre la superficie del humedal.

De acuerdo a la experiencia en la primera etapa de "Parques de Carabaylo" se recomienda que los tubos de distribución estén perforados cada 60 cm por ambos lados (con agujeros de 6 mm) diametralmente, para obtener una aplicación uniforme de agua. Ya que las tuberías de distribución tendrán una longitud de 4.75m se tendrán 8 pares de agujeros a lo largo de cada tubo. En el extremo final los tubo serán cerrados con tapas removibles.

La distancia entre los tubos de distribución es de 1,40 m al eje de tubería estando el primer y el último tubo colocados a 70 cm del borde del humedal.

Será más factible, económica y productivamente hablando, que los agujeros en las tuberías de distribución sean realizadas manualmente en campo.

En la figura 3.7 se muestra una vista de planta del humedal artificial, donde se observa la distribución de las tuberías de distribución y captación.

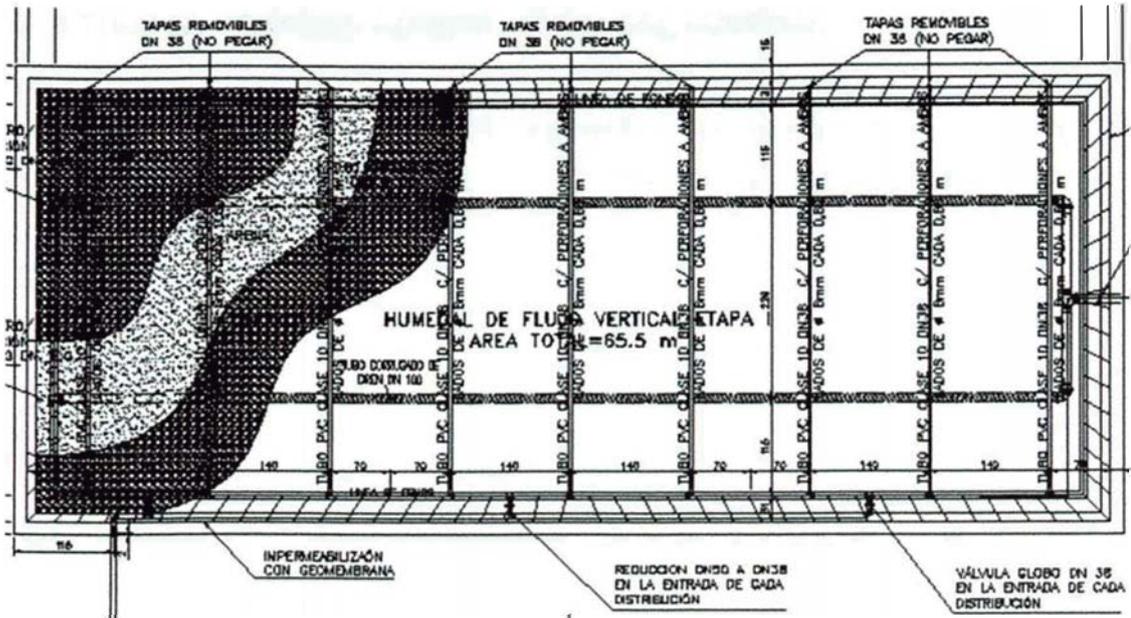


Figura 3.7: Vista de planta del Humedal artificial de flujo vertical proyectado

Fuente: Proyecto "Los Parques de Carabaylo II"

CAPÍTULO IV: PROCESO CONSTRUCTIVO DEL HUMEDAL

Para este informe se ha considerado solamente la construcción de la cubeta del humedal, por ser una estructura no convencional al resto de componentes del sistema de tratamiento.

Así mismo se han diferenciado las siguientes etapas:

4.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS

Al ser el humedal una estructura semienterrada, esta etapa inicia con la excavación localizada del área total del humedal a una profundidad de 50 centímetros.

La profundidad de esta excavación localizada deberá ser controlada mediante medición y nivelación topográfica, la excavación deberá realizarse hasta 4 pulgadas por debajo de la cota de fondo del humedal.

Luego de la excavación se procederá a nivelar y compactar, relleno con material de préstamo hasta llegar a la cota de fondo del humedal, procurando dejar con pendiente de 1% a la dirección de escurrimiento del agua dentro del humedal.

4.2 CONTRUCCIÓN DE LA CUBETA

La estructura de la cubeta estará conformada por un parapeto y cimentación corrida de concreto armado.

La estructura será sometida principalmente a presiones de terreno desde el interior del humedal. Es factible realizar los vaciados de concreto por tramos e inclusive zapatas y parapeto por separado.

La armadura de acero debe cumplir con las especificaciones y dimensiones requeridas en los planos de estructuras. El vaciado de concreto debe realizarse de acuerdo a los estándares de vaciados de concreto armado.

Luego del desencofrado, se debe procurar no dejar alambres o elementos punzocortantes que sobresalgan de la pared interior del humedal.



Figura N° 4.1. Encofrado del parapeto de la cubeta

Fuente: Obra Parques de Carabaylo II

4.3 IMPERMEABILIZACIÓN DE LA CUBETA

Consiste “forrar” o proteger la base inferior y paredes interiores del humedal con geomembrana. Este proceso se realiza para asegurar que el suelo de fundación del humedal no se contamine con el agua que sea tratada dentro de la estructura.

Antes de la colocación de la geomembrana se debe realizar una inspección visual tanto en la pared interior y el fondo del humedal no presente zonas filosas o sobresalientes. Todo esto con el fin de evitar la perforación de la geomembrana durante la colocación de esta o futuras actividades de construcción.

Para el proyecto se ha optado además por colocar geotextil sobre la geomembrana con la finalidad de proteger la geomembrana durante el proceso se relleno del sustrato.



Figura N° 4.2. Colocación de geomembrana

Fuente: Obra Parques de Carabayllo II



Figura N° 4.3. Colocación de geotextil de protección

Fuente: Obra Parques de Carabayllo II

4.4 RELLENO DEL SUSTRATO

Una vez colocada la membrana impermeabilizante en la cubeta, se comenzará a rellenar de sustratos a la misma vez que se disponen los mecanismos de entrada y salida. Se debe lavar el sustrato para eliminar los finos que pudieran bloquear los espacios libres, lo cual contribuiría a la obstrucción del sustrato. Es

preferible el sustrato de cantos rodados al sustrato triturado angular debido a que el primero queda más suelto creando más espacios.

Se comenzará a rellenar una vez se hayan completado las actividades anteriormente mencionadas. Puesto que la arena es el sustrato escogido para la zona principal de tratamiento, se deben analizar sus propiedades en un laboratorio acreditado.

Entre las pruebas a realizar se encuentran el análisis granulométrico y la determinación de la conductividad hidráulica.



Figura N° 4.4. Colocación de confitillo de base

Fuente: Obra Parques de Carabayllo II



Figura N° 4.5. Colocación del sustrato de arena

Fuente: Obra Parques de Carabayllo II

4.5 ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y SALIDA

Los orificios de distribución en la red de entrada para humedales de flujo vertical deben realizarse en campo con el diámetro y distribución óptimos para garantizar la distribución homogénea de las aguas residuales por toda el área del humedal.

De forma similar, la red de salida debe colocarse de esta manera para garantizar que el flujo del efluente del sistema hacia la cisterna de salida del humedal.



Figura N° 4.6. Colocación de la estructura de salida

Fuente: Obra Parques de Carabayllo II



Figura N° 4.7. Colocación de la estructura de entrada

Fuente: Obra Parques de Carabayllo II

4.6 PLANTACIÓN DE VEGETACIÓN

La planta macrófita utilizada en este sistema de tratamiento diseñado es la totora (*Scirpus californicus*) que es un hierba acuática perenne, de escaso porte y fasciculada, que puede llegar a medir hasta 4 m de altura, de los cuales al menos la mitad está sumergida bajo el agua y la otra parte se halla por encima de la superficie.

Esta planta se colocó en el humedal mediante plantación, durante este procedimiento se aseguró que la raíz ocupe toda la zona del sustrato de arena y el tallo emergente se encuentre firme y estable sobre el sustrato.

4.7 COLOCACIÓN DE BANCAS

Finalmente, ya que el humedal se ubica en la zona del área verde del condominio es necesario armonizar dicha área de esparcimiento y el humedal construido.

Para ello se ha optado por la construcción de bancas que se apoyen en el parapeto del humedal. Para ello se procede a la instalación de escuadras metálicas que serán el soporte de las bancas los cuales se fijan mediante pernos de anclaje en la cara superior de parapeto del humedal, las escuadras tienen una separación de 60cm. Luego de ello se instalan las bancas de madera fijadas mediante pernos a la estructura metálica.



Figura N° 4.8. Colocación de bancas de madera

Fuente: Obra Parques de Carabaylo II



Figura N° 4.9. Vista del humedal final

Fuente: Obra Parques de Carabaylo II

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Los criterios de diseño del humedal propuestos en base a experiencias anteriores están alineados con: la normativa de consumo de agua potable en viviendas, los estándares de calidad ambiental para el agua y los lineamientos de la OMS; con lo cual se busca asegurar el cumplimiento de la normativa aplicable.
- La metodología propuesta para del diseño del humedal de flujo vertical del condominio "Los Parques de Carabayllo II" puede ser aplicada a los diferentes proyectos de tratamiento de aguas grises en la capital o provincias por ser de sencilla aplicación.
- El uso de los sistemas de pretratamiento aseguran una mayor duración en el funcionamiento del humedal artificial,; ya que al evitar el ingreso de sólidos al humedal se evita la saturación de poros dentro del sustrato.
- El área transversal del humedal de flujo vertical fue dividido en tres zonas, para que, durante la operación se usen solo dos terceras partes del humedal. Ello con la finalidad de contar con zonas no saturadas de agua donde se puedan llevar a cabo mejor los procesos aeróbicos de tratamiento del agua residual.
- Un adecuado proceso constructivo y los controles de materiales aseguran el buen funcionamiento y eficiencia del sistema de tratamiento.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar análisis de calidad del agua del efluente, una vez que se el condominio se encuentre en funcionamiento y se cuente con el

caudal de diseño del afluente. Así mismo se recomienda realizar análisis anuales para verificar la evolución de la eficiencia del tratamiento y realizar las acciones de mantenimiento pertinentes.

- Se recomienda tener condiciones totales de luz solar, no debe ocurrir que el humedal este completamente en sombra. Es importante que el área superficial pueda secarse regularmente por completo, pues de lo contrario, el riesgo de obstrucción aumenta debido al crecimiento excesivo del biofilm.
- Para la determinación de la altura del humedal, es recomendable contar con unos 15 cm de borde libre para eventuales eventos de acumulación de agua.
- Se recomienda colocar una capa de geotextil sobre la capa de geomembrana con la finalidad de evitar daños a la geomembrana en la etapa de relleno del sustrato.
- No se recomienda la colocación de geotextiles entre capas del sustrato, ya que ello propicia la saturación de limos en la superficie del geotextil y la ineficiencia del tratamiento del sistema.
- El sustrato no debe contener arcilla, limo, ni otro material fino, además no debe tener bordes afilados.

BIBLIOGRAFÍA

- Interstate Technology & Regulatory Council "*Constructed Treatment Wetlands*", Documento de guía técnica y regulatoria (diciembre 2003)
- MITSCH, W.J. GOSELINK, J.G. "*Wetlands*". John Wiley & Sons. Nueva York, 2007.
- ONU-HABITAT "*Manual de Humedales Artificiales*". Secretaría de las Naciones Unidas, 2008
- RAMALHO, R.S. "*Tratamiento de Aguas Residuales*". Reverté. Barcelona, 2003.
- ROMERO, J.A. "*Calidad del Agua*". Alfaomega. México D.F., 1999.
- ROMERO, J.A. "*Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de Diseño*". Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, 1999.

ANEXO 1

MARCO LEGAL NACIONAL PARA LA CALIDAD DEL AGUA

En el Perú, son 5 los ministerios que regulan la calidad del agua:

- Ministerio del Ambiente
- Ministerio de Agricultura
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
- Ministerio de Energía y Minas
- Ministerio de la Producción

En el Decreto Supremo N° 1013, donde se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente; se menciona o siguiente respecto a los ECA y LPM:

“Título II, Competencia y funciones

Artículo 7°: Funciones Específicas

- a) Elaborar los estándares de calidad ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo a los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante decreto supremo.
- b) Aprobar los lineamientos, las metodologías, los procesos y los planes para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) en los diversos niveles de gobierno...”

Así mismo se han creado instituciones reguladoras, entre ellas:

a) Autoridad Nacional del Agua

La Autoridad Nacional del Agua (ANA), es un organismo especializado adscrito al Ministerio de Agricultura. Fue creada el 13 de marzo del 2008 por el decreto legislativo N° 997, con el fin de administrar conservar, proteger y aprovechar los

recursos hídricos de las diferentes cuencas de manera sostenible, promoviendo a su vez la cultura del agua.

Entre las funciones de la Autoridad Nacional del Agua tenemos:

- Elaborar la Política, Estrategia y Plan Nacional de Recursos Hídricos, dentro del marco de la Política Nacional del Ambiente.
- Dictar normas y establecer procedimientos para asegurar la gestión integrada y sostenible de los Recursos Hídricos; asimismo, proponer las Normas Legales para la gestión del agua que requieran ser aprobadas por Decreto Supremo.
- Otorgar, modificar y extinguir, previo estudio técnico, derechos de uso de agua, autorizaciones de vertimientos y de reúso de agua residual.
- Ejercer jurisdicción administrativa exclusiva en materia de aguas, desarrollando acciones de administración, fiscalización, control y vigilancia, para asegurar la conservación y protección del agua en cuanto a su cantidad y calidad de los bienes naturales asociados a esta, además, de la infraestructura hidráulica multisectorial, ejerciendo para tal efecto la facultad sancionadora y coactiva.
- Promover programas de educación, difusión y sensibilización, sobre la importancia del agua para la humanidad enmarcadas dentro de una Cultura del Agua, que se reconozca el valor social, ambiental y económico de dicho recurso.

b) Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos

Buscando articular el accionar del Estado, para conducir los procesos de gestión integrada y de conservación de los recursos hídricos en los ámbitos de cuencas de los ecosistemas que lo conforman y de los bienes asociados, se crea el

Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos bajo la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338. El ANA es el ente rector y la máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos.

El Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos tiene por objetivo el aprovechamiento sostenible, la conservación y el incremento de los recursos hídricos.

1.1 Normativa Legal para los ECA y LMP del agua

De acuerdo a la investigación realizada, se han encontrado 24 normativas nacionales aplicables a la calidad del agua (ver Anexo N°2), entre ellas se tienen:

- Ley 28611: Ley General del Ambiente
- Decreto Legislativo 1055: Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente
- Decreto Supremo 007-2008 MINAM: Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente
- Decreto Supremo 039-2008 AG: Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua (ANA)
- Ley 29338: Ley de Recursos Hídricos
- Decreto Supremo 001-2010 AG: Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos
- Resolución Jefatural 202-2010 ANA: Aprueban clasificación de cuerpos de aguas superficiales y marino
- Decreto Supremo 002-2008 MINAM: Estándares de Calidad Ambiental para Agua
- Decreto Supremo 023-2009 MINAM: Disposiciones para la implementación de los ECA para Agua
- Norma Técnica OS.90: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

a) Estándares de Calidad Ambiental para el Agua

Estos estándares fueron aprobados por el DS N° 002-2008-MINAM y tienen como objetivo de establecer el nivel de concentración o grado de

elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos o biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente (ver Anexo N° 2).

El DS 023-2009 aprueba las disposiciones para la implementación de las ECA para el agua a nivel nacional. Para una correcta aplicación de los ECA se establecen categorías para los usos de agua de acuerdo al cuadro N° A.1

Cuadro N°A.1: Categorías de los ECAs para el agua

Categoría 1: Poblacional y recreacional			Categoría 2: Actividades marino costeras			Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales		Categoría 4: Conservación del ambiente acuático							
Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		Aguas superficiales destinadas para recreación		Agua de mar			Parámetros para riego de vegetales de tallo bajo y alto		Parámetros para bebidas de animales		Ríos	Ecosistemas marino costeros			
A1	A2	A3	B1	B2	Sub. Cat. 1	Sub. Cat. 2	Sub. Cat. 3								
Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto primario	Contacto Secundario	Extracción y cultivo de moluscos bivalvos (C1)	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (C2)	Otras actividades (C3)	Vegetales de tallo bajo	Vegetales de tallo alto	Parámetros para bebidas de animales	Lagunas y lagos	Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos

Fuente: Página web del Ministerio del Ambiente

b) Límites Máximos Permisibles de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas

Mediante el Decreto Supremo 003-2010 MINAM se aprueba los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. Además, obliga a los titulares de las PTAR (planta de tratamiento de aguas residuales), realizar el monitoreo de sus efluentes.

Cuadro N°A.2: Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NPM/100mL	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5 - 8.5
Sólidos totales en suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	< 35

Fuente: Decreto Supremo 003-2010 MINAM

ANEXO N° 2 - IDENTIFICACIÓN E INTERPRETACION DE REQUISITOS LEGALES Y OTROS REQUISITOS

Identificación						Interpretación
N°	TIPO DE NORMA	NUMERO CODIGO	FECHA PUBLICACION / ENTREGA	ENTIDAD QUE EXPIDE	Títulos del dispositivo legal / Descripción del requisito	
1	Ley	28611	15/10/2005	Congreso de la República	Ley General del Ambiente	<p>La Ley General del Ambiente es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Esta Ley recoge los principios internacionales en materia de protección y conservación del ambiente, los recursos naturales, el daño ambiental, entre otros. Asimismo, ha confirmado el carácter transectorial de la gestión ambiental en el país, ahora coordinado a nivel nacional a través del Ministerio del Ambiente.</p> <p>APLICACIÓN: En el Artículo 122 se señala que las empresas o entidades que desarrollan actividades que generen aguas residuales o servidas, son responsables de su tratamiento, a fin de reducir sus niveles de contaminación hasta niveles compatibles con los LMP, los ECA y otros estándares establecidos en instrumentos de gestión ambiental, de conformidad con lo establecido en las normas legales vigentes.</p>
2	Decreto Legislativo	1055	27/06/2008	Congreso de la República	D.L. que modifica la Ley N° 28611	<p>Las modificaciones planteadas en el Decreto Legislativo N° 1055 se realizan con la finalidad de complementar la Ley General del Ambiente, para que incorpore los mecanismos de transparencia, participación ciudadana y las sanciones aplicables al incumplimiento de las obligaciones contenidas en ella. Se modifican los artículos 32°, 42°, 43°, 51° de la mencionada Ley.</p> <p>APLICACIÓN: Se busca precisar la definición de Limite Máximo Permisible y conciliar algunas competencias del Ministerio del Ambiente referidas al Sistema Nacional de Información Ambiental.</p>
3	Decreto Legislativo	1013	14/05/2008	Congreso de la República	Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente	<p>El Ministerio del Ambiente es el ente rector del sector ambiental nacional, que coordina en los niveles de gobierno local, regional y nacional. Nació como una respuesta política a las obligaciones ambientales internacionales del Perú en materia ambiental; constituyéndose a nivel interno como en el motor de la coordinación y sistematización de la gestión ambiental del país, el replanteamiento de la importancia de la conservación ambiental, aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, entre otros. El Ministerio del Ambiente absorbió al otrora Consejo Nacional del Ambiente (CONAM). El CONAM fue creado por Ley N° 26410 publicada el 22 de diciembre de 1994.</p> <p>APLICACIÓN: En el Artículo 7° se especifica que el Ministerio del Ambiente elabora, aprueba los lineamientos, las metodologías, los procesos y los planes de los ECA y LMP.</p>
4	Decreto Legislativo	1039	26/06/2008	Congreso de la República	D.L. que modifica el D.L. 1013	<p>Las modificaciones están destinadas a delimitar las funciones del Viceministerio de Desarrollo Estratégico de referidas al diseño de la estrategia nacional de gestión integrada de las áreas naturales protegidas por el Estado.</p> <p>APLICACIÓN: Se autoriza expresamente al Ministerio a revisar los Estudios de Impacto Ambiental aprobados por las autoridades competentes con la finalidad de fortalecer el Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental y asegurar la viabilidad ambiental de los proyectos de inversión.</p>
5	Ley	26821	26/06/1997	Congreso de la República	Ley Orgánica para el aprovechamiento sostenible de los Recursos Naturales	<p>Dicha Ley establece que la soberanía del Estado se traduce en la competencia que tiene para legislar y ejercer funciones ejecutivas y jurisdiccionales sobre los mismos. En ese sentido, es su responsabilidad promover el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, a través de las Leyes especiales sobre la materia, las políticas del desarrollo sostenible, la generación de la infraestructura de apoyo a la producción, fomento del conocimiento científico tecnológico, la libre iniciativa y la innovación productiva.</p> <p>APLICACIÓN: Se considera a las aguas superficiales y subterráneas como recursos naturales, por lo tanto patrimonios de la Nación y en consecuencia el estado es soberano en dictaminar leyes que regulen sus usos.</p>

ANEXO N° 2 - IDENTIFICACIÓN E INTERPRETACION DE REQUISITOS LEGALES Y OTROS REQUISITOS

Identificación						Interpretación
N°	TIPO DE NORMA	NUMERO CODIGO	FECHA PUBLICACION / ENTREGA	ENTIDAD QUE EXPIDE	Títulos del dispositivo legal / Descripción del requisito	
6	Decreto Supremo	007-2008 MINAM	06/12/2008	Ministerio del Ambiente	Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente	<p>Es el documento que establece la estructura orgánica del ente rector de la Política Ambiental Nacional.</p> <p>APLICACIÓN: En el Artículo 12° se establece como funciones del Viceministerio de Gestión Ambiental:</p> <p>c) Elaborar el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) respectivos, que deben contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados por Decreto Supremo.</p> <p>d) Proponer la aprobación de los ECA y LMP, así como sus lineamientos, las metodologías, los procesos y los planes.</p> <p>En el Artículo 39° se establecen como funciones de la Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental:</p> <p>o) Elaborar el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) respectivos, que deben contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados por Decreto Supremo, así como aprobar la aplicación de estándares de nivel internacional en los casos que no existan ECA o LMP equivalentes aprobados en el país.</p> <p>En el Artículo 40° Se establece como función de la Dirección General de Calidad Ambiental:</p> <p>c) Proponer los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), incluyendo la aplicación de estándares de nivel internacional en los casos que no existan ECA o LMP equivalentes aprobados en el país.</p>
7	Decreto Legislativo	997	13/03/2008	Congreso de la República	Aprueban la Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Agricultura.	<p>La presente norma tiene por finalidad establecer la naturaleza jurídica, el ámbito de competencia, las funciones y la organización interna del Ministerio de Agricultura.</p> <p>APLICACIÓN: Se crea la Autoridad Nacional del Agua como organismo público adscrito al Ministerio de Agricultura, responsable de dictar las normas y establecer los procedimientos para la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos.</p> <p>La Autoridad Nacional del Agua es la encargada de elaborar la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos y el Plan Nacional de Recursos Hídricos, ejerciendo potestad sancionadora en la materia de su competencia, aplicando las sanciones de amonestación, multa, inmovilización, clausura o suspensión por las infracciones que serán determinadas por Decreto Supremo y de acuerdo al procedimiento que se apruebe para tal efecto.</p>
8	Decreto Supremo	031-2008 AG	11/12/2008	Ministerio de Agricultura	Reglamento de la Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Agricultura.	<p>APLICACIÓN: El artículo 3° de dicho D.S. se señala que los recursos hídricos están comprendidos dentro del Sector Agrario, así como las tierras de uso agrícola y las tierras forestales.</p>
9	Decreto Supremo	023-2005 SA	30/12/2005	Ministerio de Salud	Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Salud.	<p>APLICACIÓN: El artículo 50° se señala como funciones de la Dirección de Ecología y Protección del Ambiente.</p> <p>h) Diseñar e implementar el sistema de registro y control de vertimientos en relación a su impacto en el cuerpo receptor; así como el registro y control de plaguicidas y desinfectantes de uso doméstico, industrial y en salud pública.</p> <p>El artículo 51° se señala como funciones de la Dirección de Saneamiento Básico.</p> <p>b) Establecer las normas técnicas sanitarias, del abastecimiento de agua para consumo humano; el manejo, reuso y vertimiento de aguas residuales domésticas y disposición de excretas; el manejo de residuos sólidos; y la vigilancia y control de artrópodos vectores de enfermedades transmisibles y plagas de importancia en salud pública, en el marco de la normatividad vigente.</p> <p>c) Establecer las normas técnicas de calidad de agua para consumo humano.</p> <p>d) Vigilar la calidad sanitaria de los sistemas de agua y saneamiento para la protección de la salud de la población.</p>

ANEXO N° 2 - IDENTIFICACIÓN E INTERPRETACION DE REQUISITOS LEGALES Y OTROS REQUISITOS

Identificación						Interpretación
N°	TIPO DE NORMA	NUMERO CODIGO	FECHA PUBLICACION / ENTREGA	ENTIDAD QUE EXPIDE	Títulos del dispositivo legal / Descripción del requisito	
10	Decreto Supremo	039-2008 AG	21/12/2008	Autoridad Nacional del Agua	Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua (ANA)	<p>La Autoridad Nacional del Agua es el ente rector del Sistema de Recursos Hídricos, el cual es parte del Sistema Nacional de Gestión Ambiental y se constituye en la máxima autoridad técnico-normativa en materia de recursos hídricos y los bienes asociados a éstos.</p> <p>La Autoridad Nacional del Agua tiene por finalidad realizar y promover las acciones necesarias para el aprovechamiento multisectorial y sostenible de los recursos hídricos por cuencas hidrográficas, en el marco de la gestión integrada de los recursos naturales y de la gestión de la calidad ambiental nacional estableciendo alianzas estratégicas con los gobiernos regionales, locales y el conjunto de actores sociales y económicos involucrados.</p>
11	Ley	29338	31/03/2009	Congreso de la República	Ley de Recursos Hídricos	<p>Esta ley busca modernizar y hacer más eficiente el uso del agua tanto en los sectores productivos, como en el doméstico. En esta ley se crea el Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos, cuyo objetivo será articular el accionar del Estado para conducir los procesos de gestión integrada y de conservación de los recursos hídricos en los ámbitos de las cuencas, los ecosistemas y los bienes asociados.</p> <p>Asimismo, se precisa que la Autoridad Nacional del Agua es el ente rector y la máxima autoridad técnica normativa del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos, teniendo responsabilidad en el funcionamiento del mismo. Una de las funciones inherentes a dicha autoridad será elaborar el método y determinar el valor de las retribuciones económicas por el derecho de uso de agua, así como por los vertimientos residuales en fuentes naturales.</p> <p>APLICACIÓN: En el Artículo 79° Vertimiento de agua residual se precisa: La Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marino, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización.</p> <p>En el Artículo 82° Reutilización de agua residual se precisa que la Autoridad Nacional, a través del Consejo de Cuenca, autoriza el reúso del agua residual tratada, según el fin para el que se destine la misma, en coordinación con la autoridad sectorial competente y, cuando corresponda, con la Autoridad Ambiental Nacional.</p>
12	Decreto Supremo	001-2010 AG	24/03/2010	Ministerio de Agricultura	Aprueban Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos	<p>APLICACIÓN: En el artículo 88° Permiso de uso sobre aguas residuales se expresa:</p> <p>88.1 Para efectos de lo establecido en el artículo 59 de la Ley, entiéndase como aguas residuales a las aguas superficiales de retorno, drenaje, filtraciones resultantes del ejercicio del derecho de los titulares de licencias de uso de agua. La Autoridad Nacional del Agua, a través de sus órganos desconcentrados, otorga permisos que facultan el uso de estas aguas por plazo indeterminado.</p> <p>88.2 La variación de la cantidad u oportunidad, o la extinción de las aguas de retorno, drenaje o filtraciones, no ocasiona responsabilidad alguna a la Autoridad Nacional del Agua ni al titular de la licencia de uso de agua que generan estas aguas, con relación al titular de un permiso de uso sobre aguas residuales.</p> <p>En el artículo 106° Clasificación de los cuerpos de Agua se estipula:</p> <p>106.1 Los cuerpos naturales de agua se clasifican en función a sus características naturales y los usos a los que se destinan.</p> <p>106.2 La Autoridad Nacional del Agua clasifica los cuerpos de agua, tomando como base la implementación progresiva de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua (ECA- Agua), que apruebe el Ministerio del Ambiente de acuerdo con los usos actuales y potenciales al que se destina el agua.</p> <p>En los Capítulos VII Vertimientos de Aguas Residuales tratadas y VIII Reuso de Aguas Residuales Tratadas se desarrollan temas de autorizaciones en caso de vertimiento y reuso de aguas residuales.</p>
13	Resolución Jefatural	202-2010 ANA	22/03/2010	Autoridad Nacional del Agua	Aprueban Clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino	<p>Mediante esta resolución se aprueba la clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino - costeros, conforme a la relación que se adjunta en el Anexo N° 1 y que forma parte de la presente Resolución, de acuerdo al Informe Técnico N° 0112-2010-ANA-DCPRH-ERH-CAL de fecha 18-03-2010</p>

ANEXO N° 2 - IDENTIFICACIÓN E INTERPRETACION DE REQUISITOS LEGALES Y OTROS REQUISITOS

Identificación						Interpretación
N°	TIPO DE NORMA	NUMERO CODIGO	FECHA PUBLICACION / ENTREGA	ENTIDAD QUE EXPIDE	Títulos del dispositivo legal / Descripción del requisito	
14	Decreto Supremo	002-2008 MINAM	31/07/2008	Ministerio del Ambiente	Aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua	Mediante este decreto se aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contenidos en el Anexo I del referido Decreto Supremo, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.
15	Decreto Supremo	023-2009 MINAM	19/12/2009	Ministerio del Ambiente	Aprueban disposiciones para la implementación de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua	APLICACIÓN: En el artículo 2° se indican las precisiones de las Categorías de los ECA para agua: Categoría 1: Poblacional y Recreacional Categoría 2: Actividades Marino Costeras Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales Categoría 4: Conservación del ambiente acuático
16	Resolución Jefatural	489-2010 ANA	26/07/2010	Autoridad Nacional del Agua	Modifican la R.J. 202-2010 ANA	APLICACIÓN: Resolución que elimina la clase especial en todos los cuerpos de agua marino costeros y modifica la clasificación de los cuerpos de agua del mar del Callao y de Miraflores a la Categoría 2 y Subcategoría 3.
17	Decreto Supremo	021-2009 VIVIENDA	20/11/2009	Ministerio de Vivienda	Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario	La presente norma regula mediante VMA las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos y asegurar su adecuado funcionamiento, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.
18	Decreto Supremo	003-2011 VIVIENDA	22/05/2011	Ministerio de Vivienda	Reglamento del D.S. 021-2009-VIVIENDA	El D.S. establece los procedimientos para controlar las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. APLICACIÓN: Todos los usuarios que viertan agua residual no doméstica deben presentar una declaración jurada a la EPS o PES, ésta EPS podrá ejecutar tomas de muestra inopinadas en la que podrá estar presente el usuario no doméstico. Si las concentraciones de las sustancias del desagüe del usuario no doméstico sobrepasa lo establecido en los Anexos 1 y 2 de D.S. 021-2009, se podrán aplicar al usuario el cobro de acuerdo a lo establecido por la SUNASS y las sanciones correspondientes a faltas leves, graves y muy graves.
19	Decreto Supremo	010-2012 VIVIENDA	04/03/2012	Ministerio de Vivienda	Modifican el D.S. 003-2011 VIVIENDA que aprobó el Reglamento del D.S. 021-2009 VIVIENDA	APLICACIÓN: Modifica los Artículos 5° De las obligaciones, 20° Del procedimiento de monitoreo, 27° De las infracciones graves, 28° De las infracciones muy graves y 29° De las sanciones del DS 003-2011-VIVIENDA
20	Norma Técnica	OS. 090	23/05/2006	Ministerio de Vivienda	Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales	Cuyo objetivo es normar el desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales en los niveles preliminar, básico y definitivo. APLICACIÓN: Aplica a las plantas de tratamiento de aguas municipales, cuyos efluentes serán descargadas a un cuerpo receptor o reutilizadas.
21	Decreto Supremo	022-2009 VIVIENDA	27/11/2009	Ministerio de Vivienda	Modifican la Norma Técnica OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones	Decreto que modifica la Norma Técnica OS.90 "Plantas de Pralamiento de Aguas Residuales". Incorpora el subnumeral 3.139 Tratamiento preliminar Avanzado, modifica el subnumeral 3.61 emisario Submarino; ambos subnumerales del numeral 3. Definiciones. Además modifica el subnumeral 4.3.11 del subnumeral 4.3 Normas para los estudios de factibilidad

ANEXO N° 2 - IDENTIFICACIÓN E INTERPRETACION DE REQUISITOS LEGALES Y OTROS REQUISITOS

Identificación						Interpretación
N°	TIPO DE NORMA	NUMERO CODIGO	FECHA PUBLICACION / ENTREGA	ENTIDAD QUE EXPIDE	Títulos del dispositivo legal / Descripción del requisito	
22	Norma Técnica	IS. 020	23/05/2006	Ministerio de Vivienda	Tanques Sépticos	Establece criterios generales de diseño, construcción y operación de un tanque séptico, como una alternativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas tanto para zonas urbanas como rurales que no cuenten con redes de captación de aguas residuales.
23	Decreto Supremo	003-2010 MINAM	17/03/2010	Ministerio del Ambiente	Aprueba los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de las Plantas de Tratamiento de aguas Residuales Domésticas	Mediante este D.S. se aprueba los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. Además, obliga a los titulares de las PTAR (planta de tratamiento de aguas residuales), realizar el monitoreo de sus efluentes.
24	Decreto Supremo	004-2010 AG	17/07/2010	Ministerio de Agricultura	Declaran de interés nacional la protección de la calidad del agua en fuentes naturales y sus bienes asociados	Decreto que exhorta a los gobiernos regionales, locales y las EPS priorizar la formulación y ejecución de proyectos de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales que se generen en sus respectivas jurisdicciones.

VER:

plano N°1

plano N°2

plano N°3

plano N°4

plano N°5