

EFLUENTES CLOACALES EN LA PROVINCIA DE CORDOBA

JOSE ANDRES CHICALA LOPEZ – FCEFyN - 2014

*PRACTICA
PROFESIONAL
SUPERVISADA*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FISICAS Y NATURALES



Cátedra de Práctica Profesional Supervisada "Efluentes Cloacales en la Provincia de Córdoba"

Informe Final

Alumno: **José Andrés Chicala López**

Carrera: **Ingeniería Civil**

Tutor Interno: **Ing. Hugo Porchietto**

Tutor Externo: **Ing. Ana María Cossavella**

Año: **2014**



El Desarrollo Sostenible ha pasado a constituir un objetivo explícito, importante y urgente de nuestra aldea global, con la consiguiente necesidad de cambio significativo en las pautas de desarrollo, producción, consumo y comportamiento. Así, resulta claramente expresiva la conclusión final de la introducción al "Programa 1992-2000 de la unión Europea sobre Política y Actuación en materia de Medio ambiente y desarrollo Sostenible":

"No podemos Esperar... y No podemos Equivocarnos"

Introducción Manual Uralita año 2000



1. INDICE

1. INDICE	3
2. INDICE DE IMAGENES	6
3. INDICE DE TABLAS	7
4. INTRODUCCION	8
5. OBJETIVOS	9
5.1Objetivos específicos	9
6. METODOLOGIA	9
7. PLAN DE ACTIVIDADES	10
8. DESARROLLO	11
9. Primera Fase: Relevamiento Provincial de los sistemas de tratamiento de Efluentes Cloacales en la Provincia de Córdoba	11
9.1Objetivos	11
9.2Metodología	11
9.3Descripción de las tareas realizadas	11
9.3.1 Elección de los municipios a relevar	11
9.3.2 Confección del formulario de Relevamiento	12
9.3.3 Contacto y Envío de Solicitud	17
9.4Resultados obtenidos	17
9.4.1 Consideraciones Preliminares	17
9.4.2 Municipios que cuentan con servicio de Tratamiento de Efluentes	18
9.4.3 Población con Cobertura de Servicio	18
9.4.4 Sistemas de Tratamientos más utilizados	19
9.4.5 Destino de los Efluentes Tratados - Cuerpos Receptores	19
9.4.6 Municipios inspeccionados y cumplimiento de Parámetros	20
10. Segunda Fase: Visita a Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDARs) de diferentes tipologías	22
10.1 Introducción	22
10.2 Normativas Aplicables para obras Sanitarias de la Provincia	22
10.2.1Constitución Provincial	22
10.2.2Ley Provincial del Ambiente N°7343/85	22
10.2.3Decreto Provincial N°5589/73	23
10.2.4Decreto Provincial N°415/99	23
10.2.5Resolución 233/2007	23
10.2.6Resolución 111/14	23
10.2.7Ley N°8973/02	23
10.3 Caracterización de las Aguas residuales	24
10.4 Marco Teórico	24
10.5 Tratamientos Secundarios	25
10.5.1Plantas de Lodos Activados	25
10.5.2Lagunas de Estabilización	30



10.5.3 Lechos Percoladores	33
10.6 Plantas Visitadas	36
10.7 EDAR Bajo Grande	36
10.7.1 Ficha Técnica	36
10.7.2 Descripción de Planta	36
10.7.3 Comentarios Finales	39
10.8 EDAR La Falda	40
10.8.1 Ficha Técnica	40
10.8.2 Descripción de Planta	40
10.8.3 Comentarios Finales	43
10.9 EDAR Valle Hermoso	44
10.9.1 Ficha Técnica	44
10.9.2 Descripción de Planta	44
10.9.3 Comentarios Finales	46
10.10 EDAR Villa María	47
10.10.1 Ficha Técnica	47
10.10.2 Descripción de Planta	47
10.10.3 Comentarios Finales	48
10.11 EDAR VILLA NUEVA	49
10.11.1 Ficha Técnica	49
10.11.2 Descripción de la Planta	49
10.11.3 Comentarios Finales	51
11. Tercera Fase: Sistemas de Tratamiento aplicables a Pequeñas Urbanizaciones.	52
11.1 Introducción	52
11.2 Área de Estudio	53
11.2.1 Clima	53
11.2.2 Economía	54
11.3 Sistemas Convencionales	55
11.3.1 Fosa Séptica	55
11.3.2 Tanque de Decantación – Digestión	68
11.3.3 Plantas Compactas	70
11.4 Sistemas No Convencionales	77
11.4.1 Humedales o Wetlands	77
11.4.2 B.R.A.I.N Bioreactor Anaerobio Integrado	89
11.4.3 Filtros Verdes	92
11.4.4 Infiltración Rápida	98
11.4.5 Escorrentía Superficial	99
11.4.6 Cultivos acuáticos	99
11.4.7 Comentarios Finales y Comparación de los sistemas analizados	103
12. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DEPURACION	107
12.1 Criterios de Selección	107



12.2 Preselección	108
12.3 Selección	109
13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
14. BIBLIOGRAFIA	112
14.1 Libros y Normas.....	112
14.2 Apuntes	112
14.3 Revistas y Documentos de Proyectos de Investigación	112
14.4 Sitios Web	113



2. INDICE DE IMAGENES

Imagen 1 Captura 1º Pagina Formulario Web	13
Imagen 2 Captura 2º Pagina Formulario Web	14
Imagen 3 Captura 3º Pagina Formulario Web	15
Imagen 4 Captura 4º Pagina Formulario Web	16
Imagen 5 Esquema de Lodos Activados.....	25
Imagen 6 Vista Aérea Bajo Grande.....	37
Imagen 7 Cámara de Rejas	37
Imagen 8 Rejas Secundarias y Bombas de impulsión.....	38
Imagen 9 Lechos Percoladores	38
Imagen 10 Cámara de Contacto y Biodigestores	39
Imagen 11 Vista aérea La Falda.....	40
Imagen 12 Desarenadores y Cámara de Rejas	41
Imagen 13 Cámara de Contacto y Aireadores	41
Imagen 14 Floculadores	42
Imagen 15 Sedimentadores Secundarios	42
Imagen 16 Sedimentador Terciario y Cámara de Contacto.....	43
Imagen 17 Vista Aérea Valle Hermoso.....	44
Imagen 18 Microtamices	45
Imagen 19 Cámara de Contacto y Sedimentador secundario.....	45
Imagen 20 Floculador y Sedimentador Terciario.....	46
Imagen 21 Cámara de Rejas y Laguna Primaria	47
Imagen 22 Lagunas Primarias y aireadores.....	48
Imagen 23 laguna Primaria y Cámara de Contacto	48
Imagen 24 Vista Aérea Villa Nueva.....	49
Imagen 25 Laguna Primaria.....	50
Imagen 26 Laguna Secundaria.....	50
Imagen 27 Plantación de arboles	51
Imagen 28 Embalse Los Molinos - Córdoba.....	53
Imagen 29 Provincia de Córdoba	53
Imagen 30 Fosa Séptica (Depuración con Humedales construidos- García / Corzo)	55
Imagen 31 Esquema de Fosa Séptica de 3 Compartimientos - (Manual Uralita).....	57
Imagen 32 Esquema de Fosa Séptica con Pozo filtrante (Manual Uralita).....	63
Imagen 33 Esquema de Fosa Séptica y zanjas filtrantes (Manual Uralita)	63
Imagen 34 Detalle Constructivo (Manual Uralita)	64
Imagen 35 Esquema de Fosa Séptica y Lecho Bacteriano (Manual Uralita)	65
Imagen 36 Fosa Séptica y Filtro de Arena (Manual Uralita)	66
Imagen 37 Detalles Constructivos (Manual Uralita)	66
Imagen 38 Esquema General de Fosa Séptica y Filtro de Arena (Manual Uralita).....	67
Imagen 39 Esquema Tanques Imhoff (Manual Uralita)	69
Imagen 40 Planta Compacta Aireación Extendida Bricher S.A. (www.bricher.com.ar)	71
Imagen 41 Planta Compacta Modular Aireación Extendida Bricher S.A.	72
Imagen 42 Diagrama de Funcionamiento Planta Compacta de Aireación Extendida	73
Imagen 43 Planta compacta Anaerobia N&F (www.nyfdecolombia.com).....	74
Imagen 44 Planta Compacta Anaerobia Dinamex S.A. (www.dinamex.com.mx)	75
Imagen 45 Planta Compacta Anaerobia Tapidol S.A. (www.tapidol.com)	75
Imagen 46 Fosa Séptica Roth S.A. con filtro Biológico (www.roth-spain.com)	76
Imagen 47 Fosa Séptica Roth S.A. con filtro Biológico y Percolador Aerobio.....	76
Imagen 48 Humedal con Flujo Superficial (Depuración con Humedales construidos)	78
Imagen 49 Humedal con Flujo SubSuperficial (Depuración con Humedales construidos).....	78
Imagen 50 Humedal - detalle constructivo.....	79
Imagen 51 Macrófito	80
Imagen 52 Diagrama de Flujo - Materia Orgánica	83
Imagen 53 Pretratamiento para Humedales	85
Imagen 54 Sistema BRAIN – México	90
Imagen 55 Diagrama Interno BRAIN	91



Imagen 56 Filtros Verdes.....	92
Imagen 57 Mecanismos de depuración Filtros Verdes.....	93
Imagen 58 Esquema de Filtro Verde.....	94
Imagen 59 Especies Arbóreas a utilizar - www.flickr.com.....	95
Imagen 60 Esquema de Laguna con cultivos acuáticos.....	100
Imagen 61 Cultivos Acuáticos para depuración de Efluentes – (Mov. Ambientalista Brasil)	100
Imagen 62 Cosechado de Plantas Acuáticas excedentes en lagunas con cultivos acuáticos ...	101
Imagen 63 Diferentes tipos de Flujos adoptables en lagunas con cultivos acuáticos	102
Imagen 64 Transporte de contaminantes en lagunas con cultivos acuáticos	103

3. INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Municipios con EDARs	18
Tabla 2 Cobertura de Servicio	18
Tabla 3 Tipo de Tratamientos aplicados.....	19
Tabla 4 Detalle de Cuerpos Receptores	19
Tabla 5 Municipios Inspeccionados.....	20
Tabla 6 Valores medios de Constituyentes Contaminantes	24
Tabla 7 Valores Medios de Constituyentes Contaminantes	24
Tabla 8 Ficha Técnica Bajo Grande.....	36
Tabla 9 Ficha Técnica La Falda	40
Tabla 10 Ficha Técnica Valle Hermoso.....	44
Tabla 11 Ficha Técnica Villa María.....	47
Tabla 12 Ficha Técnica Villa Nueva.....	49
Tabla 13 Distancias Mínimas para la ubicación de la cámara séptica.....	60
Tabla 14 Eficiencia de Remoción (ENOHSA, 1993).....	60
Tabla 15 Sistemas No convencionales	77
Tabla 16 Contaminantes y Proceso de Eliminación	82
Tabla 17 Sustratos para Humedales	88
Tabla 18 Comparación en el rendimiento de diversos sistemas naturales de depuración de aguas residuales urbanas	103
Tabla 19 Características de diseño de los diferentes sistemas de tratamiento Naturales.....	104
Tabla 20 Características de ubicación de los sistemas de tratamiento Naturales	105
Tabla 21 Campo Poblacional de Aplicación de las diferentes Alternativas de Depuración.....	108
Tabla 22 Superficie Necesaria en cada alternativa (Collado).....	109
Tabla 23 Ejemplo de Matriz final de Selección de Alternativas de Depuración.....	109



4. INTRODUCCION

El presente informe, es el detalle y resultado de todas las actividades realizadas durante la Práctica Profesional Supervisada. Dicha práctica tiene como objetivo que siendo todavía alumno, uno entre en contacto con la realidad del ejercicio de la profesión que se vive día a día en nuestra sociedad, y que muchas veces es diferente a lo que uno como estudiante espera.

Este entrar en contacto con la Profesión, implica dejar de realizar un mero trabajo practico en el ámbito académico para comenzar a resolver un ejercicio práctico en la realidad, con las dudas e inseguridades propias de alguien que inicia algo nuevo, ya que muchas veces no habrá lugar a errores, o segundas oportunidades; pero también con las expectativas de quien emprende un nuevo camino. Es por ello que la práctica implica una transición hacia ese nuevo ámbito de la mejor manera posible y siempre acompañado por quien nos puede guiar a ejercer con éxito y responsabilidad esta noble profesión.

En el caso de la práctica que se presenta a continuación, la misma fue llevada a cabo en la Secretaria de Recursos Hídricos y Coordinación de la Provincia de Córdoba, más específicamente en el Área de Preservación y Control del Recurso, allí se estuvo bajo la tutoría de la Ingeniera Ana Cossavella, quien abrió las puertas de dicha Área no solo para cumplir con los objetivos que se mencionan a continuación, sino también para algo más importante, que se buscó constantemente, la maravilla de aprender algo nuevo todos los días y jamás perder la capacidad de asombro sobre todo lo que nos rodea.

Así mismo, en la práctica se pudieron reafirmar algunos de los tantos conceptos teóricos vistos en las sucesivas materias que se cursaron, como también aplicarlos en situaciones reales que muchas veces nos hicieron recurrir al Ingenio, cualidad por excelencia que todo Ingeniero debe tener.



5. OBJETIVOS

El objetivo general de la presente Práctica Profesional Supervisada, consiste en proporcionar un diagnóstico del estado de las EDARs¹ en la Provincia de Córdoba, lo que permitirá a futuro la adopción de estrategias para la preservación del recurso hídrico en la mencionada provincia. Para ello, se realizará un relevamiento de las plantas existentes y proyectadas, y posteriormente se efectuará una evaluación de los principales sistemas de tratamiento para distintos tipos de urbanizaciones, y propuesta para el diseño de pequeñas instalaciones (hoteles, cabañas, etc.).

Ante la necesidad de proporcionar herramientas para establecer políticas adecuadas de planificación de saneamiento, recuperación, conservación y protección de los recursos hídricos en la Provincia de Córdoba, surge la necesidad de planificar estrategias para la fiscalización de los efluentes líquidos que son descargados a distintos cuerpos receptores, por lo que resulta evidente la importancia de realizar un seguimiento de las EDARs.

Así mismo, el desarrollo de la Práctica Supervisada procura alcanzar como objetivo general el obtener experiencia práctica complementaria, aplicando y profundizando los conceptos adquiridos durante los años de estudio de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de Córdoba, empleando los conceptos recibidos durante el cursado de las distintas materias adecuadas a las necesidades de la temática elegida. Facilitando a quien escribe, su inserción como profesional en el ámbito laboral y de trabajo multidisciplinario.

5.1 Objetivos específicos

- Realizar un relevamiento de las estaciones depuradoras de líquidos residuales (EDARs) de las distintas localidades de la Provincia.
- Confeccionar una base de datos informatizada que permita elaborar un diagnóstico preliminar en el que se establezca la condición en la que se encuentra la misma con respecto a la normativa provincial vigente (Decreto 415/99).
- Proponer alternativas de tratamiento para pequeñas poblaciones, según diferentes cuerpos receptores (superficial, subterráneo, riego).
- Aportar datos para elaborar planes de gestión de los efluentes líquidos como herramienta para la toma de decisiones.
- Permitir una racionalización de los esfuerzos, fortaleciendo las instituciones científico – técnicas.

6. METODOLOGIA

La presente práctica profesional supervisada se realizó bajo la modalidad de pasantía No rentada, en la Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación de la Provincia de Córdoba, más específicamente en el Área de Preservación y Control del Recurso.

El alumno asistió a las oficinas del Área antes mencionada, en la calle Humberto Primo 607 de lunes a viernes, 5 horas diarias durante los meses de Diciembre, Enero y Febrero, mientras que en Marzo se dedicó a investigar y redactar sobre lo obrado en los meses anteriores, cumpliendo de esta manera las 300 Horas reglamentarias que establece la cátedra.

Dicha Práctica se dividió en 3 Etapas, una primera de relevamiento, seguido por una segunda etapa de visita a plantas depuradoras de la Provincia de Córdoba, finalizando con una tercera etapa de Investigación, acerca de Sistemas de tratamiento no convencionales que se pueden ofrecer a pequeños Hoteles y Emprendimientos de las Sierras de Córdoba.

El alumno estuvo tutorado por parte de la secretaria por medio de la Ingeniera Ana María Cossavella y por parte de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales a través del Ingeniero Hugo Porchietto.

¹ Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales



7. PLAN DE ACTIVIDADES

1. Recopilar información necesaria para elaborar una base de datos relacionada con el estado actual de las estaciones depuradoras de líquidos residuales (EDARs) en la Provincia de Córdoba. Para ello se realizó un relevamiento de las plantas existentes y/o proyectadas, prestador de servicio, radio servido, tecnología aplicada, entre otros. Mediante antecedentes existentes en la Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación, encuestas y/o contacto con los Municipios y Comunas. Este último se estableció mediante relevamiento en campo, vía telefónica o por correo electrónico a los fines de obtener los datos faltantes.
2. Capacitación en aplicación de criterios de diseño de estaciones depuradoras de líquidos cloacales, distintas tecnologías y normativa a aplicar.
3. Trabajo de campo: Se realizaron visitas a estaciones depuradoras con diversas tecnologías para obtener información, en los casos que correspondía, relativa al organismo responsable del tratamiento (municipio, cooperativa), titular del servicio, radio servido, estado de conservación, mantenimiento, problemas detectados en su funcionamiento, tratamiento y disposición de barros, calidad del efluente generado y todo otro dato que se consideró necesario para un análisis integral del sistema.
4. Análisis de los datos.
5. Evaluación de los principales sistemas de tratamiento para pequeñas urbanizaciones u hoteles, hostería, grupo de cabañas y propuesta de diseño.
6. Elaboración del presente informe final.



8. DESARROLLO

9. Primera Fase: Relevamiento Provincial de los sistemas de tratamiento de Efluentes Cloacales en la Provincia de Córdoba

9.1 Objetivos

Recopilar información técnica para elaborar y organizar una base de datos relacionada con el estado actual de las estaciones depuradoras de líquidos residuales (EDARs) en la Provincia de Córdoba.

Dicha recopilación se plasmó en una planilla, la cual tiene como fin no solo la organización de los datos recopilados, sino también como se mencionó anteriormente la rápida visualización del estado actual de la provincia, la observación de que parámetros son los menos cumplidos por los ensayos realizados en las inspecciones, la visualización de que municipios no han sido inspeccionados en los últimos meses, el estado de los trámites de dichas EDARs en la Secretaría, los principales problemas observados en el normal funcionamiento de las mismas, y los tratamientos más utilizados, entre otros.

9.2 Metodología

Se recopilaron todos los datos por correo electrónico previo llamado telefónico a cada municipio, solicitando al responsable del área que tenga a bien completar el formulario enviado. Posteriormente se exportaron los datos recibidos a una planilla Excel con toda la información organizada. Para finalizar se realizó un análisis estadístico de los datos obtenidos.

9.3 Descripción de las tareas realizadas

9.3.1 Elección de los municipios a relevar

Como primera acción se debía definir a cuantos municipios se relevaría (en función del tiempo disponible en el marco de una PPS). Esto se debía básicamente a que en la provincia hay en total 427 Municipios y comunas y no era viable contactar con todos. Es por esto que se agrupó a los mismos en función de la cantidad de habitantes que tenían, clasificándolos según el siguiente criterio:

- **Municipios que contengan más de 15.000 Hab.**
Los cuales representan al 70% (2.228.597) del total de habitantes de la provincia y al 7% (27) de los Municipios.
- **Municipios que contengan entre 5.000 y 15.000 Hab.**
Los cuales representan al 18% (555.330) del total de habitantes de la provincia y al 15% (69) de los Municipios.
- **Municipios que contengan entre 1.000 y 5.000 Hab.**
Los cuales representan al 10% (306.393) del total de habitantes de la provincia y al 33% (139) de los Municipios.
- **Municipios que contengan hasta 1.000 Hab.**
Lo cual representa al 2% (80.259) del total de habitantes de la provincia y al 45% (192) de los Municipios.

Se observó que a medida que la cantidad de habitantes crecía, las probabilidades de tener un sistema de tratamiento eran más altas. Por lo cual se determinó que se relevaría a los 105 primeros municipios en orden decreciente, en función de la cantidad de habitantes del total Provincial, todos con una población superior o igual a los 5.000 habitantes, sumados a estos 13



municipios que se encuentran por debajo de dicho límite pero que contaban con EDAR según registros existentes en la Secretaria. Siendo los municipios contactados y relevados un total de **118**, quedando así cubierto el 88% de la población provincial. Siendo dichos Municipios los siguientes:

+ de 15.000 Hab.	ALMAFUERTE	DEVOTO
CÓRDOBA	HERNANDO	LUQUE
RÍO CUARTO	LEONES	LAS HIGUERAS
VILLA MARÍA	SALDÁN	LABORDE
SAN FRANCISCO	CAPILLA DEL MONTE	TANTI
VILLA CARLOS PAZ	CORRAL DE BUSTOS	ALCIRA GIGENA
ALTA GRACIA	VICUÑA MACKENNA	VILLA HUIDOBRO
RÍO TERCERO	GENERAL DEHEZA	POZO DEL MOLLE
BELL VILLE	BRINKMANN	VILLA CURA BROCHERO
VILLA DOLORES	MONTE CRISTO	GENERAL LEVALLE
CRUZ DEL EJE	MINA CLAVERO	TANCACHA
JESÚS MARÍA	VILLA DE SOTO	QUILINO
LA CALERA	CORONEL MOLDES	PORTEÑA
VILLA ALLENDE	SALSIPUEDES	BIALET MASSE
MARCOS JUAREZ	HUINCA RENANCÓ	COLONIA TIROLESA
ARROYITO	CANALS	ALEJANDRO ROCA
DEÁN FUNES	VILLA DEL TOTORAL	UCACHA
LABOULAYE	EMBALSE	CAMILO ALDAO
COSQUÍN	SANTA MARÍA DE PUNILLA	LAS PERDICES
COLONIA CAROYA	MENDIOLAZA	JOVITA
RÍO SEGUNDO	JUSTINIANO POSSE	JAMES CRAIK
RÍO CEBALLOS	SAMPACHO	VILLA SARMIENTO
VILLA NUEVA	LA CUMBRE	Menos de 5000 Hab.
UNQUILLO	SANTA ROSA DE RÍO PRIMERO	VILLA GIARDINO
MORTEROS	VILLA GENERAL BELGRANO	BALLESTEROS
LAS VARILLAS	LAGUNA LARGA	SANTA CATALINA
LA FALDA	MONTE MAÍZ	SAN BASILIO
VILLA DEL ROSARIO	ADELIA MARÍA	MORRISON
Entre 15.000 y 5.000 Hab.	ARIAS	ARROYO CABRAL
PILAR	RÍO PRIMERO	LOS SURGENTES
MALAGUEÑO	CRUZ ALTA	GENERAL BALDISSERA
ONCATIVO	BERROTARAN	TICINO
OLIVA	FREYRE	CARNERILLO
LA CARLOTA	MONTE BUEY	LA CUMBRECITA
MALVINAS ARGENTINAS	DESPEÑADEROS	LA CAUTIVA
SANTA ROSA DE CALAMUCHITA	BALNEARIA	MONTE DE LOS GAUCHOS
ESTACIÓN JUAREZ CELMAN	VALLE HERMOSO	
GENERAL CABRERA	HUERTA GRANDE	

9.3.2 Confección del formulario de Relevamiento

Para llevar adelante el relevamiento y cumplir con los objetivos propuestos hubo que planificar cual sería la mejor manera de realizarlo, inicialmente se planteó la posibilidad de llamar por teléfono a cada municipio y pedir los datos necesarios por esa vía de comunicación, luego se observó que esto sería muy complicado, debido a que se debía encontrar al responsable justo en el momento de realizar el llamado. Es por esto que se propuso a quien estaba a cargo del Área de Preservación y Control del recurso, la posibilidad de realizar dicho relevamiento por e-mail, y para mejorar aún más el feedback (retorno) de los datos hacia quien realizó el



relevamiento, se propuso usar un formulario de "Google Docs", esta aplicación de la conocida empresa Informática, permite crear a través de su plataforma "Google Drive" un formulario web, personalizable en el cual el encuestado puede responder todas las preguntas que se le realizan, y al finalizar el mismo, solo debe hacer click en "Enviar", a lo cual el formulario retorna a la cuenta Drive donde se creó, realizando al mismo tiempo un simple análisis preliminar de los datos obtenidos. De esta manera se logró agilizar el relevamiento, facilitando y mejorando el dialogo ya existente con muchos de los municipios contactados.

El formulario utilizado se dividió en 4 categorías a saber:

1. Datos del Municipio

Relevamiento de Plantas Depuradoras de la Provincia de Córdoba

Ministerio de Agua, Ambiente y Energía
Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación
Area Preservación y Control del Recurso

*Obligatorio

Datos del Municipio

Localidad *

Departamento *

Persona que proporciona la información *
en caso de necesitar contactar por alguna duda

Cargo que ocupa *

Teléfono

E-mail

Continuar »

25% completado

Con la tecnología de Google Drive

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.
[Informar sobre abusos](#) - [Condiciones del servicio](#) - [Otros términos](#)

Imagen 1 Captura 1º Pagina Formulario Web



En esta pantalla inicial se solicitó los datos del municipio, y quien era la persona que lo completaba el formulario, en caso de necesitar contactarlo por alguna duda que pudiera surgir.

2. Datos de la Red Colectora

Relevamiento de Plantas Depuradoras de la Provincia de Córdoba

*Obligatorio

Datos de la Red colectora de líquidos Cloacales

Existe en el Municipio Red Colectora Cloacal o Proyecto de la Misma *

En caso de tener Red Colectora o estar Proyectada, Que Número de Conexiones Tiene o Tendrá?
si es proyecto de Red expresar el número estimado para los próximos 5 años

Cual es o será el radio servido de la Red?
en Porcentaje del total de la Poblacion

Quien es el titular del Servicio?

Quien es el Concesionario del Servicio?
ente o empresa que actualmente opera el sistema

« Atrás Continuar »

50% completado

Con la tecnología de Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.
[Informar sobre abusos](#) - [Condiciones del servicio](#) - [Otros términos](#)

Imagen 2 Captura 2º Pagina Formulario Web

Seguidamente se solicita los datos de la red colectora, en caso de no existir una en el municipio, se da la opción de dar a conocer si existe proyecto de la misma, en caso de no existir, la encuesta se da por finalizada automáticamente.

3. Datos de la Planta de tratamiento

En esta categoría se solicita los datos de la planta, de no existir la misma, al igual que en el caso de la Red Colectora, se da la posibilidad de informar si existe en el municipio un proyecto de la misma, en cuyo caso la encuesta continua, de lo contrario se finaliza la misma permitiendo al encuestado enviar los datos consignados.



Relevamiento de Plantas Depuradoras de la Provincia de Córdoba

*Obligatorio

Datos de la Planta de Tratamiento de líquidos Cloacales

Tiene el Municipio Planta de Tratamiento de líquidos o Proyecto de la misma? *

Número de Expediente en la Secretaría

Cual es la Capacidad de tratamiento de la Planta Actual o Proyectada?

expresar el caudal en m3/día

Que tipo de tratamiento realiza la Planta actual o Proyectada?

En caso de ser otro el Tratamiento Especifique cual

Se ha observado que la planta presente algun Problema ultimamente?

Su Municipio (o Cooperativa) presta el servicio de tratamiento de efluentes Cloacales a algún otro Municipio aledaño?

En caso afirmativo a la ultima pregunta, Especifique a quien se presta dicho Servicio

« Atrás Continuar »



75% completado

Con la tecnología de

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.
[Informar sobre abusos](#) - [Condiciones del servicio](#) - [Otros términos](#)

Imagen 3 Captura 3º Pagina Formulario Web



4. Cuerpo Receptor y Disposición de los Barros Generados

Relevamiento de Plantas Depuradoras de la Provincia de Córdoba

Cuerpo Receptor y Disposición de barros generados

Cual es el cuerpo Receptor de la Planta?

Especificar todo lo que pueda acerca del cuerpo receptor o uso que se le da al agua tratada

Cual es la disposicion de los barros?

Se le hace seguimiento a los Efluentes Generados?

Comentarios Generales
en este espacio se puede agregar cualquier inquietud relacionada al tema

Nunca envíes contraseñas a través de Formularios de Google. 100%: has terminado.

Con la tecnología de [Google Drive](#) Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.
[Informar sobre abusos](#) - [Condiciones del servicio](#) - [Otros términos](#)

Imagen 4 Captura 4º Pagina Formulario Web

En esta última categoría se solicitó los datos acerca de qué cuerpo receptor se utiliza y a su vez, que disposición se le da a los barros, un tema que por lo que se observó en las visitas a plantas no es menor.



9.3.3 Contacto y Envío de Solicitud

Una vez que se tuvo confeccionado el formulario, se comenzó con la tarea de contactar uno por uno a los municipios seleccionados.

Para esto se obtuvieron todos los teléfonos actualizados de la página web de la provincia (www.cba.gov.ar). Una vez contactado el municipio o cooperativa (en caso de que esta tuviese a su cargo la concesión de la planta) se les explicaba la situación y se les orientaba acerca de lo que debían hacer con el formulario, que se les estaba enviando a la dirección que ellos brindaban y la importancia de que completaran dichos datos. En términos generales todos respondieron muy bien a la solicitud.

Este procedimiento de llamado telefónico se realizó una única vez, al mismo tiempo que se les envió el correo, una vez realizado esto, se volvió a enviar el correo con el formulario a los municipios que no lo habían completado un total de 4 veces en los meses que siguieron (Enero y Febrero), a fin de insistir con la devolución de los datos solicitados.

El formato de correo fue el siguiente:

Estimados: Desde el Área Preservación y Control del Recurso de la Dirección de Jurisdicción de Estudios y Proyectos de la Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación de la provincia de Córdoba se está llevando a cabo un relevamiento de los sistemas de saneamiento de los distintos municipios, motivo por el cual solicitamos tengan a bien responder la encuesta on line según las instrucciones detalladas a continuación del presente correo. Agradecemos su cooperación en este relevamiento.

Saludos cordiales

Ing. Ana M. Cossavella

*Jefe de Área Preservación y Control del Recurso
Dirección de Jurisdicción de Estudios y Proyectos
Secretaría de Recurso Hídricos y Coordinación.*

Para completar la Encuesta tener en cuenta las siguientes instrucciones:

- 1) Los datos con asterisco son obligatorios.*
- 2) En las preguntas que sean para completar ser lo más claro posible.*
- 3) Una vez finalizada la misma presionar el botón Enviar que aparece al final.*

Para completar la misma: [Hacer Click Aquí para rellenar la Encuesta On line](#)

Muchas Gracias

9.4 Resultados obtenidos

9.4.1 Consideraciones Preliminares

Como primera medida cabe aclarar que los datos que se muestran a continuación se obtuvieron en el marco de una PPS, y que se podría haber mejorado aún más la calidad de los mismos de haberse dispuesto de más tiempo para realizar un análisis de mayor profundidad, sobretodo en lo que respecta a seguir contactando a los municipios faltantes y revisar los expedientes que se encontraban en otras áreas de la Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación.

También se deja en claro que los valores calculados son en base a los datos brindados por los propios municipios (confiando en que estos hayan sido provistos con responsabilidad por parte de los mismos) y en base a los datos surgidos de inspecciones previas realizadas por personal del área de preservación y control del recurso.

Por otro lado se resalta que de los 109 municipios seleccionados se obtuvieron un total de 57 respuestas, es decir, el 53% de los encuestados brindó los datos solicitados, por lo tanto podemos considerar como bueno el resultado obtenido, teniendo en cuenta como se mencionó antes, el poco tiempo disponible y la época del año en que dicho relevamiento fue realizado. A su vez se puede inferir en que el uso del Formulario Web mejoró y simplificó la comunicación con los municipios.



En base a todo lo expuesto se confecciono una planilla resumen, de la cual se sacaron las siguientes conclusiones:

9.4.2 Municipios que cuentan con servicio de Tratamiento de Efluentes

General			Porcentaje actual		Porcentaje a futuro
Total de Habitantes según censo 2008	3.171.444	Hab.			
Total Municipios y Comunas	427	un			
Total de EDARs en la Provincia	57	un			
Total Municipios con servicio de EDARs	59	un	14%	del total de Municipios	18%
Total Municipios sin servicios de EDARs	368	un	86%	del total de Municipios	82%
Municipios que tiene proyecto de EDARs	18		4%	Total de Mun. que tendrán EDARS	

- Total Municipios con servicio de EDARs
- Total Municipios sin servicios de EDARs
- Municipios que tiene proyecto de EDARs

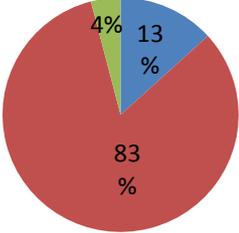


Tabla 1 Municipios con EDARs

En la tabla 1 se puede observar que solo el 14% de los municipios cuentan a la fecha con un sistema de tratamiento de efluentes, sin embargo este no es un indicador de importancia ya que no tiene en cuenta la cantidad de habitantes que posee cada uno de los mencionados municipios, sino que por el contrario considera a todos por igual.

9.4.3 Población con Cobertura de Servicio

Para contrastar el primer indicador se analizó el Porcentaje de habitantes de la provincia que tiene servicio, obteniéndose lo siguiente:

Población con servicio			Porcentaje
Población Actual	3.171.444	Hab.	100%
Población con Servicio Hoy	1.317.268	Hab.	42%
Población sin Servicio Hoy	1.854.176	Hab.	58%
Población con Servicio a futuro	43.055	Hab.	1%

- Pob con Servicio Hoy
- Pob sin Servicio Hoy

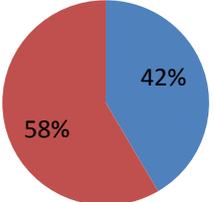


Tabla 2 Cobertura de Servicio

Como se observa, prácticamente 1 de cada 2 habitantes de la provincia cuentan con servicio de recolección y tratamiento de efluentes, no obstante, también se observa que en un futuro inmediato (5 años) las mejoras planificadas hasta el momento, no implican un aumento significativo de dicho servicio.



9.4.4 Sistemas de Tratamientos más utilizados

En este apartado se analizan los sistemas más utilizados por los diversos municipios, según pudo determinarse, el más aplicado en la actualidad es el sistema de lagunas aireadas, ya sea naturalmente o mecánicamente, entre ambas conforman el 77% de las plantas depuradoras de la Provincia.

Este valor es lógico si tenemos en cuenta las diversas ventajas que poseen dichos sistemas, como ser, la posibilidad de depuración por etapas (Lagunas), simplicidad para aumentar la capacidad de tratamiento a futuro, bajo costo de funcionamiento, entre otras.

Seguidamente se encuentran las plantas de lodos activados, que representan el 16% de los sistemas utilizados, y por debajo de estos, los lechos percoladores con el 7%.

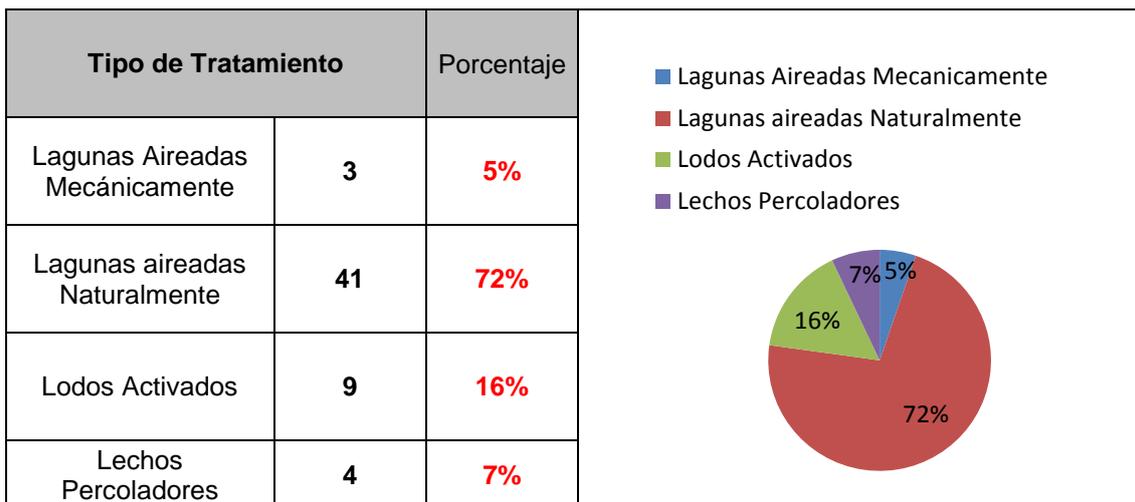


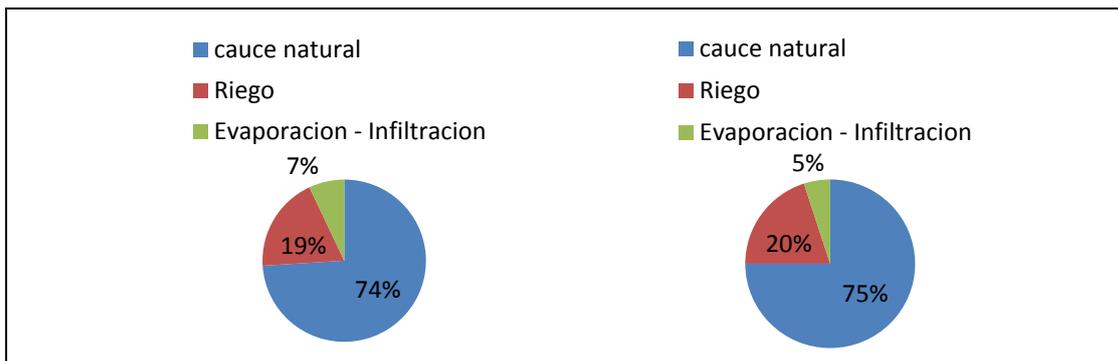
Tabla 3 Tipo de Tratamientos aplicados

9.4.5 Destino de los Efluentes Tratados - Cuerpos Receptores

Este indicador es uno de los más relevantes si se tiene en cuenta la planificación de la Preservación y Control del recurso Hídrico. Conocer el destino final que se le da a los líquidos tratados es fundamental para el diseño de proyectos. En base a los datos se conocieron los siguientes valores:

Cuerpos Receptores Actuales		Porcentaje	Cuerpos Receptores a Futuro		Porcentaje	Aumento Unitario
Rio	16	74%	Rio	22	75%	33%
Arroyo	7		Arroyo	8		
Canal Pluvial	14		Canal Pluvial	20		
Canal Pluvial - Riego	1		Canal Pluvial - Riego	1		
Laguna	0		Laguna	4		
Otro (Embalse)	1	19%	Otro (Embalse)	1	20%	36%
Riego	11		Riego	15		
Evaporación - Infiltración	4		Evaporación - Infiltración	4		
		7%			5%	

Tabla 4 Detalle de Cuerpos Receptores



Como puede observarse el cuerpo receptor por excelencia son los cursos de agua, seguido por el uso del efluente para riego.

Estos valores dan a entender que siempre que sea posible el efluente es vertido a un curso de agua, suponiendo que el mismo tiene la capacidad de autodepuración necesaria y que el caudal y condiciones de vertido son aceptables.

Así mismo, se observa que en caso de no ser posible verter al curso de agua, se prioriza como destino, el riego de especies arbóreas, de esta manera no solo se le da un destino al efluente, sino que además se genera una fuente de ingreso a la cooperativa o municipio y se hace un reúso eficiente del agua.

Podemos observar en base a los datos futuros, que los destinos más utilizados seguirán siendo los mencionados anteriormente.

9.4.6 Municipios inspeccionados y cumplimiento de Parámetros

Para finalizar este análisis se evaluó la calidad en general de los efluentes vertidos, dichos datos se desprenden de las inspecciones realizadas hasta la fecha, destacando como se mencionó antes, que no ha sido posible, dado el tiempo disponible, revisar todos los expedientes que se encontraban fuera del Área de Preservación y Control del Recurso.

Del análisis se desprende lo siguiente:

EDARs		Porcentaje (respecto al total)
Total de Municipios que figuran inspeccionados	49	86%
Muestras cumplen Decreto 415/99	2	4%
Muestras No cumplen Decreto 415/99	30	53%

Categoría	Porcentaje (%)
Muestras cumplen decreto	4%
Muestras No cumplen decreto	53%
No presentan muestra	30%
No figuran inspeccionados	14%

Tabla 5 Municipios Inspeccionados

Este parámetro resulta uno de los más alarmantes, dado que en base al total de EDARs existentes, según los datos, son muy pocos los municipios que cumplen con los parámetros de Volcamiento del Decreto 415/99, es decir que la mayor parte de los efluentes vertidos no han alcanzado un nivel óptimo de tratamiento, por motivos que son analizados en la fase siguiente (habiéndose corroborado lo expuesto con las visitas a planta).

Los parámetros mayormente no cumplimentados son los siguientes, según consta en los estudios realizados de acuerdo a los protocolos de análisis del CEPROCOR (Centro de Excelencia de Productos y Procesos de Córdoba) y el laboratorio de la propia Secretaria de Recursos Hídricos y Coordinación:



- Bacterias Coliformes Totales (NMP/100ml).
- Bacterias Coliformes Fecales (NMP/100ml).
- Oxígeno consumido (mg/l).
- DBO₅ (mg/l).
- Fósforo Total (mg/l).



10. Segunda Fase: Visita a Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDARs) de diferentes tipologías.

10.1 Introducción

Esta etapa tiene como objetivos el reconocimiento de las principales problemáticas que sufren las plantas depuradoras de diversas tecnologías existentes en la Provincia. Para ello se realizó un trabajo de campo en algunas de las mismas, el cual consistía en acompañar al personal de la Secretaria durante las inspecciones de rutina, haciendo un recorrido por la planta con el encargado de la misma, relevando todo lo que allí acontecía, sumado a esto se extrajeron muestras del efluente tratado que se vierte en los diferentes cuerpos receptores a fin de observar el cumplimiento de la normativa provincial (Decreto 415/99).

10.2 Normativas Aplicables para obras Sanitarias de la Provincia

Es importante destacar las normas, decretos y leyes que rigen en la Provincia de Córdoba al momento de planificar, proyectar y ejecutar una obra de EDARs. Todos los marcos normativos que se citan a continuación pretenden dar al proyecto un orden, necesario para su correcto desarrollo y posterior funcionamiento

En base a la bibliografía consultada se destacan las siguientes.

10.2.1 Constitución Provincial

En sus Arts. 11, 38 inc. 8, 53, 58, 66, 68, 110 incs. 15, 19, 38 y 186 inc. 7, esta Constitución ha dado suma importancia al cuidado del medio ambiente, dedicándole en numerosas partes especial atención. Esto está contemplado en las Declaraciones de fe política, y considerado dentro de los derechos sociales y deberes. Garantiza su protección tanto por la ley como por el Estado, estando contenido dentro de las Políticas especiales del Estado.

10.2.2 Ley Provincial del Ambiente N°7343/85

Cuyo título completo es "*Principios Rectores para la Preservación, Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente*" y su posterior Decreto Reglamentario N° 2131/00.

Este Decreto reglamenta la Ley en lo referente a Evaluación de Impacto Ambiental, derogando el anterior Decreto N° 3290/90. A los efectos de esta Ley, la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente comprende, entre otros aspectos considerados, el ordenamiento territorial y la planificación de los procesos de urbanización poblamiento, industrialización, explotación minera y expansión de fronteras productivas en función de los valores del ambiente, así como la utilización racional del suelo, agua, flora, fauna, gea, paisaje, fuentes energéticas y demás recursos naturales en función de los valores del ambiente.

Esta Ley estipula que deberán regularse las acciones, actividades u obras públicas y privadas, que por contaminar el ambiente con sólidos, líquidos, gases y otros materiales residuales y/o ruido, calor y demás desechos energéticos, lo degraden en forma irreversible, corregible o incipiente y/o afecten directa o indirectamente la salud de la población. En su Artículo 52 inciso g, se indican como actividades degradantes o susceptibles de degradar el ambiente, entre otras, las que emitan directa o indirectamente ruidos.

En su Capítulo I, De las aguas, los suelos y la atmósfera, Sección I, De las aguas, los suelos y la atmósfera en sentido amplio, Artículo 8, establece que: "Todas las personas cuyas acciones, actividades y obras degraden o sean susceptibles de degradar en forma irreversible, corregible o incipiente el suelo, las aguas, la atmósfera y sus elementos constitutivos, quedan obligados a instrumentar todas las medidas necesarias para evitar dicha degradación".



10.2.3 Decreto Provincial N°5589/73

También conocido como "*Código de Aguas de la Provincia de Córdoba*". Fija como Autoridad de Aplicación a la actual Secretaría de Recursos Hídricos, lo cual significa que dicho Organismo posee, entre otras facultades, el poder de policía en materia de contralor de vertidos de aguas residuales a cursos de agua provincial, superficial y/o subterráneos, y es el encargado de autorizar las descargas, prohibir o clausurar las mismas, aplicar multas, etc.

10.2.4 Decreto Provincial N°415/99

Denominado "*Normas Provinciales para la Protección de los Recursos Hídricos Superficiales y Subterráneos*" y su modificatorio N° 2711/01.

Se aplica a todas las actividades industriales, comerciales y de servicios cuyos residuos sean o vayan a ser vertidos a cuerpos receptores finales (ríos, embalses, arroyos, canales de desagües, colectores pluviales, pozos o perforaciones absorbentes, sistemas de riego, etc.). Se debe contar con la Autorización de descarga de líquidos residuales otorgada por la Dirección Provincial de Agua y Saneamiento (actualmente Secretaría de Recursos Hídricos).

Los Organismos Municipales o Comunales que posean normativa propia pueden hacer cumplir la misma dentro de su jurisdicción, siempre que ésta sea de carácter igual o más restrictiva que la Provincial.

10.2.5 Resolución 233/2007

De la ex DIPAS, hoy Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación, del Ministerio de Agua Ambiente y Servicios Públicos de la Provincia de Córdoba.

Estipula que todo emprendimiento que pretenda instalarse en jurisdicción de cualquier Municipio o Comuna de la Provincia de Córdoba, y que por su naturaleza pueda producir un efluente residual (cloacal o industrial), y cuyo vertido se prevea efectuar en cursos de aguas superficiales y/o subterráneos, lagunas, lagos, embalses, y en toda aquella que pertenezca al dominio público provincial, deberá presentar ante el Municipio o Comuna, como requisito indispensable para su habilitación, la autorización precaria correspondiente para la evacuación de los líquidos residuales emanada por ese Organismo Provincial.

10.2.6 Resolución 111/14

A través de la cual se instrumenta la "*Norma para la Presentación y Diseño de Sistemas y Obras Hidráulicas en la Provincia de Córdoba*". Dicha norma está destinada a establecer una guía para la ejecución de proyectos de sistemas y obras hidráulicas dentro del ámbito territorial de la Provincia de Córdoba. Se pretende uniformizar las presentaciones para una fácil comprensión de las memorias técnicas, descriptivas, pliegos, cómputos, análisis de precios, presupuestos y planos.

10.2.7 Ley N°8973/02

Junto al decreto reglamentario N° 2149/03. A través de la misma la Provincia de Córdoba adhirió a la Ley Nacional N° 24051/92 de Residuos Peligrosos.



10.3 Caracterización de las Aguas residuales

Se presentan algunos de los conceptos que se deben conocer al momento de diseñar una EDAR, como así también valores medios de contaminantes constituyentes, presentes en las aguas residuales en función del grado de concentración de la misma, según el decreto 415/99.

- Concentración:** Indica la proporción de material cloacal y agua.
- Composición:** Es la característica química del líquido cloacal y permite conocer cualitativa y cuantitativamente sus componentes. Es necesario determinar la "composición" para establecer la "concentración". El aporte de agua residual industrial puede influir en forma apreciable en la composición y concentración.
- Condición:** Este término se refiere al estado en que se encuentra el líquido residual cloacal, debido a variaciones que se producen a medida que transcurre el tiempo desde su evacuación y por acción de la temperatura, de la desintegración mecánica de las materias en suspensión, la cantidad y clases de microorganismos presentes. etc.

CONSTITUYENTE mg/1	CONCENTRADO	MEDIO	DILUIDO
Sólidos totales	1000	500	200
Sólidos volátiles	700	350	120
Sólidos fijos	300	150	80
Sólidos suspendidos totales	500	300	100
Sólidos suspendidos volátiles	400	250	70
Sólidos suspendidos fijos	100	50	30
Sólidos sedimentables (ml/1)	12	8	4
D.B.O	300	200	100
O.C	150	75	30
O.D	0	0	0

Tabla 6 Valores medios de Constituyentes Contaminantes

CONSTITUYENTE mg/1	CONCENTRADO	MEDIO	DILUIDO
Nitrógeno total	85	50	25
Nitrógeno orgánico	35	20	10
Nitrógeno de NH ₄	50	30	15
Nitrógeno de NO ₂	0.10	0.05	0
Nitrógeno de NO ₃	0.40	0.20	0.10
Cloruros	175	100	15
Alcalinidad (CO ₃ Ca)	200	100	50
Grasas	40	20	0

Tabla 7 Valores Medios de Constituyentes Contaminantes

10.4 Marco Teórico

A fin de brindar ciertas herramientas para la comprensión de aspectos relacionados a las visitas, se desarrolla el presente marco teórico, en relación al principio de funcionamiento de los sistemas observados.

Cabe aclarar que todas las plantas, independientemente del tipo de tratamiento que realicen, deben ser provistas a su ingreso de cámara de rejas (de limpieza automática obligatoriamente según Resolución 111/14, no admitiéndose de tipo manual) y de posteriores desarenadores, conformándose así el pretratamiento a realizar a los efluentes.

10.5 Tratamientos Secundarios

La expresión tratamiento secundario se refiere a todos los procesos de tratamiento biológico de aguas residuales tanto aerobios, como anaerobios. En esta fase se desarrollan los procesos aerobios correspondientes a los EDARs visitados. Dichos desarrollos están basados en lo que estipula la Norma del ENOHSA^{II}

10.5.1 Plantas de Lodos Activados

10.5.1.1 Cámara de Lodos Activados

Se entiende por tratamiento de lodos activados al proceso de oxidación biológica, en el cual el líquido cloacal afluyente (alimento o sustrato), es mezclado con el lodo proveniente de la sedimentación secundaria (biomasa activa recirculada) en reactores aeróbicos (tanque de aireación TA^{III}). El licor mezclado formado en el tanque de aireación, es sometido a agitación para:

- Mantener los sólidos en suspensión, favoreciendo el contacto y la floculación de la materia orgánica soluble y coloidal.
- Incorporar el oxígeno requerido en el proceso de oxidación de la materia. La transferencia de oxígeno al licor mezclado se realiza a través de procesos asociados con la agitación, o a través de la inyección y difusión de aire en el seno de la masa líquida del reactor.

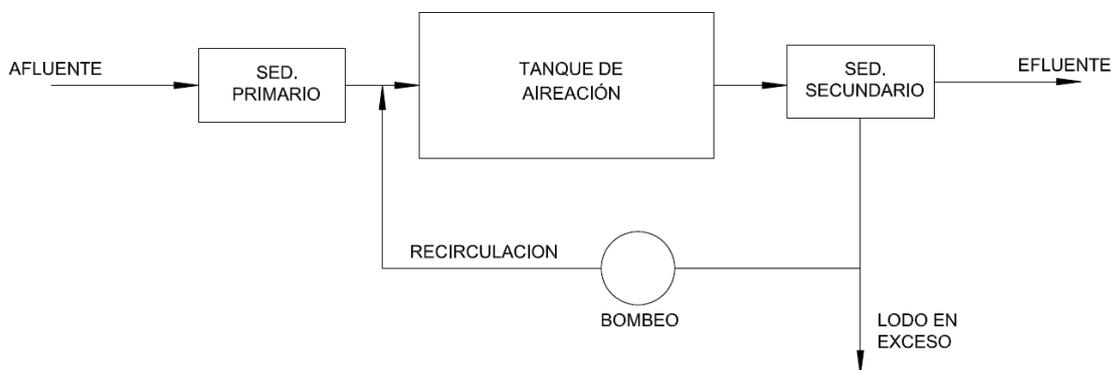


Imagen 5 Esquema de Lodos Activados

De acuerdo con la carga orgánica másica o factor de carga f (en Kg DBO₅/d*Kg SSTA^{IV} o Kg DBO₅/d*Kg SSVTA^V), se podrán emplear los siguientes procesos y sus variantes o sistemas:

- Baja Carga:** f entre 0,05 a 0,10 (Kg DBO₅/d*SSVTA). Opera en la faja de aireación prolongada, con edad del lodo entre 20 y 30 días (puede llegar a 40 días de acuerdo a las condiciones de operación).
- Mediana Carga:** f entre 0,20 a 0,60 (Kg DBO₅ / d*Kg SSVTA). Opera en la faja convencional, con edad del lodo de 3 a 15 días.
- Alta Carga:** f entre 0,60 a 5,00 (Kg DBO₅ /d*Kg SSVTA). Opera en la faja de baja edad del lodo; menor a 3 días.

^{II} Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento

^{III} TA: tanque de Aireación

^{IV} Sólidos en suspensión en el tanque de aireación

^V Sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación



En el diseño de la planta se deben considerar el tanque de aireación, el decantador secundario, la recirculación de lodos y los dispositivos auxiliares del proceso.

De acuerdo a la bibliografía consultada, el tratamiento proyectado empleando el proceso de lodos activados deberá ser precedido por la remoción de sólidos (gruesos y flotantes) y de arenas, pudiendo tener en algunos casos sedimentación primaria, con digestión anaeróbica incorporada (tanques IMHOFF) o separada. Normalmente, los sistemas diseñados con alta edad de lodo (faja de baja carga másica), no llevarán sedimentadores primarios.

Parámetros de Diseño (Según Norma ENOHS)

a. Carga orgánica másica: factor de carga o relación alimento/microorganismos

$$C_m = f = A/M$$

- f : Kg DBO_5 aplicada/día * Kg de sólidos suspendidos en el tanque de aireación (TA) o en el licor mezclado LM (Kg $DBO_5/d * Kg$ SSTA o Kg $DBO_5/d * Kg$ SSLM). Este parámetro utilizado es aplicado en modelos empíricos de diseño.
- f : Kg DBO_5 reducida / día * Kg sólidos suspendidos volátiles (en Kg $DBO_5/d * Kg$ SSVTA o Kg $DBO_5/d * Kg$ SSVLM), aplicado en modelos racionales.

b. Concentración de la biomasa: concentración de sólidos suspendidos totales (SS) o volátiles (SSV) en el tanque de aireación TA o licor mezclado LM.

- X = Kg SSTA/m³ (Kg SSLM/m³) o mg/L de SS, para modelos empíricos
- X_v = Kg SSVTA/m³ (Kg SSVLM/m³) o mg/L de SSV, para modelos racionales.

c. Carga orgánica volumétrica: carga orgánica aplicada diariamente por cada m³ del tanque de aireación.

$$C_v = f * X$$

Parámetro aplicado en el cálculo del volumen del tanque de aireación, en el método empírico.

d. Tiempo promedio de residencia celular: TPRC o edad del lodo Θ_c . Es el tiempo medio, en días, que una partícula en suspensión permanece en el proceso.

- Θ_c : $V / Q_e =$ edad de lodo cuando el caudal en exceso Q_e , se retira del tanque de aireación.
- Θ_c : $V/Q_e * c =$ ídem cuando se retira de la línea de recirculación. (siendo $c = X_r/X$ coeficiente de compactación, valor adimensional).

Dónde:

X_r : concentración de sólidos suspendidos totales del líquido recirculado (Kg SSTA).

X : concentración de sólidos suspendidos totales en el tanque de aireación.

Para los modelos racionales, se adoptará el tiempo promedio de retención celular, que considera los sólidos suspendidos que escapan con el efluente del sistema.

X_r y X_v : serán concentraciones de sólidos suspendidos volátiles.

Los restantes parámetros en general, serán considerados en la operación de los procesos.



Calculo del Volumen del Tanque de aireación (según Norma ENOHSA):

El tiempo de retención hidráulica $t = V/Q$ (en días), no deberá ser aplicado como parámetro de diseño de un tanque de aireación TA.

El cálculo de dicho tanque deberá ser efectuado en base a los siguientes parámetros:

- f : factor de carga = 0,05 a 0,90 Kg DBO₅/d*Kg SSTA, para modelos empíricos y 0,06 a 1,00 kg DBO₅/d*SSVTA para los racionales.
- Θ_c : edad de lodo = 3 a 30 días (salvo aireación modificada de alta carga, en donde $\Theta_c = 0,2$ a 0,5d).
- X : concentración de sólidos en suspensión totales en el reactor = 1,5 a 6,0 Kg SSTA/m³ o 1.500 mg SSTA/L a 6000mg SSTA/L.
- X_v : $\alpha * X$ = concentración de sólidos suspendidos volátiles. El valor de α se determinará en pruebas de laboratorio. En caso de no contar con esa prueba, se adoptará α entre 0,6 y 0,8.

En el método empírico, se aplica la siguiente relación:

$$V = La/Cv = \text{volumen de la cámara de aireación (en m}^3\text{)}.$$

Siendo:

- La : $Q * Sa$ = carga orgánica diaria (Kg DBO₅/d)
- Q : caudal afluente (medio diario a 20 años) a la cámara de aireación, sin incluir el caudal de recirculación (en m³/d).
- Sa : concentración orgánica del afluente a la cámara de aireación (en Kg DBO₅/m³)
- Cv : carga orgánica volumétrica (en Kg DBO₅/d*m³). Es decir, la capacidad de tratamiento en Kg/m³*día

En el método racional se aplican las siguientes relaciones:

$$V = Q * t = \frac{Y * \Theta_c * Q * (Sa - S)}{X_v * (K_e * \Theta_c + 1)} = \text{Volumen de la cámara de Aeración (en m}^3\text{)}$$

$$X_v = \frac{Y * \Theta_c * (Sa - S)}{t * (K_e * \Theta_c + 1)} = \text{concentración de equilibrio de la masa biológica = concentración másica del efluente (KgSSV/m}^3\text{)}$$

$$S = \frac{K_s * (K_e * \Theta_c + 1)}{\Theta_c * (Y * K - K_e) - 1} = \text{Concentración de Equilibrio del sustrato = Concentración orgánica del Efluente cuando se considera mezcla completa (Kg DBO}_5\text{/m}^3\text{)}$$

En donde:

Y : relación entre la masa celular sintetizada y la masa de materia orgánica removida (en Kg SSV/Kg DBO₅ removida)

- Θ_c : edad del lodo (en días)
- k : $u_{m\acute{a}x}$ = máxima velocidad específica de crecimiento celular (en días⁻¹)
- k_e : constante de respiración endógena = b , (en días⁻¹)
- K_s : valor de la carga orgánica S para $1/2 * k = 1/2 * u_{m\acute{a}x}$, en la curva de u versus S (ver Figura 11.8.1 Volumen II Norma ENOHSA)
- t : V/Q = permanencia hidráulica (en días)

Los parámetros cinéticos Y , K_e , $k = u_{m\acute{a}x}$ y K_s , deberán ser deducidos en pruebas de laboratorio. Los valores a utilizar por el proyectista, en caso de no poder realizar esas pruebas, son:



$$k = 5 \text{ a } 10 \text{ d}^{-1}$$
$$K_s = 20 \text{ a } 100 \text{ mg/L de DBO}_5$$
$$k_e = 0,04 \text{ a } 0,075 \text{ d}^{-1}$$
$$Y = 0,50 \text{ Kg SSV/Kg DBO}_5 \text{ removida}$$

Así mismo, la norma ENOHSA establece que cuando el proyectista optare por aplicar otro modelo racional de diseño, deberá justificar la adopción de sus parámetros.

La concentración de sólidos suspendidos en la masa líquida del tanque de aireación, deberá estar comprendida entre 1.500 y 6.000 mg/L en todos los casos

10.5.1.2 Sedimentadores

El término "sedimentador" designa a las unidades de un sistema de tratamiento destinadas a retener la mayor parte de las partículas decantables presentes en el líquido cloacal.

Cuando un líquido que contiene partículas sólidas, entra en estado de reposo, las partículas que tienen peso específico mayor que el del agua, tienden a asentarse.

Este principio se usa en el diseño de los sedimentadores de líquido cloacales. Su objeto es extraer los sólidos sedimentables, y reducir el contenido de sólidos en suspensión.

Los tanques de sedimentación primaria sin tratamiento posterior se usan, para reducir la formación de bancos de barro en el cuerpo receptor como una etapa preliminar, antes de las de tratamiento biológico.

Los sedimentadores se proyectan para funcionar de forma continua. Usualmente, son circulares o rectangulares y se proveen de tolvas para recolección de barro. La mayor parte de los sedimentadores se equipan con sistemas de recolección mecánica. Se construyen con fondos planos y tolvas de paredes empinadas.

El barro se deposita sobre el fondo plano y es arrastrado por los barredores a las tolvas, para su extracción posterior.

Los sólidos depositados en el fondo de los sedimentadores deben ser extraídos lo más rápido posible para evitar que entren en putrefacción y produzcan la septización del líquido en tratamiento. En instalaciones pequeñas y por razones de sencillez, la limpieza puede hacerse hidráulicamente, mediante fondos inclinados y tolvas de acumulación, desde donde los barros son eliminados en forma continua o intermitentemente por diferencia de presión o de bombeo. Cuando el volumen de los barros a extraer es grande, se utiliza equipo mecánico.

El término "sedimentador primario" designa a las unidades del sistema, receptoras de líquidos cloacales que sólo han tenido un pretratamiento de intercepción de sólidos a través de rejillas y desarenadores. La digestión de los lodos decantados se efectuará en unidades operativas separadas, (salvo en los tanques IMHOFF).

Por otro lado el término "sedimentador secundario", "sedimentador final" o "clarificador", se aplica a las unidades que reciben efluentes de tratamientos biológicos. El objetivo es separar la fase sólida de la fase líquida y acondicionar los lodos depositados en el fondo de esas unidades para dirigirlos a otras etapas del proceso de depuración.

El flujo en los sedimentadores podrá ser predominantemente horizontal (unidades donde es grande la relación longitud/altura o diámetro/altura) o predominantemente vertical (tal el caso de los sedimentadores Dortmund).

Sedimentadores Primarios

Los sedimentadores primarios deberán estar siempre precedidos por unidades de rejillas y desarenadores. En todos los sistemas que traten caudales Q_{C20} mayores a $500 \text{ m}^3/\text{d}$, se proyectarán dos unidades como mínimo. Cuando el caudal Q_{C20} a tratar sea igual o menor a $500 \text{ m}^3/\text{d}$, se aceptará una sola unidad para recibir el caudal total Q_{II} .

En caso de proyectar dos o más sedimentadores, se deberá prever una cámara de carga que permita distribuir el caudal afluente a cada uno de los sedimentadores y una cámara colectora que reúna el efluente de los mismos para distribuirlos a las siguientes unidades del proceso.



Los caudales Q_{II} de entrada a los sedimentadores primarios están integrados por los caudales afluentes Q_a y de recirculación Q_R . Los caudales Q_{II} de diseño de los sedimentadores primarios, se especifican en el Reglamento del ENOHSA para las distintas configuraciones que se adopte en la Planta.

Sedimentadores Secundarios

En todos los casos se proyectará por lo menos, el mismo número de sedimentadores secundarios que de unidades de tratamiento biológico (lechos percoladores o tanques de aireación en lodos activados). Una cámara de carga común asegurará en todas las unidades la uniforme distribución de los caudales. El proyecto preverá una cámara receptora del efluente, común al conjunto de sedimentadores secundarios.

Los caudales Q_{III} de entrada a los sedimentadores secundarios estarán integrados por los caudales afluentes a la Planta de Tratamiento Q_a y de recirculación como se indica en la norma del ENOHSA. Los caudales Q_{III} de diseño de los sedimentadores secundarios, se especifican para las distintas configuraciones que se adopte en la Planta.

Sedimentadores Terciarios

Cuando se considere necesario se podrá mejorar el tratamiento realizado por medio de una tercera decantación, previo un proceso de floculación de las partículas en suspensión con alguna sustancia que cumpla tal fin (uno de los más utilizados, es el sulfato de aluminio)

Factores que influyen en el Diseño de Sedimentadores

Entre los factores que deben tenerse en cuenta a la hora de dimensionar un sedimentador, merecen señalarse:

- a. Variación de los caudales: esto modifica el tiempo de retención y la carga superficial afectando consecuentemente la eficiencia de la sedimentación, variando tanto durante el día como durante las diferentes estaciones del año.
- b. Densidad de Corrientes: equivale a la corriente vertical producida dentro del sedimentador por la entrada de un fluido de distinta densidad que el contenido del mismo, el cual perturba la sedimentación.
- c. Temperatura: influye sobre el peso específico del líquido y en mucha mayor escala sobre la viscosidad, que aumenta considerablemente al disminuir la temperatura, por lo que la sedimentación de partículas sólidas es más fácil a mayor temperatura del líquido, es por ello que puede obtenerse mayor sedimentación en verano que en invierno.
- d. Concentración: la eficiencia del sedimentador aumenta al aumentar también la concentración del líquido a tratar
- e. Tamaño de la Partícula y peso específico: para partículas no coagulantes y en suspensión diluidas, surge de la ley de stockes que la velocidad de asentamiento aumenta en proporción directa con la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido de la suspensión y con el cuadrado del diámetro de la partícula asentante.
- f. Floculación: la sedimentación mejora si se hace una floculación previa de la suspensión con agregado de productos químicos, habrá que determinar en cada caso si resulta económicamente conveniente, mediante un estudio comparativo.
- g. Profundidad y Carga Superficial: cuando mayor es la profundidad, mayor es la probabilidad de contacto entre las partículas asentantes de una suspensión floculenta; pero a igualdad de volumen, a mayor profundidad corresponde menor área superficial y no pueden sobrepasarse ciertos límites sin afectar la eficiencia de la sedimentación. Por ello actualmente se considera que no debe excederse de una determinada carga superficial y se combinan profundidades de 2.00 a 3.50m. con áreas que den períodos de retención de 1 a 2 hs para sedimentadores primarios y de 1 1/2 a 2 1/2 para sedimentadores finales.



Permanencia o período de retención

El periodo nominal de retención es igual al cociente entre el volumen del tanque y el caudal, es el tiempo teórico que cada partícula del líquido permanece en el sedimentador. Esta condición no se cumple nunca, pues algunas partículas salen antes de haber cumplido dicho periodo y otras permanecen más tiempo. Para líquidos cloacales, las permanencias o períodos de retención comúnmente empleados dependen principalmente del rol que deben desempeñar la sedimentación en el tratamiento y de las características del líquido a tratar. Para las plantas en que solo se contemple la sedimentación primaria como único tratamiento, o en aquellas en que ésta es seguida por lechos percoladores, los tiempos, usuales son de $1^{1/2}$ a 3 hs, para el caudal promedio. A veces el mínimo se establece en 2 hs para hacerlo coincidir con la determinación standard de sólidos sedimentables en dos horas. Cuando el sedimentador es utilizado como tratamiento preliminar al de barros activados, los tiempos usuales Varían de 1 a $1^{1/2}$. Para los tanques de sedimentación final, después de los lechos percoladores tienen un período de retención usual de 1 a $1^{1/2}$ y los que siguen al proceso de barros activados emplean de $1^{1/2}$ a 2 $^{1/2}$ hs.

Dimensionado de Sedimentadores

Una vez adoptada la permanencia y carga superficial en base a las consideraciones anteriores y al criterio y experiencia del proyectista, el dimensionamiento de un sedimentador puede efectuarse de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= s \times h = \text{caudal} \times \text{permanencia} \\ \text{Superficie} &= \text{Volumen} / \text{Carga Superficial} \\ \text{Superficie} &= N \times \text{ancho} \times \text{largo} \text{ (para tanques rectangulares)} \\ \text{Superficie} &= N \times (\text{"Pi"} \times D^2)/4 \text{ (para tanques circulares)} \end{aligned}$$

N = Número de unidades

10.5.1.3 Cámara de Contacto

La cloración de las aguas residuales tratadas se efectúa con la finalidad de

- Desinfección
- Destruir y evitar olores, reduciendo además la DBO_5

La acción del cloro sobre las aguas tratadas es la misma que en el tratamiento del agua para consumo, se emplean los mismos compuestos del cloro y los mismos aparatos cloradores.

El tiempo de contacto y el cloro residual son los dos principales factores para lograr la desinfección, el tiempo de contacto generalmente es fijado por la autoridad encargada del control, y es generalmente de 15 a 45 minutos. El cloro residual que es necesario mantener debe determinarse en función de experiencias en plantas en funcionamiento, asegurando en el caso de la provincia de Córdoba los valores que fija el Decreto 415/99 cumpliendo como mínimo y sin excederse 0.10 mg Cloro / litro.

10.5.2 Lagunas de Estabilización

Las lagunas de estabilización son estanques naturales o artificiales de pequeña profundidad, definidos por diques de tierra. Son empleadas para el tratamiento biológico de los desechos cloacales basado en la autodepuración por procesos naturales.

Laguna de estabilización es el término o denominación que incluye todos los tipos de lagunas.

La norma ENOHSA establece los requisitos mínimos exigidos para el diseño sanitario e hidráulico de las lagunas de estabilización.



10.5.2.1 Clasificación de lagunas según ENOHS

a - Lagunas de estabilización anaeróbicas: Debido a las cargas orgánicas elevadas que reciben, no contienen oxígeno disuelto en la masa líquida, o sea que los procesos de estabilización se desarrollan en condiciones anóxicas.

b - Lagunas de estabilización aeróbicas o de alta producción de biomasa: Los procesos de estabilización se desarrollan en presencia de oxígeno disuelto.

c - Lagunas de estabilización facultativas (fotosíntesis): En donde ocurren simultáneamente procesos aeróbicos y anaeróbicos. La concentración de oxígeno disminuye desde la superficie (aerobia) hacia el fondo (anaerobio o anóxico). Las algas producen por fotosíntesis el oxígeno requerido.

d - Lagunas de maduración: Tienen la finalidad de reducir el número de gérmenes patógenos, particularmente coliformes y huevos de parásitos, del líquido efluente de sistemas de tratamiento. Cuando se las proyecta como etapa final de lagunas en serie contribuyen a disminuir la población de algas, aumentar la sedimentación del material suspendido, oxidar mayor número de compuestos orgánicos y mejorar notablemente la calidad bacteriológica del efluente.

e - Lagunas de estabilización aireadas Mecánicamente: En las cuales se introduce el oxígeno por medio de equipos de aireación. Pueden ser lagunas aireadas aeróbicas (también llamadas de mezcla completa) o lagunas aireadas facultativas. Las lagunas aireadas aeróbicas tienen un nivel de potencia instalado suficientemente alto para suministrar todo el oxígeno requerido en el proceso y además para mantener en suspensión los sólidos. En cambio, en las facultativas ese nivel no es suficiente para impedir el depósito de los sólidos. El desarrollo algáceo que tiene lugar en este tipo de lagunas suministra parte del oxígeno requerido

f - Lagunas de sedimentación: Son empleadas para clarificar el efluente de las lagunas aireadas aeróbicas. En ellas se produce almacenamiento y digestión de los lodos sedimentados.

10.5.2.2 Datos, Antecedentes y Parámetros Necesarios Para el Diseño

A. Datos básicos para cada una de las etapas que comprenden el período total de diseño (etapas constructivas)

- Población a servir.
- Industrias, especialmente las que en sus efluentes contienen nutrientes y sustancias inhibidoras de procesos biológicos.
- Caudales a tratar, correspondientes al líquido cloacal doméstico y efluentes industriales.
- Características y calidad de esos líquidos.

B. Antecedentes Requeridos

- Requisitos del cuerpo receptor y definición del punto de vuelco.
- Levantamiento planialtimétrico catastral del terreno disponible.
- Sondajes preliminares de reconocimiento geológico, geotécnico del subsuelo correspondiente al terreno seleccionado.
- Información sobre vegetación en el terreno seleccionado.
- Nivel máximo de la capa freática.
- Legislación existente sobre vuelcos en colectoras cloacales y cuerpos receptores.
- Datos meteorológicos del lugar de emplazamiento de las lagunas.



10.5.2.3 Parámetros Básicos del Diseño

Para el diseño de las lagunas y dispositivos auxiliares se requieren los siguientes parámetros básicos:

Caudales a tratar

El caudal máximo horario $Q_{E(20)}$, se utilizará para el diseño de estaciones de bombeo del líquido afluente y para las instalaciones ubicadas en el ingreso a la Planta de Tratamiento, esto es: rejas, desarenadores, canales, cañerías y medidores de caudal.

El caudal máximo diario $Q_{D(20)}$, se utilizará para el diseño de las cañerías y canales de intercomunicación y de salida, estaciones de bombeo intermedias y medidores de caudal de efluentes. El caudal medio diario $Q_{C(20)}$, se utilizará para el diseño hidráulico de las lagunas.

Se deberá verificar que con el caudal inicial de autolimpieza $Q_{L(0)}$ no se produzcan depósitos en canales y conductos (autolimpieza, velocidad mínima U_{min} igual o mayor a 0,40 m/s).

El proyecto deberá indicar los caudales correspondientes a las distintas etapas planificadas.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Debe ser determinada a través de ensayos de laboratorio realizados sobre muestras del líquido a tratar. En caso de no obtener esa información, se adoptará una carga orgánica unitaria que puede variar entre 40 y 55 g de DBO₅/d.hab., donde se incluyen industrias con reducidas cargas poluentes. En el caso de industrias con cargas poluentes mayores deben considerarse separadamente.

Concentración Bacteriológica (índice colimétrico)

Al igual que para la DBO₅, en caso de no contar con datos específicos del líquido a tratar se adoptará para los coliformes fecales del líquido afluente, el mayor valor que resulte de considerar: 10^{12} coliformes fecales/d.hab ó $1,5 \times 10^7$ NMP/100 mL^{VI} de líquido cloacal afluente. En cuanto a los parásitos, especialmente los huevos de helmintos y quistes de amebas, se deberán tener en cuenta, pues pueden aparecer en ese desecho cloacal (esto es de especial interés cuando el efluente tratado se destine a riego).

Temperatura media del líquido en el mes más frío del año

Cuando se proyectan equipos de aireación también se requiere la del mes más caliente del año.

En caso de no contar con esa información de campo, se adoptará una de las siguientes alternativas, la que será justificada por el proyectista:

- Correlaciones de temperatura del líquido en la laguna en función de la temperatura del aire, deducidas para características y climas semejantes a las del proyecto.
- Método de balance calórico por conducción de ECKENFELDER para lagunas de estabilización, especialmente las aireadas, con superficies líquidas no mayores a 1 Ha. Para ello, se requiere conocer la temperatura T_{ai} del aire y T_0 del líquido afluente. En caso de no disponer del último parámetro, para el mes más frío se considera que es de 1 a 2°C mayor que la temperatura del aire.
- Aplicación del modelo basado en el balance calórico completo para simular la temperatura de las lagunas. Para ello es necesario contar con todos los datos meteorológicos requeridos en el modelo, correspondientes al lugar del proyecto.

Evaporación y precipitación pluvial

^{VI} Número más probable cada 100 ml



Cuando estos parámetros tienen influencia significativa (climas cálidos y lluviosos) debido a que afectan la capacidad de depuración del sistema de Lagunas.

Información sobre vientos

Ya que tienen gran influencia en la temperatura de la laguna y en la estratificación termal. Se debe considerar que en zonas ventosas para lagunas con área superior a 2 Ha, se pierde hasta 0,5 °C en cada una de las lagunas de la serie.

Características geológicas y de infiltración del suelo.

Parámetros que tienen gran interés en las lagunas, dado que estas actúan como una carga prácticamente estática, lo cual genera asentamientos del paquete de suelo soporte dependiendo de la composición y estructura del mismo. A su vez la velocidad de infiltración nos permitirá predecir el comportamiento de dicho suelo en caso de que existiera perdida alguna.

10.5.2.4 Condiciones Generales a Cumplir (según Norma ENOHSA).

Las lagunas de estabilización deben ubicarse alejadas de núcleos urbanizados. El proyecto deberá incluir un plano catastral actualizado y referencia a los planes directores de desarrollo urbano de la localidad. La distancia mínima al núcleo urbano más cercano será de 1000 m.

Por otro lado la dirección de los vientos predominantes en el lugar de ubicación debe coincidir con el sentido del flujo en la laguna, preferentemente desde la salida hacia el ingreso. Estos vientos deben alejar posibles olores desagradables de los centros poblados.

En cuanto a la configuración en planta, para los casos de terrenos sin grandes irregularidades, se proyectarán lagunas, con relación longitud-ancho entre 3 y 6. Otras relaciones deberán ser justificadas por el proyectista. El diseño deberá tratar de compensar los volúmenes de excavaciones y terraplenes.

En el caso de lagunas aireadas la configuración dependerá del número y potencia de los aireadores para evitar zonas muertas. En todos los casos se evitará la formación de islas, penínsulas y áreas donde el líquido no tenga movimiento. Las aristas generadas en el encuentro de taludes de diques deberán redondearse con superficies cónicas de radio superior a 5,00 m.

Así mismo para evitar la acción del oleaje se deberá proyectar, como protección para los taludes, una faja de 0,50 m como mínimo sobre y bajo el nivel líquido. La faja se revestirá con lajas de hormigón, de ladrillos, de césped, de plástico (geotextil) u otro material resistente. Para los taludes externos, el proyecto deberá considerar las obras a ejecutar para evitar la erosión pluvial.

Cuando se tenga infiltración por el fondo de la laguna o percolación a través de los diques, será necesario proyectar un sistema de impermeabilización de acuerdo a una evaluación técnico-económica de las alternativas.

10.5.3 Lechos Percoladores

Los lechos percoladores o filtros biológicos tienen la función de degradar los compuestos orgánicos presentes en el líquido afluente, mediante un proceso biológico aeróbico que se desarrolla durante la percolación del líquido a través de un lecho, que puede estar constituido por materiales de distinta índole, forma y tamaño. Dichos lechos percoladores podrán constituir el tratamiento secundario de líquidos cloacales, precedidos por un tratamiento primario (Tanques Imhoff o unidades separadas de tanque de sedimentación y digestores anaeróbicos) y seguidos por un tratamiento de sedimentación secundaria, salvo que el cuerpo receptor admita un vuelco con el contenido de biomasa que acompaña al efluente de los lechos.

Las cargas orgánicas e hidráulicas de diseño, así como las alturas y relaciones de recirculación, se ajustarán a los parámetros de diseño estipulados para cada caso en la norma ENOHSA. La adopción de otros parámetros sólo se aceptará si los mismos fueron verificados experimentalmente a escala de planta real.



En lo que respecta a los caudales de diseño Q_T , deberán estar compuesto por el caudal afluente a la Planta de Tratamiento, $Q_a = Q_{c20}$ (caudal medio diario anual) y por los caudales de recirculación Q_R , ambos correspondientes a cada etapa o período de diseño de n años.

10.5.3.1 Material de Relleno de los lechos

El material de relleno para el lecho podrá ser piedra partida, grava gruesa, cantos rodados, escoria o piezas de materiales varios de fabricación comercial.

Cuando el tipo de lecho admita la utilización de piedra partida, la misma deberá estar libre de arcillas, arena, polvo y finos en general. El relleno no deberá contener piedras aplanadas o alargadas ni más de un 5 % en peso de piedras cuya dimensión mayor sea más de 2 veces su dimensión menor. Se usarán piedras de tamaño relativamente uniforme, manteniendo sus dimensiones entre los 5 y 10 cm.

Cualquiera sea el tipo de material utilizado para el lecho, no deberá solubilizarse en el medio a tratar y deberá presentar una pérdida en peso inferior al 10% en 10 ciclos de la prueba del sulfato de sodio mientras que el material ubicado en los 0,45 m superiores del lecho deberá presentar una pérdida en peso inferior al 10% en peso pero para 20 ciclos de la prueba del sulfato de sodio.

En el diseño de lechos de alta y muy alta carga, deberá tomarse en cuenta que existe un drenaje permanente de lodos a través del mismo, por lo que el material de relleno no solamente deberá soportar la biomasa que se desarrollará sobre él sino además contar con un porcentaje de espacios vacíos que asegure que el lodo escurra fácilmente a través del lecho y que circule el flujo de aire necesario, en contracorriente. Para lechos de alta y muy alta carga se utilizarán exclusivamente materiales especiales de relleno que brinden las áreas específicas por unidad de volumen y el porcentaje de espacios vacíos que requieren estas unidades. Cuando se utilicen materiales plásticos, se tomará en cuenta el efecto de la radiación solar sobre la vida útil del relleno.

Cuando se utilicen anillos, placas o tubos para el relleno, deberán emplearse productos comerciales que garanticen los valores de área específica por unidad de volumen del relleno y el porcentaje de espacios vacíos requeridos. Cuando se propongan materiales alternativos o anillos, placas o tubos que no provengan de fabricantes habituales y reconocidos para este tipo de procesos, sólo se aceptará su utilización si existieran protocolos de ensayos extendidos por laboratorio oficial nacional o provincial, que determinen los dos parámetros mencionados y la resistencia química y mecánica del relleno, para las condiciones de trabajo, debiendo además efectuarse ensayos de funcionamiento a escala piloto o en percoladores existentes.

10.5.3.2 Sistema Distribuidor de Líquido

La distribución del líquido sobre el lecho percolador podrá efectuarse mediante picos aspersores ubicados sobre cañerías fijas o sobre cañerías que integren un conjunto distribuidor giratorio, impulsado por la reacción desarrollada en los picos u orificios de salida del líquido. En ambos casos, la alimentación será por gravedad.

Así mismo deberá presentarse un proyecto hidráulico detallado del sistema de distribución del líquido sobre el lecho que permita definir con precisión la carga hidráulica requerida en la entrada del mismo. En distribuidores fijos, el proyecto deberá incluir la determinación de los límites del área regada por cada aspersor.

En el caso de un sistema de aspersores fijos o de brazos giratorios, deberá diseñarse para asegurar una distribución, uniforme del líquido sobre el lecho, cubriendo toda la superficie del mismo. Los picos aspersores fijos o los picos u orificios de los brazos giratorios, deberán asegurar una salida del líquido en forma de lluvia para mejorar la eficiencia del tratamiento.

En sistemas con recirculación, la aspersión o distribución del líquido sobre el lecho será continua para todo el rango de caudales de ingreso a la planta. Sólo se aceptará el funcionamiento intermitente en lechos lentos de baja carga orgánica, sin recirculación, debiendo utilizarse dispositivos hidráulicos, tales, como tanques con sifón de descarga intermitente, para asegurar el funcionamiento hidráulico con bajos caudales. En estos casos, deberán preverse sistemas de inundación del lecho para control de la mosca *Psychoda*.



Los sistemas de distribución giratorios estarán compuestos por dos o más brazos vinculados mecánicamente con un distribuidor central rotativo. Los brazos contarán con tapones o bridas ciegas desmontables en sus extremos, que permitan la inspección y limpieza. El distribuidor central contará con un desborde de seguridad en su parte superior, para evitar incrementos de presión por arriba de esa cota.

El sistema distribuidor estará montado sobre no menos de dos rodamientos sellados, en baño de aceite, de los cuales uno, por lo menos, será apto para soportar las cargas combinadas axiales y radiales que se desarrollen en el mecanismo. Ambos rodamientos serán seleccionados con un coeficiente de seguridad no inferior a catorce (14), el proyecto acompañará memoria de cálculo y selección de los mismos.

En sistemas con distribuidores fijos, las cañerías contarán con tapones o bridas ciegas para inspección y limpieza. Los picos aspersores distribuirán el líquido en forma de lluvia sobre un área cuya forma y extensión estará perfectamente determinada en el proyecto en función de la presión de alimentación.

La ubicación de los picos aspersores fijos será tal que asegure el riego de la totalidad del área en planta del lecho, evitando zonas secas y que la distribución del caudal a procesar se efectúe con la mayor uniformidad posible, sobre dicha área.

10.5.3.3 Sistema de Drenaje y Ventilación.

El sistema de drenaje y ventilación deberá cubrir toda la planta del percolador y asegurará la evacuación del líquido percolado y el ingreso y circulación del aire en forma uniforme sobre toda la sección en planta del lecho.

Dicho sistema de drenaje estará constituido por bloques especiales de cerámica o gres vitrificada u otro material que asegure suficiente resistencia mecánica y a la agresión del líquido cloacal. Estos bloques contarán con canales o conductos en su parte inferior y con orificios en la parte superior. Tanto los canales como los orificios permitirán la evacuación del líquido percolado y el ingreso de aire al lecho. Los bloques podrán ser de una sola pieza o de dos piezas yuxtapuestas al momento de presentar la documentación y memoria de cálculo, el proyecto incluirá un croquis detallado del bloque a emplear, con medidas de canales, aberturas, espesores, etc., una clara especificación de los materiales a utilizar y del proceso de fabricación. La resistencia a la compresión de los bloques de drenaje estará en correspondencia con el tipo de material de relleno que deban soportar. Su determinación deberá incluirse en el proyecto también.

10.5.3.4 Aspectos Constructivos

Los lechos percoladores con sistemas de distribución fijo podrán ser de planta cuadrada o rectangular cuya dimensión mayor no supere los 20 m. En estos casos, podrán utilizarse uno o más canales colectores principales, paralelos al lado mayor.

Los tubos horizontales que deban instalarse en el seno del lecho, se ubicarán a profundidades no mayores de 0,80 m, para facilitar su mantenimiento.

En todos los casos, aunque el material de relleno sea autoportante, la cámara que aloje al lecho se construirá con paredes y piso de hormigón armado. El piso tendrá una pendientes del 0,5 al 2,0% hacia el canal colector central. La altura del coronamiento de las paredes perimetrales impedirá la dispersión aérea del líquido que se distribuya sobre el lecho.

En todos los casos, en las inmediaciones de los lechos percoladores, se preverán una o más canillas de agua limpia, con conexión para manga. El diámetro mínimo de la cañería de alimentación y de la canilla será de 19 mm (3/4´) y preferentemente 25 mm (1´), con presión de alimentación no inferior a 6,0 m.c.a. sobre la parte más alta del mecanismo.

El diseño del lecho incluirá las instalaciones necesarias para reducir la proliferación y presencia de moscas Psychoda o la especificación del biocida y forma de aplicación, cuando se opte por esta alternativa, así como la evaluación del riesgo ambiental derivado del uso del producto.



10.6 Plantas Visitadas

Con el fin de tener una visión general de los diferentes sistemas aplicados se visitaron las instalaciones de las siguientes localidades

1. EDAR Bajo Grande, Córdoba Capital – Lechos Percoladores
2. EDAR LA Falda, Localidad de La Falda – Lodos Activados
3. EDAR Valle Hermoso, Localidad de Valle Hermoso – Lodos Activados
4. EDAR Villa María, Localidad de Villa María – Lagunas Aireadas Mecánicamente
5. EDAR Villa Nueva, Localidad de Villa Nueva – Lagunas Aireadas Naturalmente

A continuación se realiza una descripción de cada una de ellas, y de lo observado en dichas visitas.

10.7 EDAR Bajo Grande

10.7.1 Ficha Técnica

Nombre	EDAR BAJO GRANDE	
Ubicación	Córdoba Capital	
Capacidad	10.000	(m ³ /h)
Caudal actual	20.000	(m ³ /h)
Tipo de Tratamiento	Lechos Percoladores	
Concesionario	Municipalidad de Córdoba	
Cuerpo Receptor	Rio Suquia	

Tabla 8 Ficha Técnica Bajo Grande

10.7.2 Descripción de Planta

La Planta de Bajo Grande presta el servicio de Depuración de Líquidos cloacales a la ciudad de Córdoba capital, dicha ciudad cuenta con un radio servido aproximado del 55%, siendo el caudal recibido en planta de 20.000 m³/h, mientras que la planta está diseñada para tratar 10.000 m³/h. Esta capacidad de tratamiento se logró luego de un proceso de Reingeniería que implicó modificar el proceso de Lechos percoladores evitando la recirculación de todo el líquido tratado, llevando la capacidad de 5.000 m³/h a la actual de 10.000 m³/h.

En la visita se observó:

1. Ingreso a Planta
2. Oficinas Técnicas
3. Cámara de Rejas y Desarenador Primario
4. Cámara de Rejas y Desarenador Secundario, más cámara de Bombeo
5. Lechos Percoladores Primarios
6. Sedimentadores Primarios
7. Lechos Percoladores secundarios
8. Sedimentadores Secundarios
9. Batería de Digestores de barros
10. Estación de Cloración
11. Cámara de Contacto
12. Playas de Secado

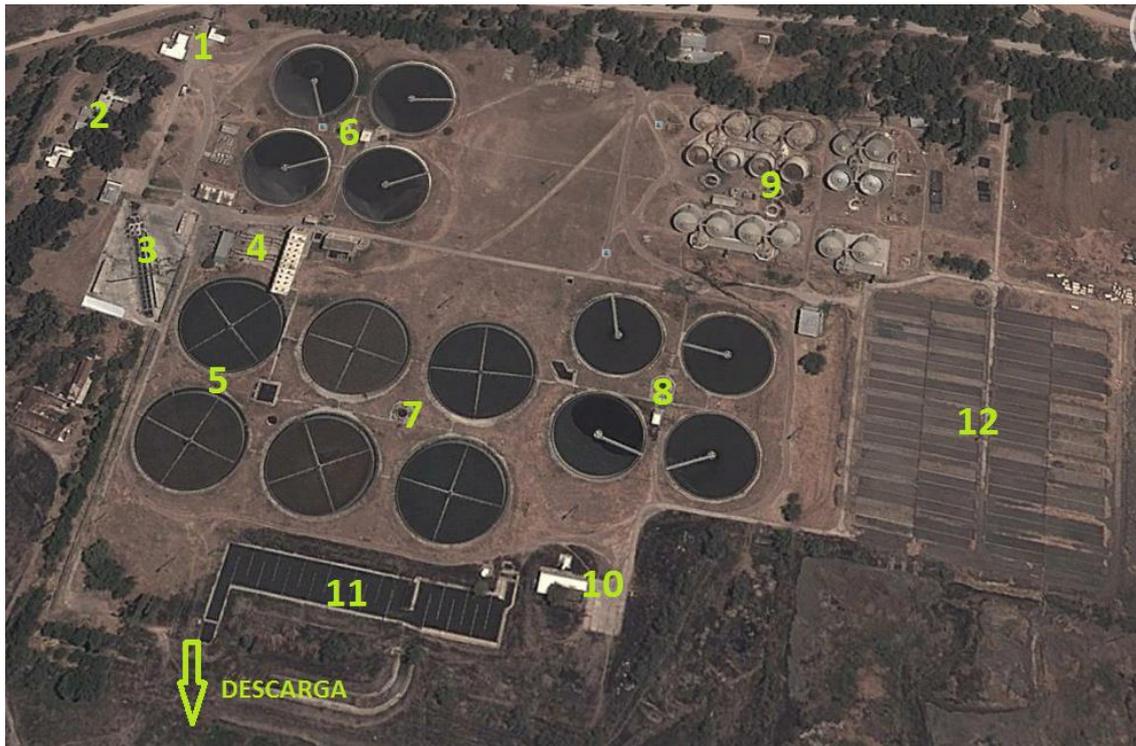


Imagen 6 Vista Aérea Bajo Grande

Durante la visita se pudo observar todo el proceso de tratamiento que se le realiza al afluente. Dicho líquido ingresa por la Cloaca Máxima a la planta, allí es dirigido a la cámara de Rejas y Desarenador Primario, donde se hace el desbaste más grueso de todos los sólidos que fluyen con el líquido por medio de las Rejas, entendiéndose botellas plásticas, residuos sólidos urbanos, elementos orgánicos, entre otros. El sistema de Rejas es Hidráulico, por lo cual ningún operario entra en contacto con los elementos contaminados. Posteriormente en el Desarenador se extrae la arena que llegó a planta, dicha arena proviene mayoritariamente de las filtraciones de líquidos en la calzada, agudizándose el problema en época de lluvias. El mecanismo para extraer la arena es por medio de un conjunto de Sifones que separan la misma a un canal lateral.



Imagen 7 Cámara de Rejas

Posteriormente a esto el líquido es dirigido a la Cámara de Rejas y Desarenador existentes antes del proceso de reingeniería donde es vuelto a desbastar, reteniendo aún más sólidos. Como se observa en la imagen inferior, estas cámaras no cuentan con el sistema hidráulico (por ser más antiguas) mientras que el desarenador consiste en una banda sin fin que va recogiendo la arena y extrayéndola a un contenedor.



Imagen 8 Rejas Secundarias y Bombas de impulsión

Luego de esta etapa, el líquido es dirigido a las cámaras de bombeo donde se le entregara la energía suficiente para ingresar a los lechos percoladores, dichas bombas tienen la capacidad de variar la frecuencia de trabajo y por ende el caudal bombeado de acuerdo a la cantidad de líquido que ingresa a la Planta.



Imagen 9 Lechos Percoladores

Una vez bombeado el efluente, ingresa en el Percolador Primario, donde se hace un tratamiento Biológico del mismo, para pasar luego a los sedimentadores Primarios donde se depositara la



masa bacteriana que cumplió su ciclo de vida y digestión de materia orgánica en el percolador previo, en esta etapa se observó el inconveniente de que el sobrenadante que es retirado del sedimentador con un barredor superficial, debe ser luego manipulado por los operarios para depositarlo en los contenedores de desechos, se comentó desde la gerencia técnica que se está trabajando para subsanar este problema e implementar un sistema que evite el contacto entre el operario y los residuos.

Posteriormente el líquido ingresa al conjunto de Percoladores y Sedimentadores Secundarios, siendo esta etapa del proceso similar a la anterior.

Con respecto a los barros generados en el proceso, son llevados a 4 concentradores para luego ser tratados en los Digestores Anaerobios que se observan en la imagen 9. A su vez dichos digestores aprovechan el gas metano que producen, para alimentar las calderas que luego garantizan la adecuada temperatura para llevar a cabo la digestión, es decir, desde el punto de vista energético son sumamente eficientes, aunque en la actualidad la mitad de ellos estén fuera de servicio. Los barros producidos son llevados al enterramiento sanitario de la localidad de Bouwer.

Por otro lado el efluente que sale tratado de los sedimentadores secundarios es dirigido a la cámara de contacto, donde recibirá la última parte del proceso, que es el contacto con cloro en estado Gaseoso. Allí el líquido permanece el tiempo necesario para que el cloro actúe oxidando la materia orgánica que haya podido quedar. Es de destacar que el depósito de Cloro contiene un sistema de autoclave^{VII} que se activa en caso de una pérdida para proteger a los operarios que están trabajando en la zona, como a la planta misma.



Imagen 10 Cámara de Contacto y Biodigestores

10.7.3 Comentarios Finales

Se puede concluir respecto a la EDAR de Bajo Grande, que si bien se ha llevado a cabo la reingeniería en la planta, todavía falta bastante por mejorar, los problemas más graves que aquejan a la misma son el exceso de caudal (duplica al de diseño), las unidades que se encuentran fuera de funcionamiento y la limitación de su cuerpo receptor, en la actualidad el Río Suquia, el cual no tiene capacidad de autodepuración para asimilar todo el efluente tratado, de acuerdo a las condiciones en que se lo vuelca, este será sin duda el mayor desafío que la actual gestión enfrentará.

Así mismo, se observó una falta de mantenimiento general de la planta, habiendo residuos dispersos en el predio, gran cantidad de malezas, fuertes olores en algunas zonas, entre otros.

^{VII} En caso de fuga, este sistema cuenta con una bomba de vacío, que evacua del recinto el Gas Cloro, almacenando el mismo en un tanque destinado a tal fin.

10.8 EDAR La Falda

10.8.1 Ficha Técnica

Nombre	EDAR LA FALDA	
Ubicación	Localidad de La Falda	
Capacidad	500	(m ³ /h)
Caudal actual	525	(m ³ /h)
Tipo de Tratamiento	Lodos Activados	
Concesionario	ARCOOP	
Cuerpo Receptor	Arroyo Los Quinteros - Rio Grande	

Tabla 9 Ficha Técnica La Falda

10.8.2 Descripción de Planta

La planta de La Falda se encuentra ubicada en la localidad que lleva el mismo nombre, dicha planta presta el servicio de depuración de líquidos cloacales a las localidades de La Falda, Huerta Grande y Villa Giardino. Siendo la misma muy importante para el desarrollo de la zona, ya que la principal actividad allí es el turismo, motivo suficiente para que el saneamiento y la no contaminación de sus recursos sea una prioridad.

La planta se compone de las siguientes partes:



Imagen 11 Vista aérea La Falda

- 1) Ingreso a Planta
- 2) Oficinas Técnicas
- 3) Cámara de Rejas y desarenadores
- 4) Cámaras de Aireación Extendida
- 5) Sedimentadores Secundarios
- 6) Concentrador de Barros
- 7) Cámara de Dispersión y Floculadores
- 8) Sedimentador Terciario
- 9) Playas de Secado
- 10) Filtro Banda
- 11) Cámara de Contacto
- 12) Planta Potabilizadora

La planta visitada aplica el tratamiento aeróbico del efluente de tipo Lodos activados, por medio de cámaras de Aireación Extendida. Presenta gran variación de caudal a lo largo del año, siendo crítico este en la época de verano, dada la gran afluencia de personas que vacacionan en la zona.



Imagen 12 Desarenadores y Cámara de Rejas

Durante la visita fuimos atendidos por Personal de ARCOOP (Asociación Regional de Cooperativas) quien tiene a su cargo la concesión de la planta. Se pudo observar que al ingresar el líquido era dirigido a una cámara partidora para pasar posteriormente por las rejillas de desbaste y el desarenador, el cual era doble, al mismo tiempo había otro par de Rejas y desarenadores en desuso, según los empleados hace varios años.



Imagen 13 Cámara de Contacto y Aireadores

Posteriormente el afluente pasa por una canaleta Parshall que permite medir el caudal de entrada a la planta, para luego ingresar el mismo a la cámara de aireación extendida, en donde se produce el proceso biológico de digestión de la materia orgánica, por medio de bacterias aerobias, dicha cámara estaba funcionando con 4 de los 6 Aireadores necesarios, motivo por el cual se observó en la misma, que el líquido estaba de color marrón oscuro (septizado) y no claro como debe ser, sumado a la gran cantidad de materia sobrenadante en ella. Cabe destacar que la planta también posee una segunda cámara de Aireación que se encuentra actualmente fuera de servicio. El problema relacionado a la falta de los dos aireadores se adujo a la rotura de un buje interno que posee el mismo, el cual es importado y cuesta alrededor de U\$D 2400 Dólares por unidad.



Imagen 15 Sedimentadores Secundarios

Siguiendo con el proceso el líquido es derivado al sedimentador Secundario, en donde deposita en el fondo todos los sólidos en suspensión. En este punto también es de destacar que existen en la planta dos Sedimentadores Secundarios, producto de una ampliación de la misma, pero al igual que en el caso de las cámaras de aireación, sólo se utilizaba uno, en este caso el más antiguo, dado que el nuevo produce la resuspensión de los barros depositados al fondo, problema que se aduce a una dificultad de diseño y que se está trabajando para solucionar. Por su parte el Sedimentador en uso presenta un chorro de agua que se vierte en su superficie para "romper" el sobrenadante. Los barros depositados en este último son recirculados a la cámara de aireación y purgados al concentrador de barros cuando es necesario. La elevación de estos barros hacia el Concentrador dejó de hacerse por medio de un tornillo "sin fin" para pasar a hacerlo por bombeo.



Imagen 14 Floculadores



El líquido que sale del Sedimentador es dirigido a la cámara de Dispersión para ser mezclado con sulfato de aluminio, el cual se usa como aglutinador de las sustancias coloides presentes en el efluente para posteriormente mezclarse en el Floculador y decantar estas partículas en el sedimentador Terciario. En la visita se observó que de los 3 floculadores solamente funcionan 2. Para finalizar el proceso, el líquido es dirigido a la cámara de contacto (También existen dos, pero solo se utiliza una) donde se le adiciona cloro, para posteriormente ser vertido al Rio Grande.

Por su parte los barros depositados en el concentrador son dirigidos al filtro de banda, el cual seca dichos barros, recirculando el agua sobrante a los Sedimentadores secundarios. De los dos Filtros solo funcionaba uno, el cual a su vez estaba momentáneamente fuera de uso por el desperfecto sufrido en uno de sus rulemanes. Para mejorar el rendimiento de dichos filtros se usaba PAC (que es Polielectrolito), el cual era diluido en agua previamente y luego mezclado con el barro.

La planta de la Falda tuvo durante mucho tiempo un problema con la disposición de los barros generados llegando a acumular gran parte de los mismos en su predio, actualmente los barros son retirados y llevados a un enterramiento Sanitario, donde a su vez se está trabajando para generar a partir de este y de residuos orgánicos de Poda, Compost para fertilizar suelos. No obstante esto, al estar el filtro de banda fuera de servicio, el concentrador de barros estaba saturado, al igual que la cámara de aireación, ya que los barros no podían ser retirados.



Imagen 16 Sedimentador Terciario y Cámara de Contacto

10.8.3 Comentarios Finales

En el caso de La Falda podemos decir que la planta se encuentra excedida en su capacidad de tratamiento, motivo por el cual el líquido saliente no es el de la calidad deseada, no obstante, la planta tiene la infraestructura necesaria para maximizar su volumen a tratar, creemos que es fundamental solucionar los problemas actuales (aireadores, barredores de Sedimentador Secundario, filtro de banda y Floculador, entre otros) y ponerla a funcionar a su máxima capacidad.

También se observó que el estado general de la planta es ordenado y limpio.

10.9 EDAR Valle Hermoso

10.9.1 Ficha Técnica

Nombre	EDAR VALLE HERMOSO	
Ubicación	Localidad de Valle Hermoso	
Capacidad	62,5	(m ³ /h)
Caudal actual	135	(m ³ /h)
Tipo de Tratamiento	Lodos Activados	
Concesionario	ARCOOP	
Cuerpo Receptor	Arroyo Vaquería	

Tabla 10 Ficha Técnica Valle Hermoso

10.9.2 Descripción de Planta

La planta de Valle Hermoso es gerenciada por la misma Cooperativa que opera la EDAR de La Falda, ARCOOP, y su principio de funcionamiento es idéntico a la antes mencionada, con la salvedad de que al ingreso no hay cámara de rejillas sino Microtamices.



Imagen 17 Vista Aérea Valle Hermoso

Donde las unidades que se observan son:

- 1) Ingreso a Planta
- 2) Oficinas Técnicas
- 3) Microtamices
- 4) Cámara de Aireación Extendida
- 5) Sedimentador secundario

- 6) Cámara de Bombeo a concentrador de barros
- 7) Cámara de Dispersión y Floculadores
- 8) Sedimentador Terciario
- 9) Concentrador de Barros
- 10) Filtros de Banda
- 11) Cámara de Contacto

Al ingresar el líquido a la Planta es pasado por los microtamices. Este sistema genera una muy buena separación de sólidos. Al momento de la visita presentaba el inconveniente de que sobre la malla metálica se generaba una película de grasa que tapaba al tamiz, la misma debía ser removida cada media hora aproximadamente. Se estima que esto se debe a la alta actividad de los negocios vinculados al turismo, en especial los gastronómicos, los cuales en su mayoría no poseen cámara de retención de grasas, problemática que por ende se traslada a la planta.



Imagen 18 Microtamices

Así mismo se observó en esta parte del proceso que el personal no contaba con los elementos de higiene y seguridad necesarios para realizar la tarea, debiendo entrar en contacto con el líquido contaminado.

Posteriormente el efluente a tratar ingresa a la cámara de aireación extendida, allí se observó el mismo problema que en EDAR La Falda con los aireadores, de los 4 faltaba uno, con lo cual la calidad del líquido era mejor respecto a esta última, pero no óptima.

Posteriormente a esto, el líquido pasaba al sedimentador secundario, donde decantaba los sólidos, que luego serían recirculados a la cámara de aireación y purgados cuando el volumen generado así lo requiera al concentrador de barros, para luego ser secado en los Filtros Banda.

El líquido que salía del Sedimentador secundario era ingresado a la cámara de Dispersión y Posterior Floculador, para ser mezclado con Sulfato de Aluminio (como floculador de Coloides) y posteriormente ser sedimentado en el Sedimentador Terciario.

En el floculador se observó que faltaban 2 de los 4 que hay.



Imagen 19 Cámara de Contacto y Sedimentador secundario

en esta planta se observaron problemas varios, además de los ya mencionados se observó presencia de burbujas (posiblemente gas metano) en Sedimentador Terciario, producto seguramente de la anoxia que allí se genera, además el filtro de Banda está roto hace más de un año, actualmente lo están reparando, pero esto hace que la formación de barros sea crítica, ya que los mismos no pueden ser correctamente tratados y al ser demasiados, son trasladados a la Planta de La Falda para darle el tratamiento que aquí les falta, con todos los riesgos que esto conlleva, además la cámara de cloración tiene inconvenientes con uno de los caños de alimentación, razón por la cual no se estaba clorando, sumado a esto y más grave aún es la falta de una bomba que lleve el líquido desde la cámara de contacto al Rio Grande, el cual es el cuerpo receptor autorizado para el volcamiento. Para subsanar este problema, se está volcando el efluente deficitariamente tratado al Arroyo Vaquería, cuerpo de agua que en su momento la Secretaria de Recursos Hídricos y Coordinación le prohibió a la cooperativa por no tener la capacidad de autodepuración suficiente.



Imagen 20 Floculador y Sedimentador Terciario

10.9.3 Comentarios Finales

En base a lo expuesto, se concluye en que si bien la EDAR de Valle Hermoso podría ser considerada una planta modelo por el proceso para el cual fue diseñado, está lejos de ser considerada así, más allá de todos los inconvenientes que presenta en cada una de las unidades, no es aceptable el volcamiento del efluente a un curso de agua no autorizado por un organismo público. Es un factor reiterado en todas las plantas inspeccionadas la falta de inversión en mantenimiento, factor clave para que la misma funcione correctamente.

10.10 EDAR Villa María

10.10.1 Ficha Técnica

Nombre	EDAR VILLA MARIA	
Ubicación	Localidad de Villa María	
Capacidad	20.000	(m3/h)
Caudal actual	40.000	(m3/h)
Tipo de Tratamiento	Lagunas Aireadas Mecánicamente	
Concesionario	Coop de Trabajo 15 de Mayo	
Cuerpo Receptor	Rio Tercero	

Tabla 11 Ficha Técnica Villa maría

10.10.2 Descripción de Planta

La planta de Villa María responde a una tipología de lagunas aireadas mecánicamente, constando de una cámara de rejillas al ingreso, una estación de bombeo, 3 módulos de lagunas Primarias y posteriores Secundarias, haciendo un total de 6 Lagunas. Para finalizar con la cámara de Cloración, proceso que se realiza con cloro Líquido.

Es de destacar que al momento de la visita, producto de las abundantes lluvias que se dieron en toda la provincia, el caudal que ingresaba a la planta era el doble del normal, motivo por el cual la cámara de rejillas estaba inundada en su totalidad (aproximadamente 3 metros por encima de su cota normal) y las bombas funcionaban a su máxima capacidad incluyendo las de reserva.



Imagen 21 Cámara de Rejas y Laguna Primaria

Las lagunas primarias son aireadas mecánicamente, habiendo sido provistas inicialmente con 8 aireadores, haciendo un total de 24, al día de la fecha se constató que no funciona ninguno de los antes mencionados, el personal aduce que dicha falla se debe a que el líquido cloacal es muy agresivo a los materiales del aireador.

A su vez se observó en las lagunas primarias la presencia de malezas, gran cantidad de sólidos en suspensión y taludes rotos, los cuales se van erosionando por la acción del oleaje producido por el viento sobre la superficie de la laguna. También se observó un principio de coloración rosada en la misma, producto de la presencia de bacterias que sobreviven en medios anaeróbicos (contrario a lo diseñado)

Las lagunas secundarias poseían en menor medida sólidos en superficie. Así mismo, es de destacar que en estas habitaban animales como ser principalmente patos y teros, dichas lagunas no son del tipo aireadas mecánicamente y tenían sus taludes en mejor estado que las primarias, pero con gran cantidad de malezas.



Imagen 22 Lagunas Primarias y aireadores

Para finalizar el proceso, el agua tratada es dirigida a la cámara de cloración, en donde previamente pasa a través de una canaleta parshall que permite medir el caudal evacuado. Al momento de la visita se detectó que no se estaba clorando el efluente que luego es vertido al Río Tercero (Ctalamochita).



Imagen 23 laguna Primaria y Cámara de Contacto

10.10.3 Comentarios Finales

Con respecto a la EDAR de Villa María se concluye que el estado de abandono es alto, los aireadores no funcionan, el sólido se acumula en las lagunas, al tener duplicado su caudal, el tratamiento no es efectivo ya que el tiempo de permanencia necesario se reduce a la mitad, motivo suficiente para no lograr reducir la DBO_5 lo necesario para su posterior volcamiento al Río, a su vez la cloración (se desconoce el motivo del porque no se hace) es inexistente, por lo cual el efluente es descargado con gran cantidad de carga orgánica y bacteriológica.

Es recomendable que el municipio de Villa María realice acciones, por medio de la cooperativa para solucionar la actual situación de la planta.

10.11 EDAR VILLA NUEVA

10.11.1 Ficha Técnica

Nombre	EDAR VILLA NUEVA	
Ubicación	Localidad de Villa Nueva	
Capacidad	2000	(m ³ /h)
Caudal actual	2000	(m ³ /h)
Tipo de Tratamiento	Lagunas Aireadas Naturalmente	
Concesionario	CAPyCLO	
Cuerpo Receptor	Riego	

Tabla 12 Ficha Técnica Villa Nueva

10.11.2 Descripción de la Planta

La planta de Villa Nueva, corresponde al tipo de Lagunas Aireadas Naturalmente, dicha planta cuenta con dos módulos de Lagunas Primaria, Secundaria y Terciaria. Posteriormente se utiliza el efluente tratado en riego de especies arbóreas.



Imagen 24 Vista Aérea Villa Nueva

Las unidades que se observan son:

- 1) Ingreso a la Planta
- 2) Oficinas técnicas y administrativas
- 3) Laguna Primaria del primer modulo
- 4) Laguna Secundaria del primer modulo
- 5) Laguna Terciaria del primer modulo
- 6) Plantación de Árboles regada con el Efluente Tratado
- 7) Segundo módulo de Lagunas

Al ingresar a la planta nos recibió personal de la Cooperativa CAPyCLO (Cooperativa de Agua potable y Cloacas) que son quienes tienen la concesión del servicio. Se observó que el efluente ingresa a la planta sin pasar previamente por la cámara de rejas, siendo descargado en la laguna primaria, donde allí los sólidos que se encuentran en la superficie son retirados manualmente por los operarios para luego ser quemados en un horno.



Imagen 25 Laguna Primaria

Posteriormente el líquido ingresa a la laguna secundaria, en la cual se observó un burbujeo intenso, producto de la anoxia que presentaba la misma, siendo dichas burbujas probablemente de gas metano, según manifestaron desde la Cooperativa se están incluyendo en las lagunas cultivos de bacterias para mejorar su eficiencia.

Luego de esto el efluente ingresa a la laguna terciaria donde se realiza la última etapa del tratamiento oxidando aún más carga orgánica. Se observó que los taludes de las lagunas habían sido recubiertos en hormigón, para evitar el desgaste producto del oleaje, por lo cual los mismos se encontraban en buen estado al momento de la visita.



Imagen 26 Laguna Secundaria

Para finalizar el líquido pasa por una cámara de inspección antes de ser utilizado para el riego de especies como Eucaliptus, Álamo y Casuarinas. El riego se realiza por medio de surcos en el terreno. Esta opción no es muy recomendada por que facilita la formación de mosquitos y moscas.

Cabe destacar que los módulos de lagunas se usan alternadamente cada una semana, según manifiestan desde la Cooperativa para mejorar los tiempos de permanencia del afluente.



10.11.3 Comentarios Finales



Imagen 27 Plantación de árboles

Podemos decir que la planta de Villa Nueva no se encuentran en óptimas condiciones, pero tampoco presenta el estado de abandono que tienen otras EDARs visitadas, el predio está en buenas condiciones (no se observa presencia de maleza) y la cooperativa está trabajando para mejorar el funcionamiento de las lagunas. Según ellos manifestaron se han adquirido aireadores superficiales para la laguna primaria, el objetivo es probar su funcionamiento y en caso de ser positivo extender su uso al otro módulo de lagunas también.



11. Tercera Fase: Sistemas de Tratamiento aplicables a Pequeñas Urbanizaciones.

11.1 Introducción

El vertido de aguas residuales procedentes de pequeñas comunidades rurales, o bien de viviendas o instalaciones aisladas, presenta problemas en cuanto puede afectar al medio ambiente o puede ser causa de contaminación de los recursos hídricos. El problema se ha agravado a medida que las dotaciones de agua en dichas comunidades o viviendas ha ido aumentando (a causa básicamente de una mejora en la calidad de vida). En estos casos donde las aguas no pueden ser conducidas a una red de saneamiento, o bien el costo de dicha red es muy elevado, se acude a la instalación de Sistemas de Tratamiento No colectivos.

Se plantea en esta etapa de la Practica en curso la necesidad de indagar acerca de los distintos sistemas de tratamientos, entiéndase convencionales o no convencionales, utilizados en la actualidad en diversas partes del mundo que sean aplicables al ámbito de las Sierras de Córdoba.

Los sistemas antes mencionados tendrán como fin proveer a los propietarios de Hoteles, complejos de Cabañas, campings y otros emprendimientos turísticos, soluciones eficientes, que no solo se adapten al uso por temporadas propio de esta zona, sino que además sean económicamente viables, evitando así el volcamiento de efluentes no tratados que generan un alto índice de contaminación, lo cual a su vez impacta de lleno en el desarrollo de la actividad turística de la zona en estudio.

Como se mencionó anteriormente las tecnologías de tratamiento de agua estudiadas se pueden clasificar en sistemas convencionales y no convencionales. Los primeros, si bien tienen la ventaja de tratar grandes volúmenes en un espacio relativamente pequeño, presentan la gran desventaja de requerir altos costos de producción, mantenimiento y energía (EPA, 1988). Ante las desventajas que poseen los sistemas convencionales de tratamiento de efluentes se han desarrollado los llamados sistemas naturales o no convencionales, que aprovechan y potencian los procesos de purificación físicos, químicos y biológicos que ocurren en forma espontánea en la naturaleza, con costos sensiblemente menores que los de los sistemas convencionales pero con una superficie de tratamiento generalmente mayor. (Latchinia et al., 2004)

11.2 Área de Estudio

Sierras de Córdoba es el nombre que recibe una zona geográfica y turística. Ubicada en el centro del sector continental americano de Argentina, se caracteriza por las formaciones montañosas (sierras) de mediana altura; siendo el pico más alto el Cerro Champaquí (2884 msnm).

En el oeste de la provincia observamos dichos relieves montañosos que integran el cordón más austral de las Sierras Pampeanas, bajo el nombre de Sierras de Córdoba. Las mismas ocupan la sexta parte del territorio de norte a sur. Tienen como características que los faldeos orientales poseen formas suaves por el contrario los occidentales son abruptos, debiéndose el tipo de estructura actual en función del tiempo de formación.



Imagen 28 Embalse Los Molinos - Córdoba

En esta zona hay cuatro cadenas montañosas principales; a saber de este a oeste: las **Sierras Chicas**, esta cadena es de laderas suaves excepto en la vertiente occidental del famoso Cerro Uritorco se prolonga al Norte por las **Sierras de Ambargasta**, al Oeste, y casi paralelas a la Sierra Chica y las Sierras de Ambargasta se encuentran las mucho más agrestes **Sierras Grandes** y las **Sierras de Pocho**, las Sierras Grandes se continúan hacia el sur en el cordón llamado Sierra de Comechingones.

Todas las cadenas orográficas mencionadas se extienden latitudinalmente (corren de norte a sur) por unos 490 km y longitudinalmente (de este a oeste) por unos 150 km -sin contar las satélites Sierras de San Luis.

11.2.1 Clima

En las bajas altitudes, las Sierras de Córdoba tienen una temperatura templado cálido, con veranos cálidos y húmedos, con frecuentes tormentas e inviernos secos y frescos. El clima es muy similar al del altiplano mexicano, tal clima tiene un sistema de lluvias diametralmente opuesto al del clima mediterráneo europeo pero el período seco y el húmedo explica la existencia de paisajes bastante parecidos a los de gran parte de España o gran parte de Italia y de hecho crece muy bien alrededor de esta zona el olivo y otras plantas mediterráneas (como el cedro y el ciprés). El promedio anual de lluvias de la ciudad de Córdoba capital es de 715 mm, pero el régimen pluviométrico es sumamente variable. En la parte este de las Sierras, puede llover más de 1.200 mm/año, pero disminuye mucho yendo al oeste con menos de 400 mm/año.

Las temperaturas a bajas elevaciones son templadas, con promedio de 33 °C en verano (enero) y de 10 °C en invierno, ascendiendo a 2.000 msnm, el promedio térmico anual es 14 °C. Sin embargo, debido a los inviernos relativamente secos, cae menos nieve de lo que las temperaturas invernales pueden dar a suponer.



Imagen 29 Provincia de Córdoba



11.2.2 Economía

Si bien el territorio de las Sierras de Córdoba es naturalmente bastante rico en minerales (cal, mica, cuarzo, mármol, ónix verde, pequeñas cantidades de oro etc.) y sus terrenos han dado sustento a actividades ganaderas (ovina y caprina), avicultura (criaderos de pollos), forestación maderable y agricultura, en la actualidad la principal actividad económica es, merced a sus atractivos paisajes y su clima, el turismo, actividad para la cual las Sierras de Córdoba están muy bien dotada en ciertas zonas, de una infraestructura que incluye hoteles, hosterías, albergues, campings, balnearios etc.

11.3 Sistemas Convencionales

Como primera medida se analizan los sistemas convencionales más utilizados en la actualidad, presentando las características propias de cada uno.

11.3.1 Fosa Séptica

El objeto de este tipo de instalaciones es doble: Retener las materias orgánicas fermentables hasta su nitrificación, y evacuar el líquido una vez alcanzada dicha nitrificación^{VIII}.

Las fosas sépticas tienen interés en los siguientes casos:

- Viviendas o grupos de viviendas aisladas, que por razones técnicas o económicas no pueden dotarse de red de saneamiento comunitario.
- Viviendas de carácter estacional (balnearios, estaciones de deportes de invierno, urbanizaciones de segunda vivienda para verano o fines de semana) en las que sin duda una red de saneamiento y un depuradora convencional podrían tener problemas de funcionamiento.

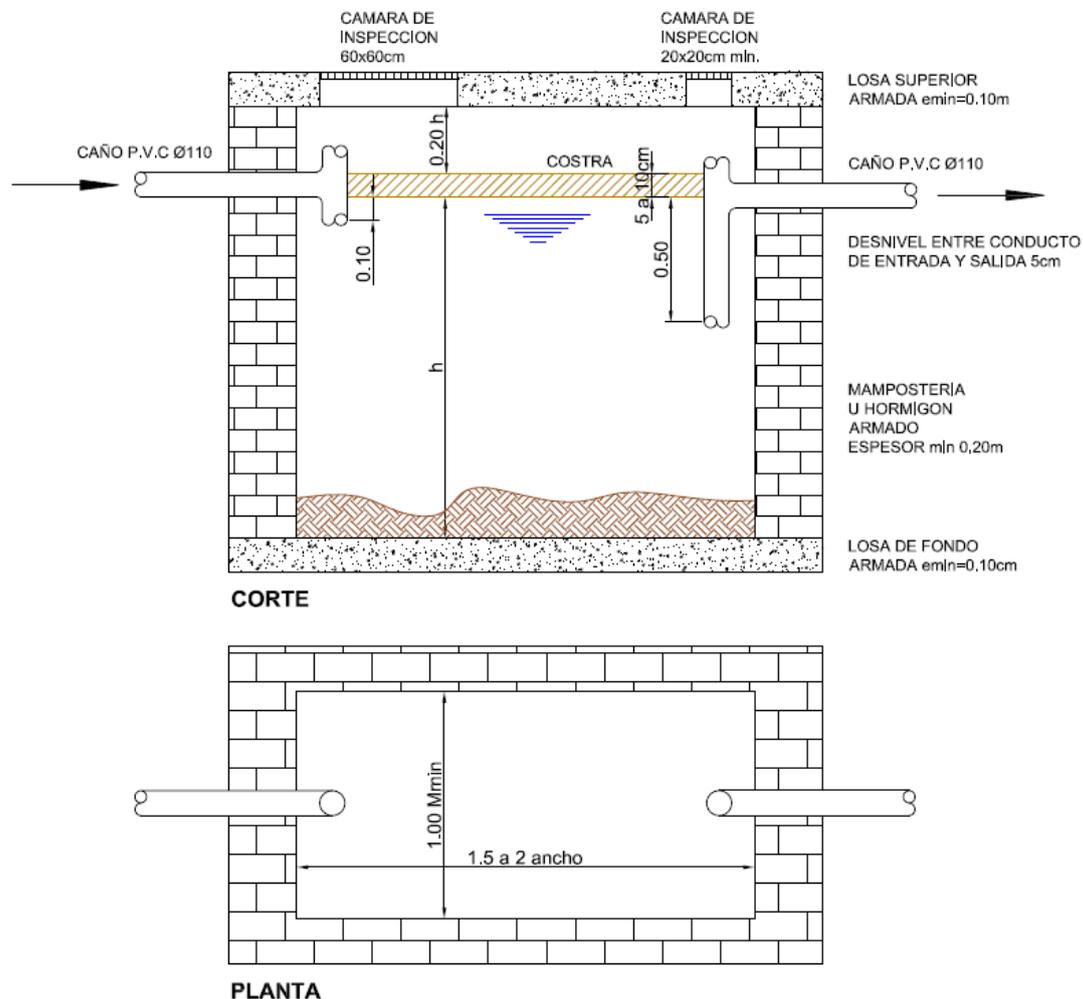


Imagen 30 Fosa Séptica (Depuración con Humedales construidos- García / Corzo)

^{VIII} El contenido de nitrógeno en las aguas residuales urbanas suele ser de origen doméstico y está compuesto principalmente por nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal (NH₃, NH₄⁺). La nitrificación es la oxidación biológica de amonio con oxígeno a nitrito, seguido por la oxidación de esos nitritos a nitratos.



El funcionamiento de estas sencillas instalaciones puede ser alterado por múltiples razones, tales como: Sobrecarga de contaminación orgánica, gran dilución, inclusión de fuertes concentraciones de grasas y/o detergentes, incorporación de antisépticos o productos químicos, etc. La inclusión de estos elementos puede provocar inhibición del metabolismo bacteriano. Otro problema se presenta cuando no son retirados los lodos que se han ido depositando.

Para viviendas que cuentan con servicio de provisión de agua, abastecidas desde redes públicas o por sistemas individuales, es esperable un volumen de efluentes cloacales del orden de 80 litros o más por habitantes. Dada la importancia de dicho volumen y de no contar la vivienda con servicio de colectoras cloacales, deberá procurarle un sistema individual de disposición final, capaz de evacuarlo. El sistema más difundido por su efectividad y economía es el compuesto por cámara séptica e infiltración en el subsuelo. La totalidad de los efluentes líquidos contaminados de una vivienda, fundamentalmente cloacales, se pueden derivar a este sistema de depuración y disposición. Hacia la cámara séptica deben ser enviados todos los efluentes cloacales provenientes de: inodoros, bidé, duchas, bañeras, lavatorios, mingitorios, piletas de lavar ropa, pileta de cocina, rejillas de pisos internos. Bajo ningún concepto se deberá enviar agua de lluvia a la cámara séptica. (ENOHSA, Cap. 7, 1993)

Así mismo, por lo antes mencionado, el efluente de cámara séptica no podrá ser dispuesto directamente en un cuerpo receptor superficial.

11.3.1.1 Condiciones de funcionamiento

Aproximadamente el 99,9% de la composición de los desagües domiciliarios es agua altamente contaminada, que necesita ser dispuesta en un área de suelo para su percolación. El 0,1% restante representa a los sólidos sedimentables. En las cámaras sépticas, un porcentaje de los sólidos disueltos se transforman en sedimentables, decantando también.

En esta unidad se produce la separación de las fases líquidas y sólidas del efluente. La primera constituye el efluente de la cámara, mientras la segunda sedimenta formando depósitos o flota transformándose en espuma o costra superficial.

Los barros sedimentados se digieren anaeróticamente; idéntico proceso se produce con la espuma, además de la acción degradante de los hongos. Ambas acciones provocan la transformación de la materia orgánica del efluente.

El proceso de asimilación de la materia orgánica es realizado por bacterias facultativas y anaeróbicas que actúan en ausencia de oxígeno, reduciéndola a sustancias orgánicas poco oxidadas, disolviendo algunos sólidos o pasándolos al estado líquido. En esta fase se desprenden gases, entre ellos principalmente Metano, Dióxido de Carbono y pequeñas cantidades de Hidrógeno Sulfurado. La acción biológica que se desarrolla en la fase líquida es escasa, debiéndose evitar el ingreso de derivados del petróleo, materiales grasos y aceites, a efectos de no interferir o reducir sensiblemente dicha acción. La espuma que ocupa la superficie del líquido de la cámara séptica, está constituida por grasas y sólidos refltados por los gases ascendentes, provenientes de la digestión anaeróbica de los barros.

El líquido parcialmente clarificado escurre hacia la salida, que se realiza por debajo de la capa flotante de espuma. Para evitar el escape de ésta, se coloca una pantalla superior o chicana de retención en el egreso de la cámara séptica. Al solubilizarse los sólidos cloacales, dan como efluente un líquido con elevado contenido coloidal, altamente contaminado, pero más estable. Si la capacidad de la cámara es suficiente y está construida de acuerdo a lo normado, se podrá disponer el líquido en campos de infiltración subsuperficial, campos de percolación, pozos absorbentes o filtros anaeróbicos, según sean los caudales y las condiciones locales del suelo en cada caso. Cuando el suelo y condiciones de emplazamiento sean favorables, puede esperarse que el sistema de cámara séptica y disposición en el subsuelo preste un servicio satisfactorio (ENOHSA, Cap. 7, 1993).

La fosa séptica más completa consta de tres compartimentos. Al llegar el agua al primero, decanta la materia más densa y se deposita en el fondo en forma de lodo; la materia más ligera forma en la superficie una espuma flotante. El agua pasa al segundo compartimento a través de orificios a media altura. En este compartimento se produce la decantación de sólidos y formación de espuma en menos cuantía. El efluente pasa al tercer compartimento donde permanece hasta alcanzar un cierto nivel, capaz de cebar el sifón y descargar sobre la zona de depuración biológica secundaria. En esta última etapa se efectúa la depuración en condiciones aeróbicas.

Debe puntualizarse que en los dos primeros compartimentos citados se desarrolla una fermentación anaeróbica dándose las condiciones de una digestión convencional. Parte de los sólidos se licúan, parte se volatilizan y parte se depositan y concentran, siendo preciso su retirada periódica. El tercer compartimento estará dotado de entrada de aire, reiniciándose unas condiciones aeróbicas en las aguas vertidas.

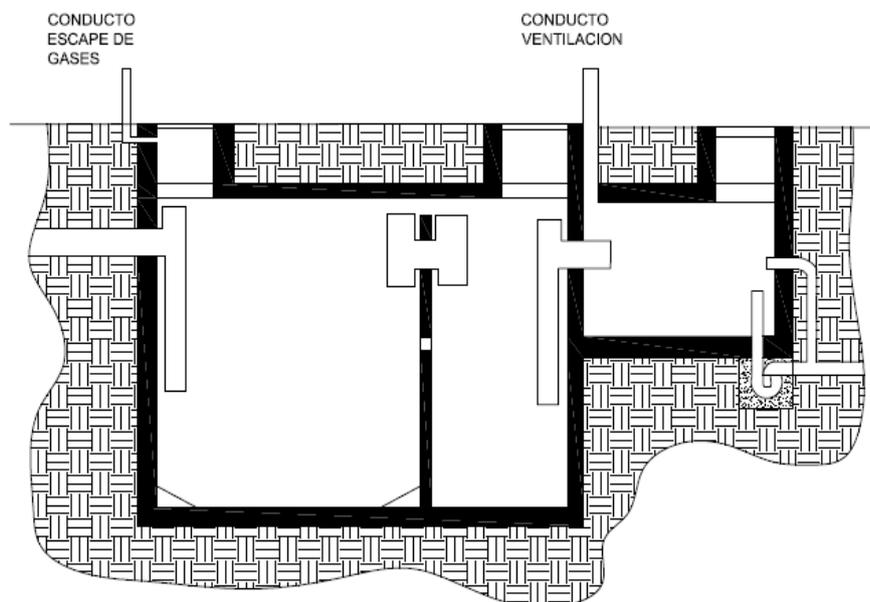


Imagen 31 Esquema de Fosa Séptica de 3 Compartimentos - (Manual Uralita)

Con independencia de lo señalado, se obtienen resultados válidos, en vertidos de viviendas unifamiliares o pequeñas instalaciones, con cámaras con un sólo o dos compartimentos.

El proceso que se desarrolla en el interior de los primeros compartimentos constituye el «tratamiento primario» y el que se efectúa en el compartimento final es el «tratamiento secundario».

Las aguas residuales se conservan en reposo durante un período de 1 a 3 días, según la capacidad del tanque. Durante ese período los sólidos más densos se depositan en el fondo formando fango. La mayoría de los sólidos ligeros, como las materias grasas, permanecen en el depósito formando una especie de espuma en la superficie del agua, mientras el efluente se lleva el resto al sistema final de evacuación.

Los sólidos retenidos en la cámara séptica sufren una descomposición anaeróbica producida por la acción de bacterias y de hongos. El resultado más importante de ese proceso es una considerable reducción en el volumen de los sedimentos, lo que permite que la cámara funcione por períodos de uno a cuatro años o más, antes de que sea necesario limpiarla. Esa descomposición afecta a los sólidos sedimentados, a la materia orgánica, disuelta o coloidal de las aguas residuales.

El burbujeo del gas a través del líquido obstaculiza en cierto grado la sedimentación normal de los residuos sólidos. Esa dificultad puede aminorarse añadiendo a la cámara séptica un segundo compartimento en el que las materias más ligeras en suspensión que han pasado por el primero encuentren condiciones más favorables para la sedimentación. Esto es particularmente útil cuando la descomposición anaeróbica es rápida y la cantidad de sólidos ya sedimentados en el primer compartimento es muy grande. La masa de lodos del compartimento suplementario suele ser más homogénea y tener un mayor grado de floculación que la del primero y se observa también una menor producción de espuma.

Una instalación de fosa séptica depende, en su funcionamiento de una serie de condiciones tales como: Tipo de construcción y diseño, la carga contaminante recibida y sus características,



la carga hidráulica, aspectos geológicos y topográficos de la zona de ubicación, composición del terreno, presencia de agua y nivel freático, y proximidad a zonas habitadas.

Son condiciones necesarias para garantizar un correcto funcionamiento de las fosas sépticas:

- El contenido de nitrógeno amoniacal no debe sobrepasar los 200 mg/l.
- El volumen de agua de dilución incorporado a la fosa por habitante deberá ser superior a los 40 litros por día.
- Es conveniente que las aguas procedentes de las cocinas sean conducidas de forma previa a la cámara de retención de grasas.
- No deben incorporarse residuos sólidos al vertido sobre fosas sépticas.
- No deben verterse productos líquidos o alcalinos utilizados para limpieza de desinfectantes.
- No es aconsejable la incorporación de aguas de lavado que puedan contener fuertes concentraciones de detergentes o lejías.
- Evitar la colocación de trituradores de basura en las viviendas. Su instalación obliga a incrementar el tamaño de la fosa en un 50%.

11.3.1.2 Criterios Generales de Diseño

Hay distintas normas y reglamentos, los que de acuerdo a la experiencia y resultados en los que se basan fijan diferentes parámetros básicos y criterios. No obstante ello, algunos criterios son similares y no presentan grandes diferencias. (ENOHSA, Cap. 7, 1993)

- a. Número de compartimientos:** si bien no hay parámetros claros para el diseño de cámaras de 2 ó más compartimientos en serie, la experiencia indica la conveniencia de particionar el volumen total en tercios, asignando al primer compartimiento 2/3 del total y al segundo 1/3. Los fenómenos observados así lo hacen aconsejable, toda vez que los gases de la digestión tienden a rebotar sólidos, con lo que un segundo compartimiento contribuye a sedimentar los barros puestos nuevamente en movimiento. Si en el segundo compartimiento se descargan, sin pasar por el primero, los líquidos originados en desagües de limpieza de pisos y ropa., con altos contenidos de jabón, se mejora el proceso en la primera parte, ya que no hay formación de burbujas y/o películas envolventes de la materia orgánica. Por ello, esta no tiende a flotar y es además fácilmente accesible por los microorganismos del sistema. Pareciera aconsejable que superados los 20 usuarios, la cámara se divida en dos compartimientos.
- b. Ventilación:** Los procesos en la Cámara Séptica son muy sensibles a las variaciones bruscas de temperatura, razón por la que debe evitarse su ventilación directa. Esta debe concretarse a través de las ventilaciones de la instalación sanitaria interna de la vivienda y/o del pozo absorbente, cuidando especialmente que la unión de ambas ventilaciones no produzcan la aeración de la cámara. Es necesario, siempre, asegurar la evacuación continua de los gases generados, como producto de la digestión, ya que son altamente inflamables. Las Cámaras Sépticas, dentro de lo posible, deben verse protegidas contra cambios significativos de temperatura y en especial hay que evitar que la misma descienda por debajo de los 10 / 12 °C. Para ello, una cubierta superior de tierra del orden de 0,40 a 0,60m impide el retardo o inclusive la anulación de los procesos anaeróbicos, tendiendo asimismo a lograr la uniformidad de temperatura en la cámara.
- c. Accesos:** deben ser herméticos y permitir las tareas de limpieza de la cámara y desobstrucción de las conducciones de llegada y salida. Resulta conveniente disponer a este efecto dos accesos, uno en coincidencia con la entrada y otro con la salida, que lleguen hasta nivel del terreno natural. Cuando se trate de cámara de dos compartimientos, un tercer acceso será necesario.

El funcionamiento correcto de la Cámara Séptica es totalmente dependiente de los dispositivos de entrada y salida. En cámaras anchas, la bifurcación de la entrada suele ser una solución



recomendable. La salida se materializa mediante una pantalla transversal que ocupa todo el ancho de la cámara y es colectado por el conducto correspondiente.

11.3.1.3 Consideraciones para el posible empleo de fosas sépticas

Antes de adoptar este sistema deberán garantizarse los siguientes aspectos:

- El sistema debe poder asegurar los rendimientos exigibles en función del punto de vertido.
- Debe garantizar las condiciones higiénico-sanitarias.
- Debe garantizar las condiciones estéticas de la zona.
- Debe ser aceptado por los habitantes residentes de la zona.
- Debe garantizar la no contaminación de subálveos utilizados para abastecimiento de aguas.
- Debe ser practicable, visitable y de emplazamiento válido para acceso de los equipos de vigilancia periódica y de limpieza.
- Debe ser la solución alternativa más económica. En este sentido deberá justificarse las ventajas económicas, a igualdad de condiciones técnicas, que presenta frente al saneamiento comunitario.

11.3.1.4 Fosas sépticas con sistemas de nitrificación

Las misiones encomendadas a una instalación de este tipo son:

- a. Cámara de grasas.
- b. Cámara destinada a la recogida y licuación de las aguas negras.
- c. Elemento depurador secundario capaz de lograr la oxidación de la materia orgánica proveniente de la cámara.

Las cámaras de retención de grasas, constituyen un dispositivo imprescindible siempre que las aguas domésticas se viertan al medio natural, a un cauce, al mar o a una fosa séptica. En viviendas u otro tipo de pequeña instalación no es preciso su instalación pero sí conveniente en la línea procedente de la cocina y zona de lavado.

Por lo tanto el sistema de saneamiento individual más simple, se reduce así a una cámara séptica seguida de una infiltración del agua licuada en el terreno poroso. Esta percolación en el terreno puede realizarse de formas diversas tales como: Riego superficial (no recomendado), percolación mediante un filtro de arena o un pozo absorbente, infiltración con drenes, etc. En estos casos, debe preverse que el nivel más alto del nivel freático aparezca a no menos de 90 cm por debajo de la salida del agua de estos sistemas.

11.3.1.5 Forma del depósito

De la forma del depósito depende la velocidad de circulación de vertido a través del mismo, el espesor de la capa de fango que se acumula y las zonas posibles de estancamiento. Si el depósito se diseña con una profundidad demasiado grande con relación a las otras dimensiones, se produce una corriente directa desde la entrada a la salida, y el período de retención se reduciría considerablemente. Si por el contrario el depósito se diseña con poca profundidad, el espacio libre de fangos sería demasiado pequeño y la sección transversal útil se reduciría innecesariamente. Cuando la anchura sea excesiva, existirán grandes espacios muertos en las esquinas, en los que el líquido tendrá poco o ningún movimiento. Por último, si el tanque fuese demasiado estrecho, la velocidad de circulación sería tan grande que no se produciría una sedimentación eficaz. Las investigaciones demuestran que la longitud de los depósitos rectangulares debe ser por lo menos el doble, pero no más del triple de su anchura. La profundidad del líquido no debe ser inferior a 1,2 m pero tampoco superior a 1,7 m en las fosas de gran tamaño. El espacio libre que se deja sobre el nivel del agua suele ser de 30 cm.



El volumen mínimo de una cámara séptica debe ser de 1.900 litros. Cuando se prevé la existencia de dos compartimentos, la experiencia aconseja que la primera tenga un volumen útil del 66%, teniendo la segunda el resto. Si se diseña la cámara con tres compartimentos, el primero de estos tendrá como volumen útil el 50% del total, y cada uno de los otros compartimentos el 25%.

11.3.1.6 Ubicación del depósito

Puesto que es necesario efectuar inspecciones periódicamente, el espesor de la capa de tierra que cubre el depósito no debe ser superior a 60 cm. En todo caso, los registros de inspección deben salir hasta el nivel del suelo. Deben adoptarse precauciones para impedir la entrada en el depósito de aguas superficiales. Dada la posibilidad de que se produzcan fugas, especialmente alrededor de las tuberías de entrada y de salida, el depósito se debe situar preferentemente en un plano más bajo que los pozos de agua y otros manantiales y por lo menos a 15 m de distancia. No obstante los manuales de Water for The World (US Agency for International Development), Banco Mundial, publicaciones diversas de Brasil, Colombia, etc. dan guías orientativas sobre la localización de Cámaras Sépticas con referencia a otras instalaciones usuales. Las distancias, en general, son las mínimas aconsejadas para mantener, el conjunto dentro de aceptables criterios sanitarios (ENOHSA, Cap. 7, 1993):

Ítem	Distancia Mínima (m)
Edificaciones	1,50
Límites de Propiedades	1,50
Pozos de Agua	15,00
Cursos de Agua	7,50
Represas	7,50
Cañerías de Agua	3, 00
Caminos, senderos	1,50
Arboles importantes	3 , 00

Tabla 13 Distancias Mínimas para la ubicación de la cámara séptica

Estas distancias deben interpretarse como mínimas, y adecuarse a las circunstancias locales, respetando en todos los casos un cierto orden de importancia. Las distancias a árboles tienden a asegurar que las raíces de los mismos no afecten la estructura de las cámaras, mientras que los 1,50m de alejamiento a edificaciones protegen a las mismas de infiltraciones, o los 15 m a pozos de agua protegen la contaminación de éstos contra posibles infiltraciones. En este orden de consideración, en caso de no ser factible cubrir simultáneamente todos los requerimientos, se deberá asignar prioridad a aquellos que reconozcan un origen de protección sanitaria.

11.3.1.7 Eficiencia de Fosas Sépticas

Según la norma del ENOHSA, pueden ser utilizados los valores que a continuación se detallan como eficiencia de las cámaras sépticas en remoción de: Sólidos Decantables en 2h (SD), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos en Suspensión (SS), Grasas y Aceites (GA) . En cámaras sépticas correctamente proyectadas, construidas y mantenidas se observaron los siguientes porcentajes de remoción de esos parámetros. (s/ Azevedo Netto y Lothar Hess - D.A.E, 1970)

DBO ₅	DQO	SD	SS	GA
40 a 60	30 a 60	85 a 95	50 a 70	70 a 90

Tabla 14 Eficiencia de Remoción (ENOHSA, 1993)



La eficiencia en reducción de las concentraciones de la DBO_5 (o DQO) y los sólidos sedimentables puede incrementarse aumentando el tamaño de la cámara y en consecuencia la permanencia hidráulica.

Como se puede observar, la función desempeñada por la cámara séptica es la disgregación y decantación del efluente, realizando solamente un tratamiento primario. Por ello se debe continuar el proceso de depuración para poder disponerlo en cuerpos superficiales. Caso contrario, puede aprovecharse el poder de depuración de los suelos con una adecuada infiltración.

11.3.1.8 Selección del tipo de vertido del efluente tratado

Según E. G. WAGNER y J. N. LANOIX, el límite de la utilización de fosas sépticas se establece para vertidos diarios iguales o inferiores a 38 m^3 . A partir de estos vertidos es preferible utilizar tanques combinados de decantación y digestión separada, como son los tanques Imhoff, Emscher, etc. (en el punto 11.3.2 se verá que esta opción no es admitida en la Provincia).

La tecnología francesa recomienda el empleo de fosas sépticas hasta 300 habitantes, siendo válido el empleo de tanques combinados de decantación y digestión a partir del vertido de 30 habitantes.

Desde el punto de vista sanitario, la remoción de bacterias, virus u otros organismos causantes de enfermedades constituye el aspecto fundamental a ser evaluado para la disposición de los efluentes en el suelo. Estudios de campo y de laboratorio permiten determinar la eficiencia del terreno en la remoción de agentes patógenos y la incidencia de los factores que influyen en este proceso, tales como el tipo de suelo, temperatura, pH, permeabilidad y mortalidad de organismos patógenos. La escorrentía del líquido a través del suelo es otro factor a ser considerado, asociada a la carga orgánica enviada, ya que bajas concentraciones permiten una mejor percolación del efluente en el suelo.

En relación al comportamiento de las bacterias en el suelo, los datos obtenidos son muy variables, debido fundamentalmente a las dificultades de su obtención. Un ejemplo de ello es la determinación de la vida de las bacterias de origen fecal, siendo la humedad y la temperatura los principales factores que manejan la vida de las bacterias en el suelo. Estudiada la sobrevivencia de la salmonella typhi y shigella dysenteriae^{IX} en diferentes tipos de suelo y temperatura ambiente, se comprobó que en la mayoría de los suelos las bacterias viven 70 días. En suelos secos ninguna bacteria supera los 20 días, mientras que en suelos ácidos la vida se redujo a 10 días, independientemente del contenido de humedad. Temperaturas menores de 40° favorecen el desarrollo de los microorganismos, entre los que se encuentran las bacterias entéricas.

En investigaciones realizadas en campos de disposición de efluentes provenientes de cámaras sépticas, se comprobó que en los primeros 30 cm por debajo del punto de inyección se comienzan a detectar, entre otros microorganismos, los actino micetos, los que aumentan en los 30 cm siguientes. Los actino micetos producen antibióticos que contribuyen a la mortalidad de las bacterias entéricas. La microflora del suelo compite, a su vez, con las entéricas y ello contribuye en aumentar su mortalidad.

Otros investigadores determinaron que a pequeña profundidad, entre 0 y 1m, en tan sólo 22 a 28 días se redujeron en 90% el número de estreptococos fecales y coliformes fecales. A profundidades mayores, entre 1 y 2m y para suelos loess - arcilloso, fueron necesarios 25 a 182 días. Esta tendencia de mayor vida de las bacterias a mayor profundidad puede deberse a la disminución de la acción de la microflora del suelo con el aumento de la profundidad.

Se concluye, por lo más arriba expuesto, la imperiosa necesidad de mantener una mínima distancia entre el fondo de los sistemas de disposición de los efluentes de cámaras sépticas y el máximo nivel de la capa freática, para evitar posibles contaminaciones con grave riesgo de la salud pública. Dado el escaso grado de reducción de virus que provee la cámara séptica, se debe necesariamente disponer el efluente en un ambiente apropiado, para lograr la remoción en la porción de suelo adecuada.

^{IX} es una bacteria con forma de bacilo, habitante normal del tracto gastrointestinal humano, del tipo anaeróbica facultativa, se propaga contaminando los alimentos.



La remoción de los virus por el suelo, resulta por la combinación de los efectos de permanencia e inactividad. Al penetrar en el suelo, los virus son rápidamente adsorbidos por las partículas del suelo y su retención es función del grado de saturación de esa porción de suelo. En ensayos de laboratorio realizados en una columna de 60 cm de altura llena de arena, todos los virus fueron removidos para cargas superficiales de 5 cm/d; cuando se pasó a una velocidad diez veces mayor, se comprobó que solamente se inactivaron el 18% a temperatura ambiente y el 1,1% entre 6 y 8°C. Estas y otras experiencias permiten asegurar que la mayoría de los virus son adsorbidos en los primeros 5cm del suelo y que su remoción no es apreciable para cargas superficiales entre 15 y 55 cm/d.

Los efluentes cloacales domiciliarios pueden contener sustancias químicas, algunas de las cuales son tóxicas para la salud a corto o largo plazo y producen riesgos ambientales. Compuestos fosforados o nitrogenados, arrojados a cuerpos superficiales o subterráneos, pueden producir problemas ambientales. Debemos recordar que el nitrógeno en la forma de nitratos o nitritos, ocasionan en los bebés la enfermedad vulgarmente llamada de los niños azules, razón por la cual se fijan los límites presentes en el agua potable en 10 mg/L como N. La eutrofización de las aguas de lagos y lagunas es también provocada por el exceso de nitratos.

Los nitratos en solución fluyen fácilmente por el suelo. Los compuestos nitrogenados efluentes de las cámaras sépticas son aproximadamente 80% amoniacales y 20% de nitrógeno orgánico; gran parte de ellos son convertidos biológicamente en nitratos cuando se encuentran en ambientes aeróbicos o zonas de baja saturación. Cuando por variadas razones en el subsuelo prevalecen las condiciones anaeróbicas, los compuestos nitrogenados permanecen en forma de amonio, el que es absorbido por la arcilla y su transformación se realizará muy lentamente.

El fósforo también produce grandes problemas ambientales cuando llega a los cuerpos superficiales. Acelera el proceso de eutrofización por ser el principal nutriente de las algas y plantas acuáticas. Puede también contaminar las aguas subterráneas cuando el nivel freático es elevado o cuando la permeabilidad del suelo es elevada. Asimismo, se puede infiltrar con velocidades entre 50 y 100 cm/año en arena limpia. En arcillas, loess, etc. disminuye a 5 ó 10 cm/año. Por ello, excepto en los suelos granulares, el fósforo demora más de 10 años para trasladarse un metro (ENOHSA, Cap. 7, 1993).

La selección del sistema adecuado depende fundamentalmente de criterios técnicos apoyados en métodos de ensayos empíricos, frecuentemente normalizados por distintas reglamentaciones. Diversos factores deben ser considerados entre los distintos métodos de disposición: permeabilidad, disponibilidad de espacio, pendiente del terreno natural, profundidad de la capa freática, tipo y profundidad del subsuelo rocoso, variación del caudal del efluente, distancia a pozos de obtención de agua, entre otros.

El ensayo práctico de infiltración en el terreno es debido a Henry Ryon, quien lo desarrolló en 1926 para poder evaluar la absorción por el suelo del líquido proveniente de cámaras sépticas, por medio del sistema de infiltración subsuperficial.

Por lo tanto, las alternativas de disposición del efluente tratado en el suelo dependen fundamentalmente de la permeabilidad del mismo y de los conceptos mencionados anteriormente, teniendo las siguientes opciones:

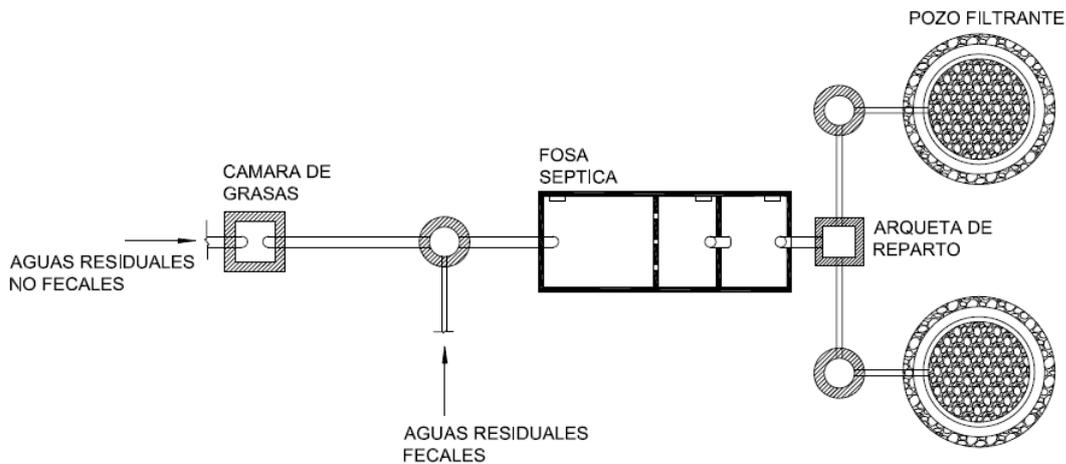
- a. Fosa séptica y pozos filtrantes.
- b. Fosa séptica y zanjas filtrantes.
- c. Fosa séptica y lechos bacterianos.
- d. Fosa séptica y filtros de arena.

Cabe aclarar que las Normas del ENOHSA, indican cuando se puede utilizar pozo absorbente, cuando campo de infiltración subsuperficial (zanjas filtrantes), o campo de percolación subsuperficial (filtros de arena). Siempre de acuerdo al ensayo de absorción a realizar en la zona de vertido.

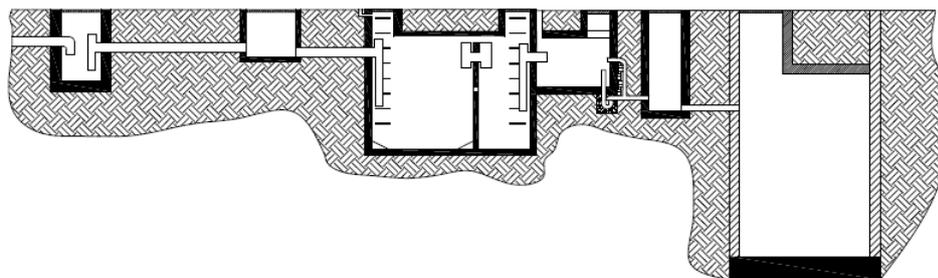
11.3.1.9 FOSA SÉPTICA Y POZOS FILTRANTES



Esta solución es válida, cuando no se presentan problemas de impacto por contaminación de las aguas subterráneas, y cuando el terreno está constituido por gravas, arenas gruesas o medias. El número de pozos N, el diámetro D, y la altura de los pozos, son valores definidos en función de los habitantes servidos.



PLANTA

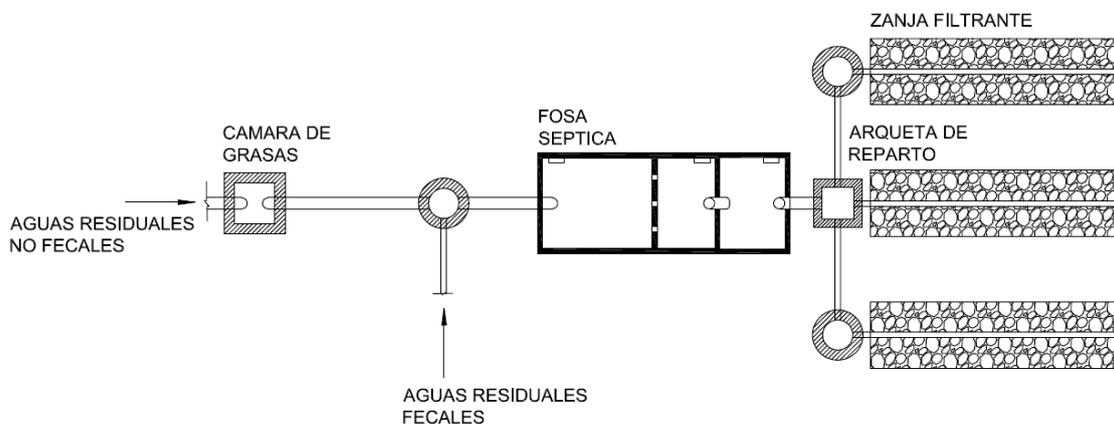


SECCION

Imagen 32 Esquema de Fosa Séptica con Pozo filtrante (Manual Uralita)

11.3.1.10 FOSA SEPTICA Y ZANJAS FILTRANTES

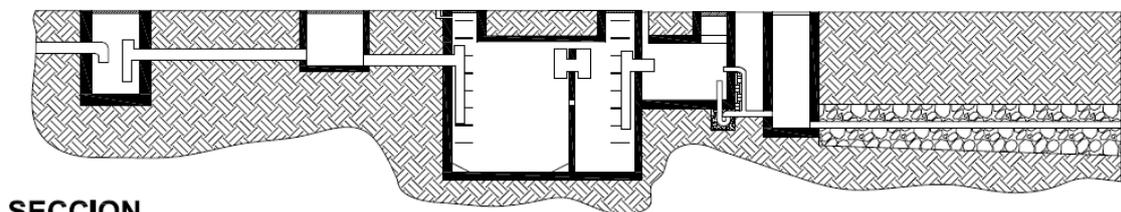
A diferencia del anterior, el efluente tratado es derivado a Zanjas filtrantes. Estas reciben el efluente procedente de la arqueta de reparto, el cual a su paso a través de la arena se depura por vía aerobia y pierde las partículas en suspensión.



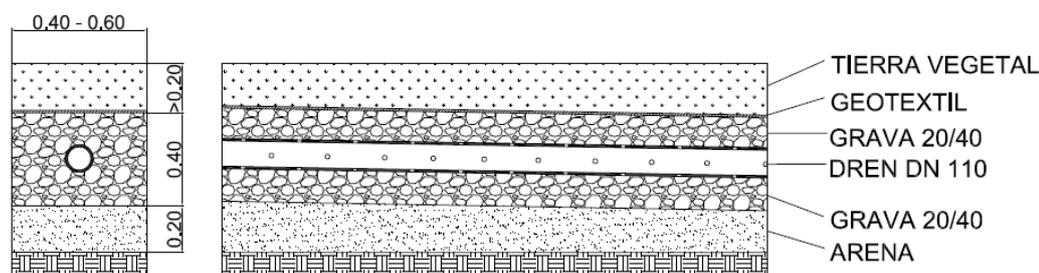
PLANTA

Imagen 33 Esquema de Fosa Séptica y zanjas filtrantes (Manual Uralita)

El número de zanjas filtrantes, N , y la longitud de cada una de ellas, L , se determinan en función de los habitantes servidos generalmente con una dotación < 250 l/ha.d.



SECCION



CORTE DE ZANJA

Imagen 34 Detalle Constructivo (Manual Uralita)

En este tipo de solución previo a su aplicación, se debe verificar la capacidad drenante del suelo por medio de una prueba de infiltración.

11.3.1.1 FOSA SEPTICA Y LECHOS BACTERIANOS

El sistema queda constituido de manera similar al de zanjas filtrantes, con el agregado de que entre la Arqueta de Reparto y las Zanjas se colocan Lechos Bacterianos

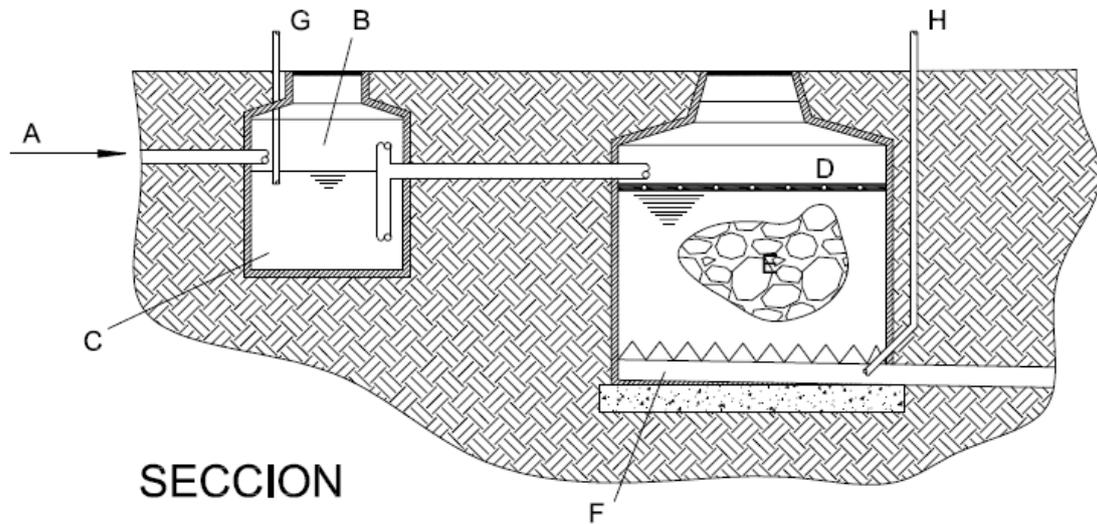
Los flóculos biológicos generados en los Lechos, quedan retenidos en las Zanjas Filtrantes.

La nitrificación pretende la oxidación de la materia orgánica por la acción de las bacterias aerobias fijadas en películas biológicas a las arenas o gravas, y recibiendo el oxígeno necesario por aireación adecuada de estos elementos.

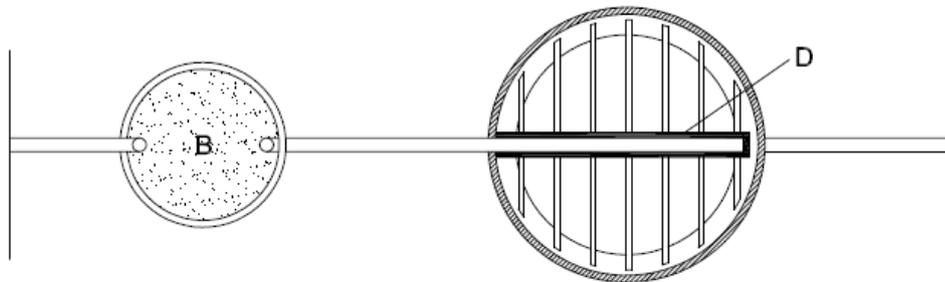
Debe procurarse que estos medios biológicos no estén sobrecargados ni sumergidos un tiempo demasiado largo. No será nunca admisible una situación que lleve a condiciones anaeróbicas.

La profundidad de los lechos en estas instalaciones pequeñas varía de 0,7 a 3 metros. La carga de aguas residuales es muy variable dependiendo del volumen de la instalación y la concentración de las aguas residuales. Pueden adoptarse cargas hidráulicas de 300 a 500 litros por metro cúbico de material filtrante.

Las características constructivas, tamaño de los áridos y ventilación son similares a los considerados en el proceso biológico convencional por lechos bacterianos. Un esquema de este sistema de nitrificación a continuación de una cámara séptica se representa en la imagen 34. El tamaño de los áridos estará comprendido entre los 15 y los 60 mm. Pieza fundamental del correcto funcionamiento del sistema es la garantía de la aireación, que puede efectuarse mediante chimeneas de ventilación donde confluirán conductos perforados que atraviesen las capas del lecho.



SECCION



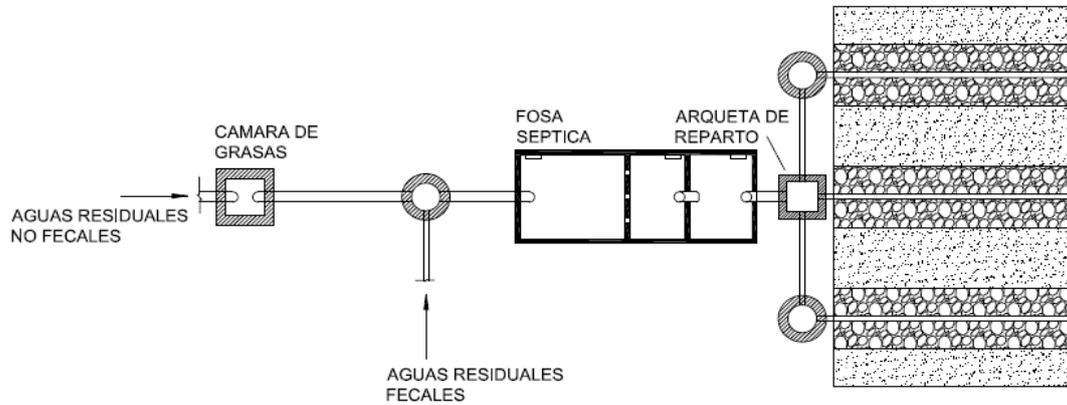
PLANTA

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| A Entrada de Agua Bruta | E Lecho Bacteriano |
| B Camara de Decantacion | F Recogida de Agua Nitrificada |
| C Camara de Digestion | G Salida de Gases |
| D Reparto de Agua Decantada | H Conducto de Aireacion lecho |

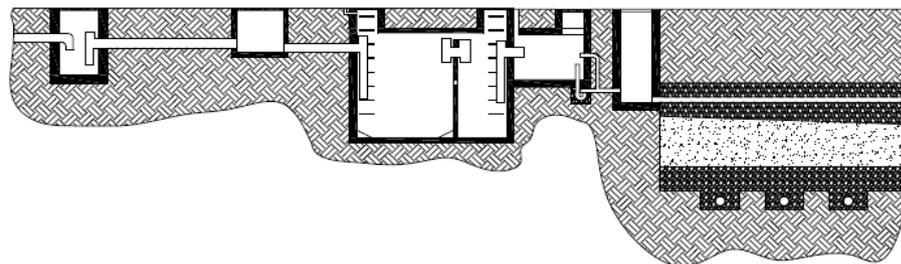
Imagen 35 Esquema de Fosa Séptica y Lecho Bacteriano (Manual Uralita)

11.3.1.12 FOSA SÉPTICA Y FILTRO DE ARENA (Campo de percolación Subsuperficial)

En este caso el efluente procedente de la arqueta de reparto pasa a los filtros de arena, donde se depura. El efluente depurado se recoge en conductos porosos situados en el fondo del filtro.



PLANTA



SECCION

Imagen 36 Fosa Séptica y Filtro de Arena (Manual Uralita)

Filtros de arena enterrados: Los filtros de arena subterráneos se basan en el mismo principio que las zanjas de arena filtrante. Una vez calculadas las dimensiones del filtro, se efectúa la excavación hasta la profundidad requerida y se rellena con arena gruesa, después de tender las tuberías de distribución del efluente y las de desagüe. La velocidad de carga de los filtros de arena subterráneos y las tuberías que se utilizan son las mismas que se han indicado anteriormente para las zanjas de arena filtrante.

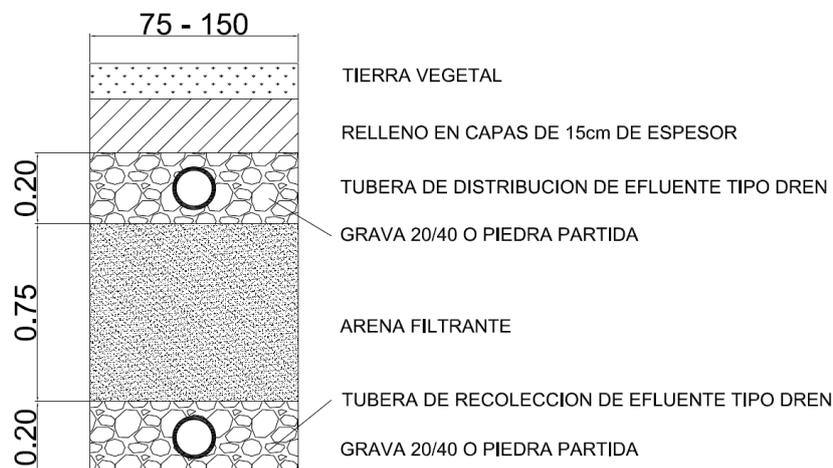
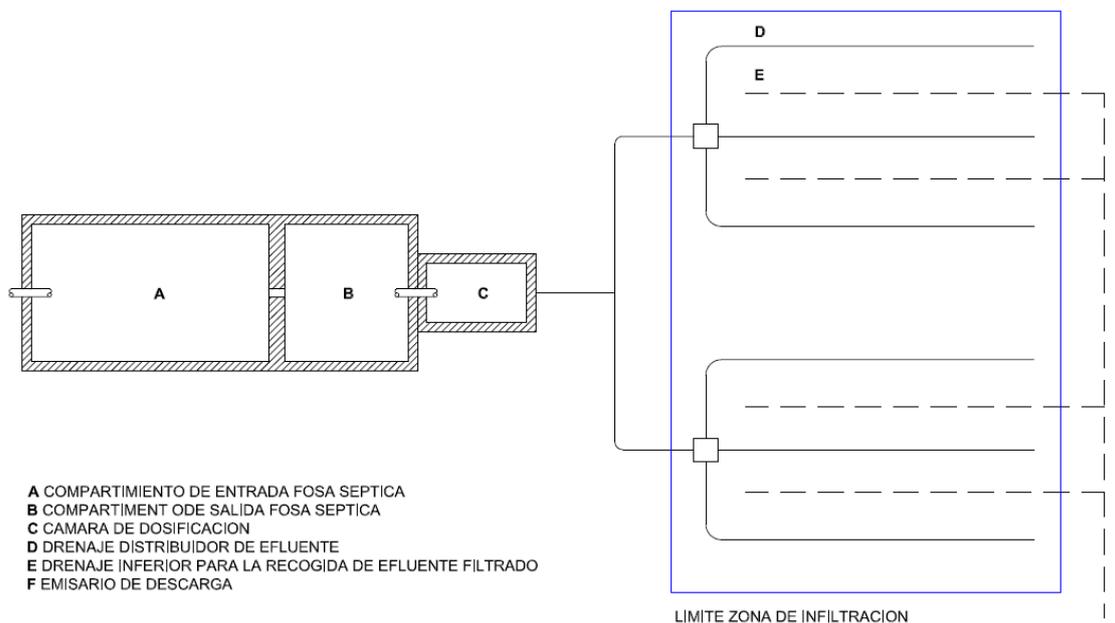


Imagen 37 Detalles Constructivos (Manual Uralita)

Cuando se trata de grandes instalaciones, los filtros de arena subterráneos suelen ser más baratos que las zanjas de arena filtrante y deben preferirse a estas últimas cuando hay que instalar sifones dosificadores.

Sin embargo, por no ser accesibles, si alguna vez llegan a obstruirse es preciso construir otros nuevos.



PLANTA

Imagen 38 Esquema General de Fosa Séptica y Filtro de Arena (Manual Uralita)

Filtros de arena accesibles: En las regiones en las que el nivel de las aguas subterráneas permanecen constantemente próximo a la superficie del suelo, o donde la naturaleza del subsuelo (por ejemplo, los terrenos rocosos) es desfavorable para la construcción de los sistemas de evacuación hasta ahora descritos, se puede recurrir a los filtros de arena descubiertos.

En los filtros de arena descubiertos, la depuración se debe a la acción de bacterias aerobias y a la filtración mecánica. Como las bacterias necesitan oxígeno, los filtros suelen funcionar de manera intermitente para que el aire pueda circular por el lecho filtrante durante los intervalos entre las dosis sucesivas.

Los filtros de arena descubiertos suelen estar divididos en dos o más compartimientos a fin de permitir la limpieza periódica de los lechos y regular su funcionamiento. Al igual que en el caso de los filtros de arena subterránea y de las zanjas de arena filtrante, la depuración se efectúa a través de un lecho de arena gruesa y limpia, de 60 a 90 cm de altura, dispuesto sobre una capa de grava. Se obtienen buenos resultados con arena de 0,35 a 1,0 mm de grosor efectivo y de un coeficiente de uniformidad de 4,0.

Entre la cámara séptica y los filtros o zanjas de infiltración es conveniente implantar una arqueta donde se sitúe un elemento filtrante que impida el paso de elementos sólidos que pudieran colmatar el terreno.



11.3.1.13 Dimensionado de una Cámara Séptica

Al momento de calcular una cámara séptica es necesario previamente determinar el volumen que ocupara la costra de materia sólida y espuma superior. La misma se obtiene de la siguiente manera (Ortiz, Abdel, Ingeniería Sanitaria, UNC):

$$V_c = \frac{N^{\circ} \text{ de Habitantes} * \text{dotacion diaria} * 0.0000047 * 30 * 32}{100} \quad (\text{m}^3)$$

En la que cada uno de los factores represente: 0.0000047 m³/lts el volumen de solidos (libre de arenas) por cada litro de cloacal, 32/100 el porcentaje de ese cloacal que forma la costra o capa superior. Ambos datos de origen experimental.

En este caso 30 indica la cantidad de días de permanencia que se asigna al líquido en la cámara (el cual deberá ser justificado por el proyectista oportunamente) para que los sólidos sean disgregados totalmente. Por otro lado el número de habitantes y la dotación diaria dependerá de la función del edificio a servir. Conocido el volumen de la costra superior y asignándole en base a la experiencia una altura de entre 5 y 10 cm podemos determinar el área necesaria de la cámara a construir:

$$S_c = \frac{V_c}{\text{espesor}} \quad (\text{m}^2)$$

Por otro lado el volumen de la cámara será proporcional a la cantidad de personas que deban utilizar el edificio a servir, a la dotación diaria de las mismas y al tiempo de permanencia del líquido en la cámara, por lo que dicho volumen será:

$$V = N^{\circ} \text{ de personas} * \text{dotacion diaria} * \text{tiempo de permamencia}$$

De donde la altura resultara:

$$h = \frac{V}{S_c} \quad (\text{m})$$

Altura que se mide desde la parte inferior de la costra hasta el fondo de la cámara, y no es conveniente que supere los 2mts, a su vez sobre la costra se estima una revancha que será igual al 20% de h, siendo la altura total

$$h_t = h + e + 0.20h \quad (\text{m})$$

Para finalizar podemos agregar que para la forma rectangular, el ancho mínimo será de 1m y la relación L/A entre 1,5 a 2. No obstante otros autores consultados aconsejan que dicha relación pueda estar comprendida entre 2 y 3.

11.3.2 Tanque de Decantación – Digestión

Este sistema de depuración consiste en un sistema análogo al de fosa séptica, donde la cámara séptica se transforma en un depósito de dos compartimentos, uno sobre otro, el superior donde se efectúa la separación sólido-líquido, y el inferior donde se digieren las partículas sedimentadas.

En el tanque de decantación digestión los sólidos más pesados decantan en el fondo del primer compartimento, en forma de lodo, mientras los más ligeros quedan en la superficie en forma de espuma. Los lodos depositados pasan por el fondo del primer compartimento al segundo donde reducen su materia orgánica, en un proceso de digestión debido a bacterias anaerobias. Los gases que se producen son recogidos y expulsados a la atmósfera.

El agua residual atraviesa la zona de decantación sin entrar en contacto con los lodos en digestión y sale hacia la arqueta de reparto.



Este sistema alcanza rendimientos similares a las fosas sépticas convencionales, no precisando la instalación de ningún equipo mecánico.

Existen actualmente numerosas denominaciones, más que tipos diferentes. En realidad todos están inspirados en la fosa de dos compartimentos tipo Imhoff. A título ilustrativo pueden citarse los siguientes:

Tanque Imhoff: En la figura siguiente pueden contemplarse dos esquemas diferentes. En uno la zona de decantación termina en una tolva con comunicación central en fondo con la zona inferior de digestión. En el otro esquema las zonas de comunicación de ambas cámaras son periféricas

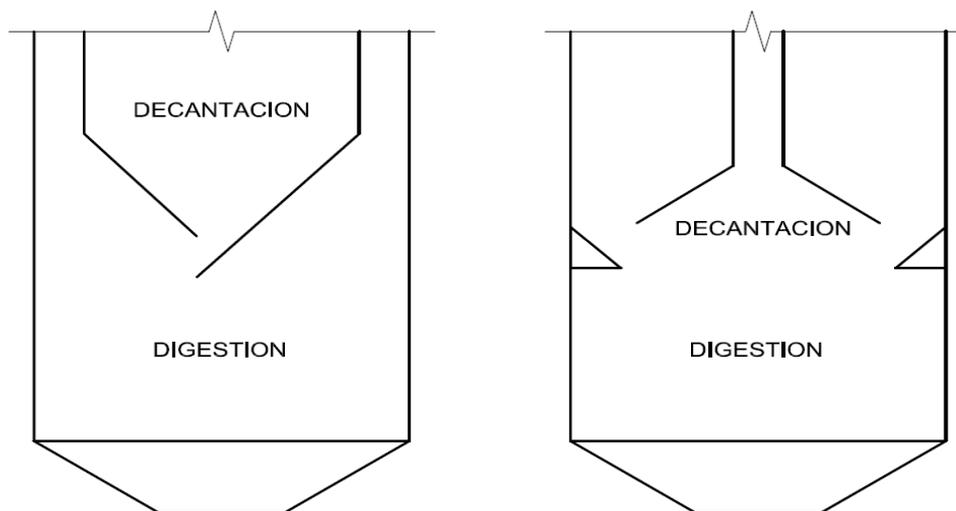


Imagen 39 Esquema Tanques Imhoff (Manual Uralita)

Cuando se acoplan varios elementos en serie, la longitud suele ser de 3 a 5 veces el ancho. Longitudes normales son de 7,5 a 30 m. La profundidad total útil de este tipo de tanques oscila de 6 a 9 metros. En la entrada, si no existe arqueta previa de grasas, debe colocarse una pantalla sumergida para retención de elementos grasos y otros flotantes. En la salida se colocará otra pantalla para retención de espumas. Nunca el volumen de lodos debe alcanzar una altura tal, en el compartimento inferior, que pueda alcanzar la zona de comunicación de ambos compartimentos. Se pueden mencionar con un principio de funcionamiento muy similar a los tanques Clarigester, Emscher, entre otros. A su vez La pendiente de los conductos por gravedad para la extracción de lodos debe ser al menos del 12%.

La legislación francesa señala como valor mínimo para el empleo de este tipo de fosas una población mínima vertiente de 30 habitantes, señalando unos volúmenes mínimos de:

Zona decantación.....	40 litros por habitante
Zona digestión.....	100 litros por habitante
Zona flotante y grasas en pequeños tamaños.....	25 litros por habitante

Con lo cual observamos que su empleo podría ser apto para Complejos o Cabañas, no así para viviendas aisladas.

En base a lo antes expuesto y viendo que el funcionamiento del Sistema en su conjunto es similar al de Fosas Séptica, tendremos las siguientes variantes

- a. Tanque de decantación-digestión y pozos filtrantes
- b. Tanque de decantación-digestión y zanjas filtrantes.
- c. Tanque de decantación-digestión y lecho bacteriano.



Según la Norma para la presentación y diseño de sistemas y obras hidráulicas de la Provincia de Córdoba se especifica que los tanques analizados en este apartado no pueden ser propuestos en proyectos de sistema de tratamiento a futuro, salvo que sean ampliación de unidades existentes. Esto se puede deber básicamente a los fuertes olores que se desprenden de los mismos en su normal funcionamiento. Razón por la cual, la misma norma también exige que para núcleos de más de 50 habitantes, el tratamiento sea de tipo Aerobio únicamente.

Por otro lado existen sistemas que utilizan Biodiscos o BioCilindros como elementos reductores de la materia orgánica, estos no son desarrollados en el presente trabajo dado que por su complejidad electromecánica no son aptos para ser aplicados a los emprendimientos mencionados al inicio del tema en estudio.

11.3.3 Plantas Compactas

Una planta compacta es un sistema que si bien está bastante desarrollado en la actualidad no ha tenido un uso intensivo a la fecha, son muchos los factores que pueden influir en esto, ya sea desde sus elevados costos de inversión, hasta la falta de conocimiento de su existencia.

Dichas plantas no tienen diferencias en cuanto a principios de funcionamiento se trate con respecto a las plantas vistas en la Fase 2, es decir pueden ser de tipo aerobias, en cuyo caso son sistemas de lodos activados, o Anaerobios, asimilando de esta manera su funcionamiento al de una fosa séptica con sucesivas etapas de tratamiento. A su vez dependiendo de la empresa que las fabrique, o diseñe, estas cuentan con distintas alternativas de tratamiento acoplables entre sí, que influirán tanto en la cantidad, como calidad del líquido a tratar. Existen equipos que permiten atender la demanda de 5, 15, 50, 100, 120, 300 personas (modelos especiales hasta 1500 personas).

Los equipos se calculan en base a la cantidad y características del efluente a tratar.

11.3.3.1 Plantas Aerobias

Como se desarrolló anteriormente el proceso de plantas de tratamiento de barros activados, es un método de tratamiento biológico aeróbico, que se basa en reacciones metabólicas de microorganismos, que con el aporte de aire producen flóculos que son sedimentados, eliminando de esa manera un gran porcentaje de la contaminación orgánica (DBO_5) del efluente tratado, a fin de cumplir con las normas de vuelco vigentes.

En este rubro, podemos mencionar empresas como **Bricher S.A.** la cual tiene sede en la Provincia de Santa Fe, en el caso de esta empresa brinda alternativas que constan básicamente de uno o varios módulos construidos en PRFV que incluye digestor biológico, sedimentador secundario, y sistemas de aireación y recirculación de barros. Todo el tratamiento se realiza en un recinto totalmente estanco. Se ofrecen dos tipos de plantas que realizan el mismo tratamiento, una compacta y otra modular, para ambas la descripción del proceso es el siguiente:

1. **Pre-tratamiento:** Consta de un sistema de desbaste para retener sólidos que puedan afectar el normal funcionamiento de la planta. Las rejas ubicadas dentro de esta cámara, retienen sólidos insolubles de tamaño mayor a 20 mm de diámetro para protección de las bombas.
2. **Pozo de bombeo:** Luego de que el líquido a tratar pasa por la cámara de pre-tratamiento es volcado al pozo de bombeo donde por medio de bombas sumergibles es elevado al reactor de la planta, esto es en el caso de que la planta sea instalada aérea o semienterrada, en caso de estar instalada completamente enterrada el líquido a tratar ingresara por gravedad directamente al reactor.
3. **Reactor biológico:** el tratamiento biológico se realiza en una cámara de aireación, aireada por medio de difusores de burbuja fina. Este tratamiento permite la degradación de la materia orgánica que se encuentra en estado coloidal en compuestos inertes.

4. Sedimentador secundario: El líquido ingresa al sedimentador secundario a través de una tubería de gran diámetro y de un tranquilizador, repartidor central.

El sedimentador cumple dos funciones:

- Obtener un líquido limpio en la parte superior, sin sólidos en suspensión, que luego es colectado y remitido a la cámara de cloración.
- Permite la concentración de sólidos en el fondo de la unidad, donde se concentran para su recirculación como lodo madre sobre el proceso biológico aeróbico o su evacuación hacia el digestor aeróbico.

5. Digestor de lodos: El objetivo del digestor es aceptar aquella cantidad de lodos que llevan la concentración en la cámara de aireación por encima de los valores de diseño y que en consecuencia se deben purgar del sistema.

Diariamente se enviarán al digestor aeróbico un volumen de lodos, con lo cual se asegura su estabilización y es un período razonable para su retiro por camión atmosférico.

6. Cloración: Consiste en una cámara de cloración de retención de 30 minutos a caudal medio. La cloración se realiza con hipoclorito de sodio mediante una bomba dosificadora y un tanque de almacenamiento. Posterior a esta el líquido es vertido para su uso.

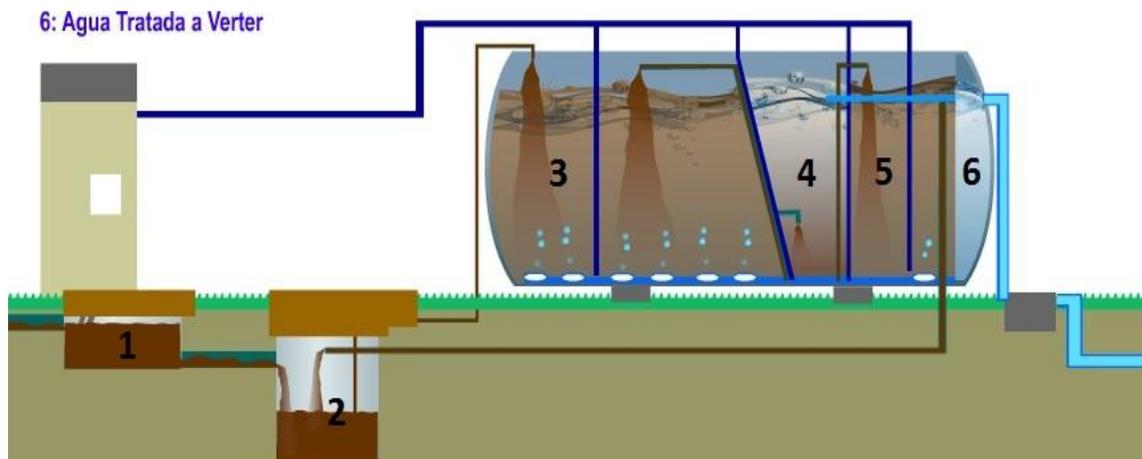


Imagen 40 Planta Compacta Aireación Extendida Bricher S.A. (www.bricher.com.ar)

Ventajas

- Económicas y de mantenimiento mínimo.
- No requieren el uso de productos químicos.
- Pueden agregarse módulos a medida que la población a servir aumente.
- No hay elementos mecánicos en contacto con líquidos corrosivos. (gran problema que se da fundamentalmente en las plantas a mayor escala)
- Mantienen la arquitectura paisajística.
- No generan ruidos ni olores.
- Pueden instalarse aéreas, enterradas o semienterradas.

Así mismo, la empresa fue consultada acerca del costo del sistema, pero no se obtuvieron datos al respecto.



Imagen 41 Planta Compacta Modular Aireación Extendida Bricher S.A. (www.bricher.com.ar)

En torno a estas plantas de tratamiento podemos decir que si bien según la empresa, se tiene un buen nivel de depuración, generan gran cantidad de barros que deberán ser extraídos periódicamente, lo cual es un aspecto a considerar a la hora de su utilización.

Para tener una mirada global de las soluciones que se ofrecen, podemos mencionar a la empresa **SMA S.A.** (Servicios Medioambientales y Agua S.A.) con sede en España, la cual presenta una opción similar, pero con la diferencia de que agrega un tratamiento de desinfección, con ozonización, esto mejora notablemente la calidad de depuración, pero también los costos en cuanto a inversión se refiere.

Lo que esta empresa ofrece es una Planta de Tratamiento de aguas residuales domesticas denominada **Facet modelo STP**, las cuales están basadas en un proceso biológico, aeróbico, de aireación prolongada y recirculación de fangos activos, seguido de un proceso de desinfección por ozonización, constituyendo una técnica idónea para el tratamiento de los caudales y dotaciones requeridos, tanto por la simplicidad del funcionamiento como por el bajo coste de mantenimiento de las instalaciones.

Las características de Facet son las siguientes:

- Compacta, fabricada en acero al carbono
- Fácilmente transportable
- Depuración sencilla y tecnológicamente avanzada
- **No genera exceso de fango biológico que deba ser retirado**
- No produce olores molestos
- Sin contaminación acústica
- No es necesario añadir aditivos ni floculantes
- Funcionamiento automático mediante PLC
- Gestión telemática vía GSM (opcional)
- Bajo coste de explotación
- Reutilización del agua depurada para riego, limpieza, incendios, etc.
- No requiere obra civil de gran envergadura

No se logró obtener datos de costos y eficiencia de esta planta por parte de la empresa.

Por otro lado SMA S.A. asegura que el mantenimiento de las instalaciones es muy sencillo y su coste se reduce de manera cuantitativa, frente a otras similares debido a la generación neta de lodos nula, lo que implica que una vez estabilizada no sea necesaria la retirada periódica de lodos.

Como podemos ver esto es un gran avance frente a la opción que ofrece en Argentina Bricher S.A., ya que no hay lodos que deban ser extraídos, siendo el funcionamiento de una planta así, el ideal.

El principio de funcionamiento es el siguiente:

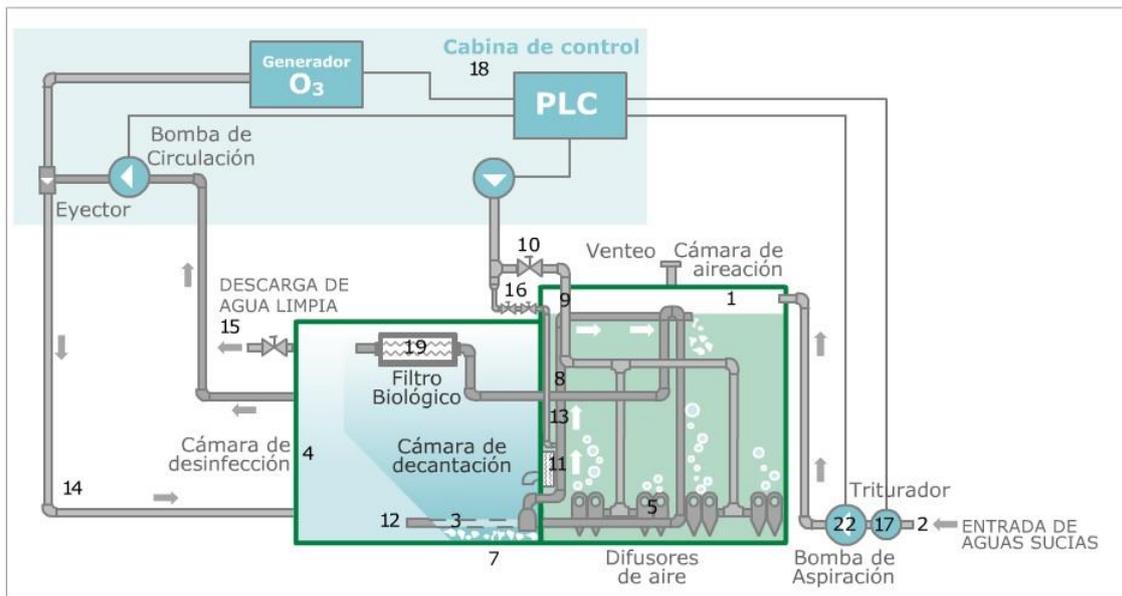


Imagen 42 Diagrama de Funcionamiento Planta Compacta de Aireación Extendida SMA S.A. (www.smasa.net)

- 1. Cámara de Aireación.** El agua residual es agitada de forma que se mantengan los fangos en suspensión y reciban el oxígeno necesario para el mantenimiento de la actividad microbiana, responsable de la metabolización de la materia orgánica en CO₂ y H₂O.
- 2. Entrada de agua bruta.** El agua residual a tratar se recibe a través del colector de entrada hasta un pozo regulador, de manera que se pueden regular y asimilar eventuales picos de caudal, manteniendo constante el caudal de entrada a la EDAR. En el pozo regulador se realiza un pretratamiento consistente en un sistema de desbaste que retenga los gruesos de mayor tamaño.
- 3. Cámara de Decantación.** Las aguas pasan a la cámara de decantación, donde se produce la sedimentación de las partículas sólidas en medio anóxico, mediante decantación presurizada, y su paso por un reactor biológico de flujo laminar.
- 4. Cámara de desinfección descarga.** La desinfección se realiza mediante la inyección de ozono, eliminando así los microorganismos peligrosos para el hombre y el medio ambiente. Su actividad no permanece en el agua una vez concluido el tratamiento de desinfección y desodorización, ya que se descompone rápidamente en oxígeno.
- 5. Difusores de Aire.** Son los Encargados de distribuir el aire en la cámara de aireación y crear el régimen turbulento necesario para mantener los fangos en suspensión y favorecer la metabolización de los mismos.
- 6. Soplante.** Soplante centrífuga que se integra en el interior de la cabina de control y que suministra el aire necesario tanto para la cámara de aireación como para la línea de recirculación de lodos.
- 7. Lodos decantados.** Los lodos decantados son recirculados a la cámara de aireación de forma periódica a través de la línea de retorno de fangos.
- 8. Línea de retorno de fangos.** Una parte del aire de la soplante a los difusores es derivado a la línea de retorno de fangos para poder aspirarlos y recircularlos a la cámara de aireación.
- 9. Colector.** Tubería de acero que lleva el aire de la soplante a los difusores.
- 10. Válvula Manual.** Permite regular el paso de aire desde la soplante a los difusores.
- 11. Baffle.** Sistema de paso del agua desde la cámara de aireación a la cámara de decantación.
- 12. Conducto.** Sistema de paso del agua clarificada desde la cámara de decantación a la cámara de desinfección – descarga.
- 13. Conducto.** Tubería que lleva el aire derivado que permite la recirculación de los fangos.



14. **Circuito cerrado O3.** Por efecto Venturi, se aspira parte del agua de la cámara de desinfección – descarga y se le inyecta ozono. Este ozono es generado a partir del aire presente en el entorno.
15. **Descarga agua depurada.** El agua, una vez depurada, es descargada por gravedad y puede ser almacenada para su posterior reutilización en jardines, zonas verdes, etc. o bien vertida directamente a cauce.
16. **Válvula Manual.** Permite regular los pasos de aire en la tubería de recirculación de fangos.
17. **Macerador.** Realiza una trituration de los sólidos más gruesos con el fin de disponer de mayor superficie de contacto.
18. **Cabina de control.** En la cabina de control se encuentran todos los equipos y programas que gobiernan el funcionamiento de la planta depuradora.
19. **Filtro biológico.** Filtro laminar que favorece la separación de agua fango.
20. **Unidad por bombeo.** Una vez que el agua residual pasa por el macerador, el agua es elevada desde el pozo regulador a la cámara de aireación de la planta depuradora.

11.3.3.2 Plantas Anaerobias

Este otro tipo de plantas no es muy utilizado, y en realidad a veces conforman una variante del sistema de tratamiento Aerobio, ya que por lo general previo a una cámara de aireación (o filtro Biológico Aerobio) se realiza un tratamiento anaeróbico. En otros casos dicho tratamiento Anaeróbico, el cual es ofrecido por algunas empresas como tratamiento compacto no dista de ser un tanque *Imhoff*, con el proceso de decantación-digestión antes mencionado y un posterior filtro biológico Anaeróbico. Recordando que de acuerdo a las leyes vigentes en la provincia, este sistema no es admisible.

En el primer caso mencionamos a la Colombiana **N&F S.A.** que ofrece una planta compacta Anaeróbica integrada por proceso de Desbaste previo, para separar solidos mayores que puedan afectar los demás procesos. Posteriormente un Tanque reactor que se encuentra subdividido en 2 o 3 etapas, la primera es un proceso Anaeróbico, con un sustrato de bacterias, la Segunda es un proceso Aeróbico, con un potente sistema de inyección de Aire, un proceso de Floculación/Decantación y por ultimo un proceso de Desinfección por Cloro y Radiación UV.



Imagen 43 Planta compacta Anaerobia N&F (www.nyfdecolombia.com)

Así tenemos en el segundo caso, la empresa **DINAMEX S.A.** (Grupo Díaz Martin de México) ofrece una planta compacta Fosa Filtro Biológico Anaeróbico, la cual realiza las siguientes etapas de tratamiento:

1. Decantador: realiza la sedimentación primaria de la materia Orgánica.
2. Digestor (clarificador): realiza la sedimentación secundaria de la materia orgánica

3. Filtro Biológico: oxidación de la materia orgánica mediante microorganismos anaeróbicos presentes en el agua.

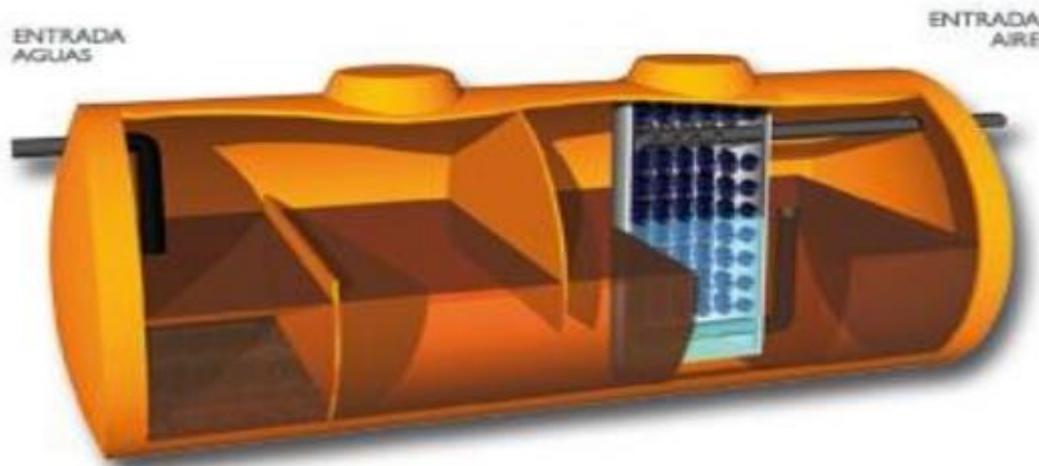


Imagen 44 Planta Compacta Anaerobia Dinamex S.A. (www.dinamex.com.mx)

Según la empresa estas plantas poseen una capacidad de reducción de la DBO_5 del 70% y eliminación de sólidos en suspensión del 90%. Las mismas no son recomendables por los olores que pueden emanar en caso de tener un mantenimiento deficitario.

En España **TADIPOL S.A.** ofrece un tratamiento similar al antes mencionado con la única variante que dicho sistema es modular y por ende de acuerdo al grado de tratamiento que se busque se puede o no agregar el filtro biológico. Según la empresa el rendimiento es similar al anterior, a excepción de que la capacidad de remoción de DBO_5 es del 80%

En ambos casos las plantas están fabricadas en PRFV (Poliéster reforzado con fibra de vidrio)



Imagen 45 Planta Compacta Anaerobia Tapidol S.A. (www.tapidol.com)

A su vez en España también la firma **ROTH S.A.** ofrece opciones como la Fosa Séptica con Prefiltro Biológico, el cual es un sistema de depuración autónomo con decantador primario y filtro anaeróbico integrado, la función de dicho filtro biológico es digerir la materia orgánica disuelta en el agua gracias a colonias bacterianas que proliferan en el material filtrante, este sistema es una fosa séptica optimizada por medio del filtro antes mencionado, con el cual se logran rendimientos de remoción de DBO_5 del 50% y de remoción de sólidos en suspensión del 80%. Dichos sistemas tienen un costo desde 680 Euros hasta 4600 Euros, dependiendo del volumen a tratar (1000L a 10.000L) respectivamente.

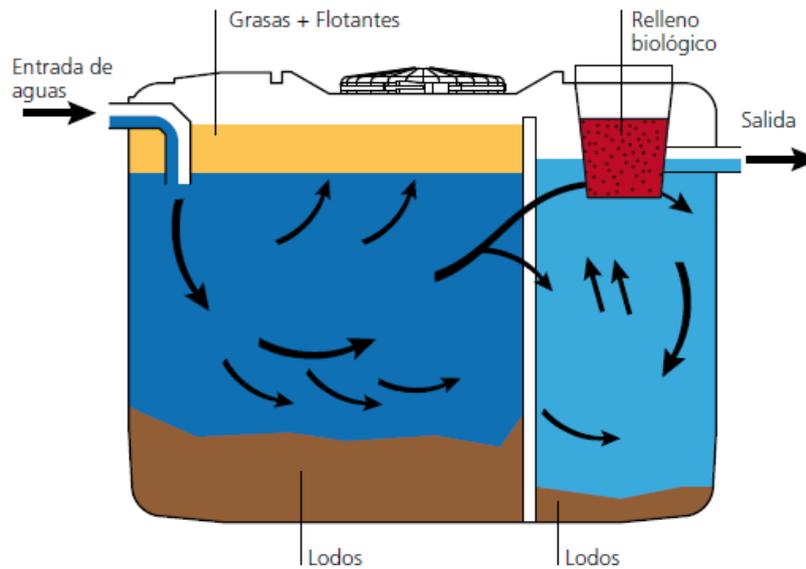


Imagen 46 Fosa Séptica Roth S.A. con filtro Biológico (www.roth-spain.com)

Como se mencionó anteriormente se puede mejorar la eficiencia de estos sistemas por medio de una etapa de tratamiento aeróbica, cabe destacar que **ROTH S.A.** propone un lecho percolador Aerobio que a diferencia de las otras entradas funciona por gravedad, no generando así un gasto energético de aireadores mecánicos. Se agrega entonces el percolador Aerobio llevando el rendimiento en remoción de DBO_5 al 76% y la remoción de sólidos en suspensión al 90%, cabe destacar también que respecto a la opción anterior el precio se eleva de 2500 Euros a 15.100 Euros, teniendo en cuenta que al agregar el percolador, la capacidad pasa a ser de 2.000L a 20.000L respectivamente.

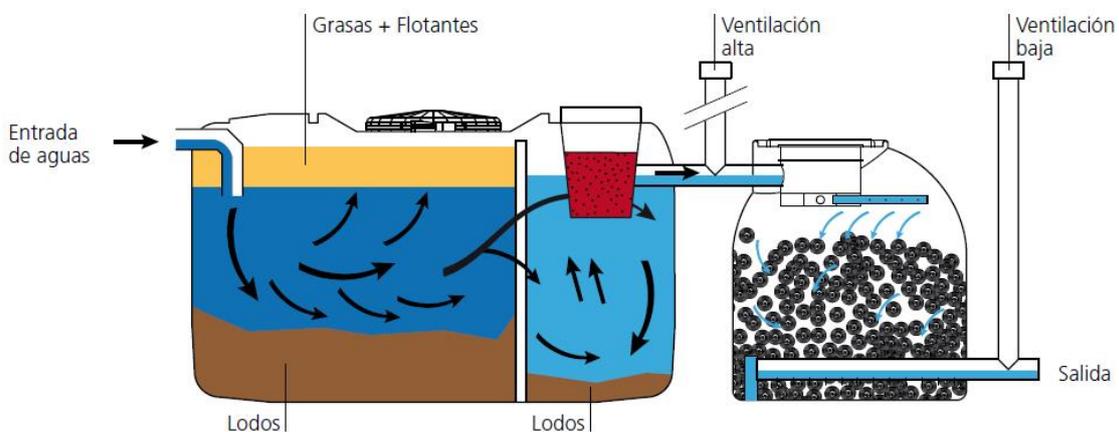


Imagen 47 Fosa Séptica Roth S.A. con filtro Biológico y Percolador Aerobio (www.roth-spain.com)



11.4 Sistemas No Convencionales

En las últimas décadas los sistemas naturales de depuración han visto aumentada su demanda de forma creciente debido a sus características de construcción y funcionamiento. Su costo de inversión suele ser competitivo, requieren de poco personal para su mantenimiento, no presentan consumo energético o este se reduce al necesario para bombear en la cabecera, y no generan grandes cantidades de lodos de forma continuada.

Los sistemas naturales pueden clasificarse en dos categorías según el tratamiento tenga lugar fundamentalmente en el terreno o en una masa de agua (Tabla 15).

Sistemas Naturales de Tratamiento de Aguas Residuales				
Basados en la aplicación del agua en el terreno		Basados en los procesos que suceden en la masa de agua		
Aplicación subsuperficial	Aplicación superficial	Sistemas con plantas flotantes	Lagunaje natural	Humedales construidos flujo superficial
Zanjas y lechos filtrantes Humedales construidos flujo subsuperficial	Filtros verdes Infiltración-Percolación Filtros de arena			

Tabla 15 Sistemas No convencionales

En los tratamientos con aplicación del agua residual sobre el terreno el suelo es el receptor de ésta. En este tipo de tratamientos son fundamentales las interacciones entre el agua intersticial y la biopelícula que crece adherido sobre el sustrato Sólido.

11.4.1 Humedales o Wetlands

En algunas ocasiones los sistemas convencionales no resultan adecuados y puede ser alternativo el empleo de humedales o lechos de juncos, sistema ampliamente utilizado para el tratamiento de las aguas residuales en pequeñas colectividades Europeas. Este método incluso es adaptable al saneamiento individual. Si bien el sistema es sencillo y rustico, se obtienen resultados de depuración que muchas veces superan las exigencias de los reglamentos. (García, Corzo, 2008)

Previo a describir el funcionamiento de estos sistemas es conveniente definir que es un humedal Natural, ya que en dicho ecosistema es en lo que se basa el principio de funcionamiento del mismo. Los humedales naturales son complejos mosaicos de láminas de agua, vegetación sumergida, vegetación flotante, vegetación emergente y zonas con nivel freático más o menos cercano a la superficie, en los que el suelo se mantiene saturado de agua durante un largo periodo de tiempo cada año. En los humedales crecen vegetales, animales y microorganismos especialmente adaptados a estas condiciones ambientales. Estos seres vivos, junto a procesos físicos y químicos, son capaces de depurar el agua, eliminando grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fósforo y, en algunos casos, productos químicos tóxicos; por esta razón se ha llamado a los humedales "los riñones del mundo" (Mitsch y Gosselink, 2000).

Se ha tratado de aprovechar este gran potencial depurador de los humedales para el tratamiento de aguas residuales, diseñando instalaciones capaces de reproducir las características de los humedales naturales. Los humedales específicamente construidos con el propósito de controlar la contaminación del agua han recibido gran cantidad de nombres en las distintas partes del mundo donde han sido usados (Crites *et al.*, 2000). La denominación más extendida es "Humedales Artificiales" o "Humedales Construidos" ("Constructed Wetlands"; U.S. Environmental Protection Agency, 1988).

En depuración de aguas residuales, generalmente se consideran humedales aquellos sistemas que usan macrófitas (plantas que se ven a simple vista), en contraposición a los micrófitos (generalmente microalgas), y por tanto los lagunajes no son considerados como humedales.

11.4.1.1 Clasificación de los Humedales

Atendiendo el tipo de circulación del agua, los humedales construidos se clasifican en flujo superficial, flujo subsuperficial o incluso flujo combinado:

- Humedales con flujo Superficial

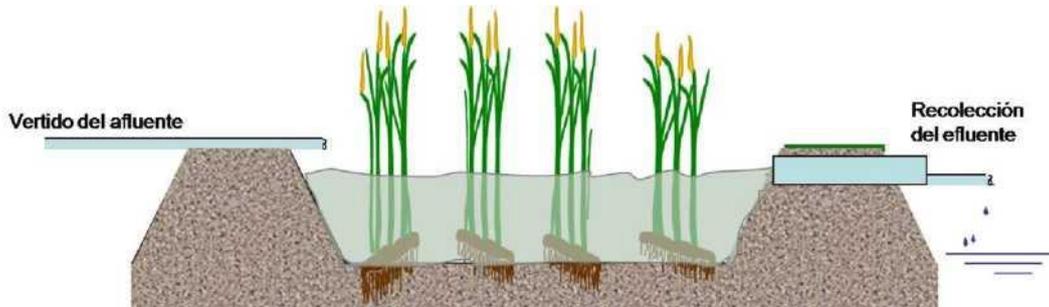


Imagen 48 Humedal con Flujo Superficial (Depuración con Humedales construidos- García / Corzo)

- Humedales con Flujo Sub superficial

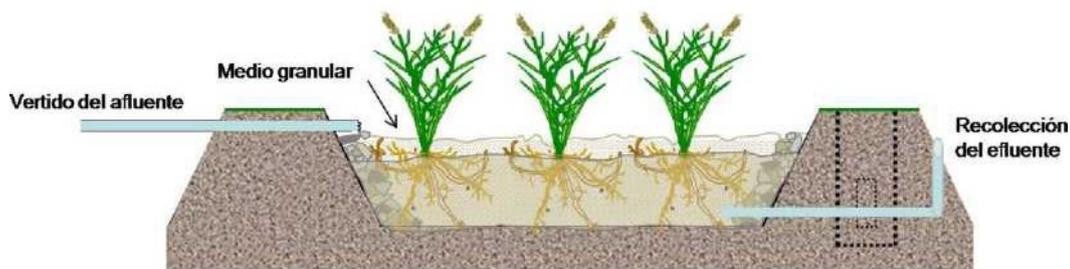


Imagen 49 Humedal con Flujo SubSuperficial (Depuración con Humedales construidos- García / Corzo)

- Humedales con Flujo Combinado

En los sistemas de flujo superficial el agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos y hojas de las plantas. Estos tipos de humedales se pueden entender como una modificación del lagunaje natural con una profundidad de la lámina de agua entre 0,3 y 0,4 m, y con plantas. Se suelen aplicar para mejorar la calidad de efluentes que ya han sido previamente tratados.

En los humedales de flujo subsuperficial la circulación del agua es de tipo subterráneo a través de un medio granular y en contacto con las raíces y rizomas de las plantas. La profundidad de la lámina de agua suele ser de entre 0,3 y 0,9 m. La biopelícula que crece adherida al medio granular y a las raíces y rizomas de las plantas tiene un papel fundamental en los procesos de descontaminación del agua.

Las principales diferencias de los sistemas de flujo subsuperficial respecto a los superficiales son: mayor capacidad de tratamiento (admiten mayor carga orgánica), bajo riesgo de contacto del agua con las personas y de aparición de insectos, y menor utilidad para proyectos de restauración ambiental debido a la falta de lámina de agua accesible.

A su vez los humedales pueden ser de Flujo horizontal (los más utilizados en la actualidad) o Flujo Vertical. La diferencia básica entre ambos radica en que en los de flujo vertical el proceso

es más bien Aerobio (favorecido por un sistema de oxigenación por tuberías) por lo cual la eliminación de Nitrógeno se realiza por nitrificación-desnitrificación, pero el riesgo de colmatación de estos sistemas es mayor, mientras que en los de flujo Horizontal, el proceso es mayoritariamente Anaerobio y el riesgo de colmatación menor.

En este trabajo desarrollaremos los humedales a flujo Horizontal, dado que son los más utilizados a nivel mundial, básicamente por la capacidad de tratamiento que poseen sin correr riesgos de colmatación, asimilando su funcionamiento al de un reactor de flujo a pistón.

Los humedales horizontales están compuestos por los siguientes elementos:

1. Estructuras de entrada del afluente.
2. Impermeabilización del fondo y laterales ya sea con láminas sintéticas o arcilla compactada.
3. Medio granular.
4. Vegetación emergente típica de zonas húmedas.
5. Estructuras de salida regulables para controlar el nivel del agua.

11.4.1.2 Principio de Funcionamiento

Como se verá más adelante en el punto 11.4.1.6, las aguas residuales son pretratadas en una fosa séptica y un prefiltro que evita el envío accidental de sólidos que colmatarían el lecho. El agua circula horizontalmente bajo la superficie del lecho, constituido de gravas.

Los Macrófitos (plantas utilizadas) garantizan 4 funciones:

1. Las plantas asimilan los nutrientes (nitratos y fosfatos) para su propio desarrollo, y participan activamente en la depuración.
2. Las raíces y rizomas suponen un lugar privilegiado para sustento de los microorganismos que intervienen en la depuración, es decir básicamente para la creación de la biopelícula. dicha biopelícula crece adherida a las partes subterráneas de las plantas y sobre el medio granular. Alrededor de las raíces se crean microambientes aeróbicos donde tienen lugar procesos microbianos que usan el oxígeno. El oxígeno elaborado por fotosíntesis en la parte aérea (las hojas) es enviado al lecho a través de los rizomas, y utilizado por las bacterias aerobias que son las que menor aporte realizan en la depuración, ya que como se verá más adelante el proceso es principalmente Anaerobio
3. Las raíces tienen un papel de mantenimiento de la estructura del lecho, y permiten evitar los riesgos de colmatación y circulación preferencial.
4. Amortiguamiento de las variaciones ambientales. Cuando las plantas están desarrolladas reducen la intensidad de la luz incidente sobre el medio granular evitándose así grandes gradientes de temperatura en profundidad que pueden afectar el proceso de depuración. En climas fríos la vegetación protege de la congelación.

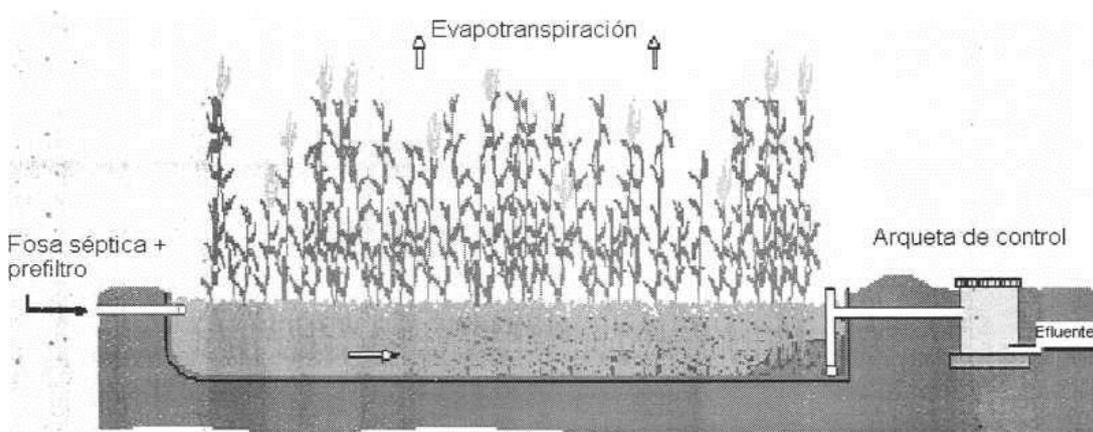


Imagen 50 Humedal - detalle constructivo (Depuración de Aguas Residuales mediante humedales, la EDAR de los Gallardo - Almería)



A su vez En el medio granular ocurren múltiples procesos como la retención y sedimentación de la materia en suspensión, la degradación de la materia orgánica, la transformación y asimilación de los nutrientes, y la inactivación de los microorganismos patógenos.

El medio granular debe ser limpio (exento de finos), homogéneo, duro, durable y capaz de mantener su forma a largo plazo. Además, debe permitir un buen desarrollo de las plantas y de la biopelícula. Diámetros medios de alrededor de 5-8 mm ofrecen muy buenos resultados.

Una característica muy importante del medio granular es su conductividad hidráulica^X, ya que de esta propiedad depende la cantidad de flujo de agua que puede circular a través de él. Durante el diseño debe tenerse en cuenta que la conductividad hidráulica disminuirá con el paso del tiempo.

11.4.1.3 Papel de los macrófitos y del sedimento

Un humedal con flujo subsuperficial, puede considerarse como un reactor biológico tipo "proceso biopelícula sumergida". El agua entra por uno de sus extremos, y se reparte, atravesando la zona de grava sembrada con los helófitos. En el otro extremo, el agua es recogida en el fondo. El nivel máximo se regula de manera que no aflore la lámina de agua y se mantenga unos centímetros por debajo de la grava, haciendo visitable el humedal e impidiendo la proliferación de moscas y mosquitos.

Un tipo especial de macrófitos son los helófitos, plantas capaces de arraigar en suelos anegados o encharcados, con una parte sumergida y otra aérea emergente. Los helófitos, más usados en depuración son aneas (*Typha*), carrizos (*Phragmites*), juncos (*Juncus*), *Scirpus*, *Carex*, etc.

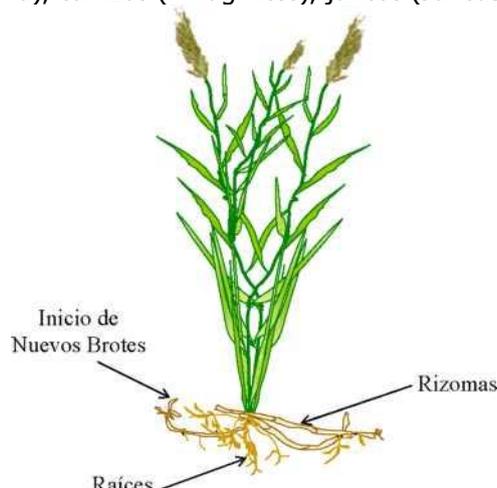


Imagen 51 Macrófito

Todas estas plantas presentan adaptaciones especiales para vivir en ambientes permanentemente anegados. Sus tejidos internos disponen de espacios vacíos que permiten el flujo de gases desde las partes aéreas hasta las subterráneas. Sus rizomas tienen una gran capacidad colonizadora.

Los helófitos son capaces de transportar oxígeno desde los tallos y hojas hacia sus raíces y rizomas, pero en los humedales de flujo subsuperficial la cantidad de oxígeno aportada es muy pequeña en comparación con la demanda de las aguas residuales, por lo que los procesos de eliminación de materia orgánica son básicamente anaerobios, no ocurriendo, por tanto la nitrificación-desnitrificación. Hasta ahora, se creía que gran parte del poder depurador de los humedales se debía a los helófitos, sin embargo, recientes estudios que comparan el rendimiento de humedales plantados y no plantados, parecen indicar que se ha sobreestimado la capacidad de transporte de oxígeno de los helófitos hacia las zonas sumergidas (U.S. Environmental Protection Agency, 2000a).

^X La conductividad hidráulica es la facilidad con la que el agua se mueve a través de espacios porosos y fracturas porosas en el suelo o rocas, sujeta a un gradiente hidráulico y condicionada por el nivel de saturación y la permeabilidad del material.



Otros estudios, realizados en condiciones de laboratorio, indican que el oxígeno transportado por los helófitos puede ser utilizado por los microorganismos que crecen sobre ellos en forma de biopelícula. En las capas de esta biopelícula más próximas a los rizomas se dan procesos aerobios, mientras que en las más alejadas, al no difundir el oxígeno, los procesos serían anaerobios, esta situación sí permitiría el proceso de nitrificación-desnitrificación. (Brix, 1997).

La capacidad de transferencia de oxígeno por los helófitos se estima entre 0-3 g O₂/m²/día, equivalente a 30 kg DBO₅/ha/día, muy bajo para las cargas usuales del agua residual. Por otra parte la transferencia de oxígeno desde la atmósfera se sitúa entre 0-0,5 g O₂/m²/día, por lo que las condiciones en el interior de los humedales de flujo subsuperficial son fuertemente reductoras (Lienard, 1987; U.S. Environmental Protection Agency, 2000a).

Los helófitos asimilan macronutrientes (N y P) y micronutrientes, incluidos metales pesados, en unas tasas calculadas en 12-120 g N/m²/año y 1,8-18 g P/m²/año; muy bajas también en comparación con el contenido en aguas residuales (Reedy y DeBusk, 1985). La muerte de las plantas puede volver a liberar estos elementos al agua, por lo que sería necesario un frecuente cosechado de los helófitos antes de que esto suceda. Los helófitos tienen un efecto termorregulador sobre el sistema, aminorando la insolación en verano y actuando como aislantes en invierno, con un efecto positivo sobre los procesos biológicos (Smith *et al.*, 1997).

El efecto de los helófitos sobre la conductividad hidráulica subsuperficial del sistema se creía positiva, por la apertura de canales por las raíces, sin embargo recientes estudios parecen demostrar que la presencia de raíces tiene un efecto negativo en la conductividad hidráulica, favoreciendo la obstrucción del medio y la aparición de flujos superficiales no deseados, ya que producen malos olores, mosquitos, y disminuyen el tiempo de retención hidráulica (Sandfor *et al.*, 1995).

En cualquier caso los helófitos aportan una calidad estética a este tipo de instalaciones (U.S. Environmental Protection Agency, 2000b).

El sedimento orgánico es un elemento fundamental en el proceso de depuración por humedales, ya que sirve de sustrato para el crecimiento de multitud de microorganismos, incluyendo los responsables de la nitrificación y desnitrificación; presenta, además, una elevada capacidad de cambio. Así mismo, juega un papel fundamental en la dinámica del fósforo, cuyo principal mecanismo de eliminación es, junto con la asimilación por los seres vivos, su adsorción a las arcillas y la precipitación y formación de complejos con Al, Fe y Ca presentes en los sedimentos.

11.4.1.4 Criterios de selección de especies a usar

La selección de la vegetación que se va a usar en un sistema de humedales debe tener en cuenta las características de la región donde se realizará el proyecto, así como las siguientes recomendaciones:

1. Las especies deben ser colonizadoras activas, con eficaz extensión del sistema de rizomas.
2. Deben ser especies que alcancen una biomasa considerable por unidad de superficie para conseguir la máxima asimilación de nutrientes.
3. La biomasa subterránea debe poseer una gran superficie específica para potenciar el crecimiento de la biopelícula.
4. Deben disponer de un sistema eficaz de transporte de oxígeno hacia las partes subterráneas para promover la degradación aeróbica y la nitrificación.
5. Se debe tratar de especies que puedan crecer fácilmente en las condiciones ambientales del sistema proyectado.
6. Debe tratarse de especies con una elevada productividad.
7. Las especies deben tolerar los contaminantes presentes en las aguas residuales.
8. Se deben utilizar especies propias de la flora local.



11.4.1.5 Mecanismos de eliminación de los contaminantes

En base a ensayos y experimentación se determinó que los principales procesos físicos, químicos y biológicos que favorecen la depuración de aguas residuales en los humedales son:

Contaminante	Proceso de Eliminación
Materia Orgánica	Sedimentación Asimilación Mineralización
Sólidos en Suspensión	Floculación Sedimentación Filtración Degradación
Nitrógeno	Amonificación Volatilización del Amonio Nitrificación Desnitrificación
Fosforo	Adsorción Sedimentación Precipitación Química Asimilación Vegetal
Patógenos	Sedimentación y muerte Gradual Radiación UV Antibióticos Naturales Prefación
Compuestos Inorgánicos	Asimilación Inmovilización
Metales Pesados	Fijación al Sedimento Adsorción por las Plantas

Tabla 16 Contaminantes y Proceso de Eliminación (Depuración con Humedales construidos- García / Corzo)

Las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas se han diseñado corrientemente para eliminar materia en suspensión y materia orgánica. En los últimos años la eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo) también se ha ido introduciendo como objetivo a alcanzar según el cuerpo receptor así lo requiera. De hecho, en la actualidad los procesos de eliminación de nutrientes se podrían considerar ya como convencionales. La eliminación de microorganismos fecales parece que en un futuro cercano también será un objetivo generalizado, especialmente en zonas como la Mediterránea donde la reutilización del agua va a tener un papel relevante dentro de la gestión integral de los recursos hídricos. A continuación se describen los mecanismos de eliminación de estos contaminantes en los humedales de flujo subsuperficial.

Estos mecanismos son complejos y sólo se presenta una breve descripción de los mismos.

1. Materia en Suspensión

La materia en suspensión queda retenida en los humedales mediante la combinación de diferentes fenómenos de tipo físico que en su conjunto se denominan como filtración en el medio granular. Entre estos fenómenos cabe destacar la sedimentación debida a la baja velocidad de circulación del agua y el tamizado que sucede a nivel de los espacios intersticiales del medio granular. Estos fenómenos se ven potenciados por las fuerzas de adhesión que ocurren entre los sólidos y que tienden a promover la formación de partículas de mayor tamaño. En la actualidad se desconoce cuál es la importancia relativa de cada uno de estos fenómenos (García, Corzo, 2008).

En los humedales horizontales la mayor parte de la eliminación de la materia en suspensión sucede cerca de la zona de entrada y su concentración va disminuyendo de forma aproximadamente exponencial a lo largo del lecho.

El rendimiento de eliminación de la materia en suspensión tanto en sistemas horizontales como en verticales suele ser muy elevado. Normalmente es de más del 90% produciendo efluentes con concentraciones menores de 20 mg/L de forma sistemática.

Un contenido excesivo de materia en suspensión en el agua residual de tipo inorgánico u orgánico (>50 mg/L) (por ejemplo, si no se dispone de un pretratamiento para eliminar la arena) puede provocar una pronta colmatación de los humedales. Estos aspectos se deben considerar durante el diseño.

2. Materia Orgánica

La eliminación de la materia orgánica en los humedales es compleja ya que es el resultado de la interacción de numerosos procesos físicos, químicos y bióticos que suceden de forma simultánea.

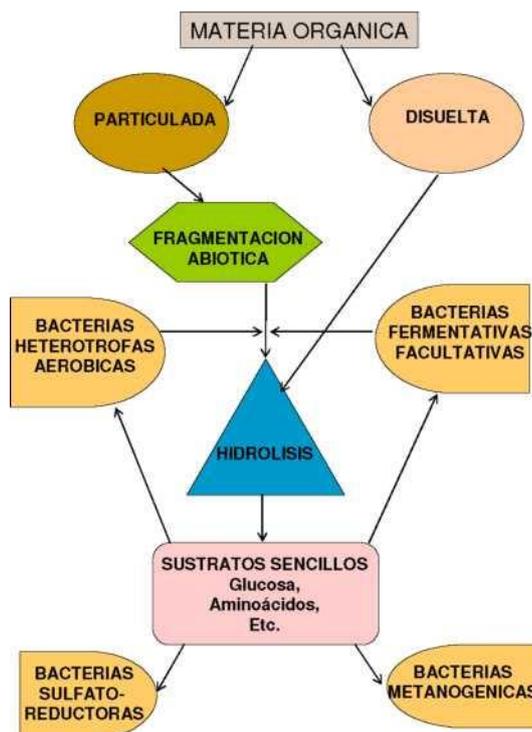


Imagen 52 Diagrama de Flujo - Materia Orgánica (Depuración con Humedales construidos- García / Corzo)

La materia orgánica particulada es retenida por filtración cerca de la entrada en sistemas horizontales y cerca de la superficie en verticales (tal y como se ha descrito para la materia en suspensión, ya que gran parte de esta materia orgánica es básicamente la materia en suspensión). Esta fracción particulada, por fragmentación abiótica, se convierte en partículas más pequeñas que pueden ser hidrolizadas por enzimas extracelulares. Las enzimas son excretadas por bacterias heterótrofas aeróbicas y fermentativas facultativas. El resultado de la hidrólisis es la formación de sustratos sencillos (por ejemplo glucosa o aminoácidos) que pueden ser asimilados por las bacterias heterótrofas aeróbicas o fermentativas facultativas. Los ácidos a su vez pueden ser asimilados por bacterias sulfatoreductoras, metanogénicas y también, por supuesto, por las heterótrofas aeróbicas. Los sustratos sencillos presentes en el agua residual son asimilados directamente sin necesidad de hidrólisis previa. En la Imagen 51 se muestra una representación esquemática de los procesos implicados en la degradación de la materia orgánica en los humedales.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que muchas sustancias disueltas se retienen por adsorción, bien en la propia materia orgánica o en el medio granular. Estas sustancias pueden simplemente quedar allí, o bien desplazarse y ser readsorbidas, o ser degradadas por microorganismos.

El rendimiento de eliminación de la materia orgánica en sistemas de humedales horizontales y verticales es óptimo si están bien diseñados, construidos y explotados. Tanto para la DQO como



para la DBO se alcanzan rendimientos que oscilan entre 75 y 95% produciendo efluentes con concentración de DQO menor de 60 mg/L y de DBO₅ menor de 20 mg/L (García, Corzo, 2008).

3. Nitrógeno

En las aguas residuales urbanas el nitrógeno se encuentra fundamentalmente en forma de amonio y también como nitrógeno orgánico. No suele ser habitual encontrar concentraciones significativas de nitratos y nitritos. En los humedales el principal mecanismo de eliminación de nitrógeno es de tipo microbiano y consiste en la nitrificación seguida de desnitrificación. Sin embargo, también hay otros procesos que contribuyen a la eliminación como la adsorción del amonio y la asimilación realizada por las plantas. En los humedales el ciclo del nitrógeno está acoplado al del carbono (materia orgánica) fundamentalmente a través de la desnitrificación.

La nitrificación es realizada por bacterias autótrofas aeróbicas que aprovechan el poder reductor del amonio y éste se convierte en nitrato. La nitrificación requiere de 4,6 mg de oxígeno por cada miligramo de amonio (expresado como nitrógeno). En los humedales horizontales puesto que la transferencia de oxígeno es baja y hay pocas zonas aeróbicas, la nitrificación no es destacable y el rendimiento de eliminación del amonio no supera generalmente el 30%.

En los humedales verticales se obtienen muy buenos rendimientos de conversión del amonio a nitrato dado el carácter aeróbico de la gran parte del lecho. En general la nitrificación es total.

Otras vías de eliminación del nitrógeno de poca importancia en los humedales son la volatilización del amonio y la asimilación microbiana.

4. Fósforo

Igual que en los sistemas de depuración biológicos convencionales, la eliminación de fósforo en los humedales es complicada. En general no se suele eliminar más del 10-20%, y sin haber grandes diferencias entre sistemas horizontales y verticales.

Los mecanismos de eliminación del fósforo pueden ser de tipo biótico y abiótico. Los bióticos incluyen la asimilación por parte de las plantas y los microorganismos. Los abióticos abarcan fundamentalmente la adsorción por el medio granular. En muchos estudios se ha observado que después de la puesta en marcha de humedales se obtiene una buena eficiencia de eliminación del fósforo para después reducirse rápidamente en poco tiempo. Esto es debido a que el medio granular limpio tiene capacidad de adsorción, pero esta se va perdiendo rápidamente (García, Corzo, 2008).

Se han realizado grandes esfuerzos para desarrollar medios granulares con alta capacidad para retener fósforo. No obstante, ésta se acaba perdiendo y el medio se debe reemplazar. En la actualidad parece que la mejor manera de eliminar el fósforo es incorporando en los sistemas de humedales procesos de precipitación, por ejemplo por adición de sales de aluminio. En los humedales la utilización de sales de hierro para la precipitación puede dar lugar a sulfuro de hierro que da color negro al agua.

5. Patógenos

De cara a garantizar buenas condiciones sanitarias, especialmente si los efluentes se van a reutilizar, es importante eliminar o reducir la concentración de microorganismos de origen fecal. La eliminación de microorganismos es un proceso de gran complejidad ya que depende de factores como la filtración, la adsorción y la depredación. Se ha observado que tanto en sistemas verticales como horizontales la eliminación es dependiente del tiempo de permanencia y del medio granular.

Cuanto menor es el diámetro del medio granular, mayor es el nivel de eliminación obtenido.

Para evaluar la eficiencia de eliminación de los patógenos se suele estudiar la eliminación de microorganismos indicadores de la contaminación fecal, como son por ejemplo los coliformes fecales. No obstante, la mejora de las técnicas microbiológicas induce a pensar que en poco tiempo se dispondrá de datos de patógenos propiamente. El grado de eliminación obtenido en sistemas horizontales y verticales es similar y oscila entre 1 y 2 unidades logarítmicas/100 mL aproximadamente para todos los indicadores. Este nivel de eliminación no suele ser generalmente suficiente para producir efluentes aptos para el riego agrícola por ejemplo. En estas circunstancias es recomendable dotar al sistema de humedales de lagunas o humedales de flujo superficial que favorecen la desinfección. También se puede clorar el efluente. Debe quedar claro que si se quiere obtener un efluente de buena calidad sanitaria un sistema de

humedales construidos no será suficiente. Por lo que, se tendrá que disponer de un sistema de desinfección.

6. Otros contaminantes

Cada vez hay más interés por contaminantes emergentes diferentes de los que normalmente se han considerado en la tecnología de la depuración de aguas. Dentro de estos contaminantes se incluyen metales pesados, tensioactivos, productos farmacéuticos, productos de uso personal y de limpieza, y microorganismos como *Cryptosporidium*. En este momento los datos existentes en el campo de los humedales subsuperficiales son más bien escasos. No obstante, estos aspectos se están estudiando y en pocos años se va a disponer de bastante información.

11.4.1.6 Tratamientos Previos

De forma general, los sistemas de humedales construidos están formados por 3 unidades de proceso claramente diferenciadas: pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario (los humedales propiamente). El pretratamiento y el tratamiento primario son tratamientos previos, y tienen como objetivo eliminar o reducir la presencia de materiales que obturan y desgastan tuberías y canales, y que pueden colmatar los humedales. Habitualmente los tratamientos previos de humedales constan de una etapa inicial de retirada de grandes sólidos seguida de otra de retención de materia en suspensión.

Los humedales están pensados para ser sistemas de bajo costo y con un gasto energético mínimo, y por tanto se recomienda dentro de lo posible utilizar pocos equipos electromecánicos en los procesos unitarios previos.

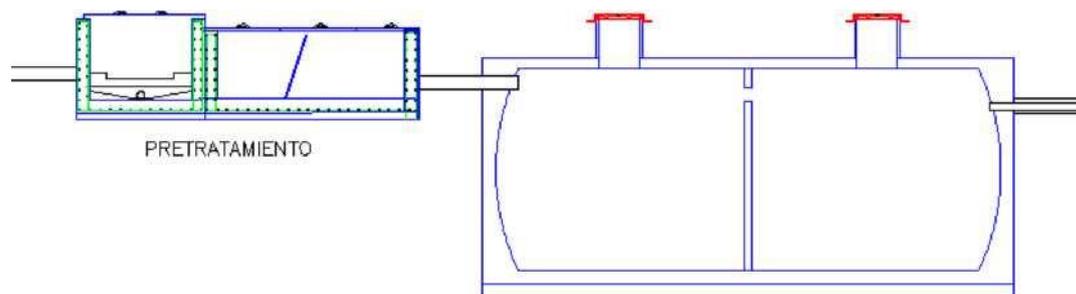


Imagen 53 Pretratamiento para Humedales (Depuración con Humedales construidos- García / Corzo)

La elección del tipo de tratamiento previo depende de múltiples factores que van desde la calidad del agua a tratar, la topografía y el espacio disponible, hasta los costes de construcción y explotación, incluyendo así mismo la experiencia del proyectista.

Con respecto al tratamiento primario podemos decir que normalmente se utilizan fosas sépticas o tanques Imhoff. En algunos lugares también se están utilizando técnicas más avanzadas, como los reactores anaeróbicos de flujo ascendente.

Las fosas sépticas se suelen emplear en sistemas de saneamiento autónomo o en núcleos muy pequeños (<200 hab- eq). Los tanques Imhoff se recomiendan para núcleos con 200 a 500 hab-eq. Para poblaciones mayores se utilizan tanques Imhoff en paralelo. También se pueden utilizar fosas en paralelo. Recordando que en el caso de la provincia de Córdoba, este sistema no es admitido en la actualidad.

También se pueden instalar lagunas anaeróbicas en el caso de que el núcleo de población se encuentre suficientemente lejos del sistema de tratamiento (dos kilómetros o más), y dependiendo de los vientos predominantes, de forma que se mitigue la llegada de olores a la población.

11.4.1.7 Dimensionamiento

El dimensionamiento de humedales de flujo horizontal se realiza en dos etapas: en la primera se determina la superficie necesaria de tratamiento (dimensionamiento biológico) y en la



segunda se establecen las dimensiones geométricas del sistema (dimensionamiento hidráulico) (García, Corzo, 2008).

1. Dimensionamiento biológico

Para la obtención de las ecuaciones de diseño se supone que los humedales se comportan como reactores de flujo ideal en pistón en los cuales los contaminantes se degradan siguiendo modelos cinéticos de primer orden. Por tanto, el balance de masa para un contaminante es simplemente:

$$\frac{dC}{dt} = -k_v C$$

Siendo:

C la concentración del contaminante, por ejemplo en mg/L

k_v la constante de cinética de primer orden, en días⁻¹. El signo negativo en la expresión indica que la concentración de contaminante disminuye a lo largo del tiempo.

Si se integra esta ecuación entre la concentración inicial de contaminante o afluente (C_0 para $t=0$) y la final o efluente (C_1 para $t=t$, siendo este último el tiempo medio de retención hidráulico, en días) se obtiene:

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp(-k_v t)$$

El tiempo medio de retención hidráulico es:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{e * S * h}{Q}$$

Siendo:

V el volumen del humedal, en m³.

Q el caudal medio, en m³/d.

e la porosidad, en tanto por uno.

S la superficie del humedal, en m².

h la profundidad media del humedal, en m.

Sustituyendo t en las dos ecuaciones anteriores y definiendo una nueva constante cinética de primer orden (k_A , en m/d):

$$k_A = k_v * e * h$$

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp(-k_A S / Q) \quad \text{ec 3.1}$$

Despejando S:

$$S = \frac{Q}{k_A} \ln \left[\frac{C_0}{C_1} \right] \quad \text{ec 3.2}$$

Esta es la ecuación de diseño recomendada para dimensionar la superficie de humedales de flujo horizontal. Los valores de Q y C_0 se determinan a partir de los estudios de caracterización del afluente y el de C_1 se define a partir de los límites de vertido o los objetivos de calidad establecidos por la normativa ambiental vigente.

El valor de k_A lógicamente variará según el contaminante. Para eliminar la DBO₅ es adecuado un valor de 0,08 m/d. Además, si el sistema se dimensiona para eliminar DBO₅, a la vez también se va a reducir la materia en suspensión de forma suficiente, ya que estos sistemas son más eficaces para eliminar la materia en suspensión que la DBO₅. Por otra parte, este mismo dimensionamiento va a permitir reducir el nitrógeno en aproximadamente un 30-60% si el sistema se diseña con una profundidad media de la lámina de agua de 0,3 m. Para estimar qué concentración de nitrógeno total va a haber en el efluente de un sistema diseñado para eliminar DBO₅ se puede usar la ecuación 3.1 con un valor de k_A de 0,025 m/d. Alternativamente también se puede dimensionar el sistema para eliminar nitrógeno utilizando el valor de k_A de 0,025 m/d y la expresión 3.2



Los anteriores valores de k_A son válidos para aguas residuales que llegan al humedal (después de los tratamientos previos) con carga media o baja ($DBO_5 < 250$ mg/L). Para cargas más elevadas es conveniente reducir el valor de k_A en un 20%.

Para llevar a cabo un buen dimensionamiento es importante plantearse diferentes escenarios en cuanto a caudales y concentraciones, y observar si para la superficie de diseño determinada con la ecuación 3.2 se cumplen los valores límites de vertido establecidos. En general se acepta que la superficie de diseño es correcta cuando un 95% de las concentraciones de contaminante de los efluentes se encuentran por debajo del límite de vertido.

Una vez determinada la superficie de tratamiento se realiza una verificación final consistente en comprobar que la carga orgánica superficial sea menor de 6 g DBO_5/m^2 d. En el caso que el valor obtenido sea superior a éste, se deberá incrementar la superficie necesaria para cumplir este criterio.

Una característica notable de los humedales construidos de flujo subsuperficial es su poca sensibilidad a los cambios de temperatura para eliminar DBO_5 . Numerosos estudios han demostrado que la eficiencia de eliminación de la DBO_5 de los humedales no mejora en verano ni empeora en invierno de forma significativa. Es por ello que no se propone realizar una corrección para la temperatura mediante la expresión de Arrhenius de los valores de las constantes cinéticas de primer orden. En el dimensionamiento de sistemas convencionales esta corrección se realiza habitualmente. No obstante, de forma práctica, si el humedal de flujo horizontal se dimensiona para eliminar nitrógeno se debe tener en cuenta que la eficiencia en invierno puede reducirse en un 30% (la temperatura sí que afecta a la eliminación de nitrógeno).

En los humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal que actúan como tratamiento secundario la concentración de fondo de los contaminantes (aquella generada por el propio sistema) puede considerarse despreciable frente a los niveles de los contaminantes presentes en el agua afluente. Sin embargo, cuando el humedal forma parte de un tratamiento de afino (por ejemplo de una planta de fangos activados o de un sistema vertical) es conveniente tener en cuenta la concentración de fondo, y en ese caso, la ecuación 3.2 se modifica de la siguiente

$$S = \frac{Q}{k_A} \ln \left[\frac{C_0 - C}{C_1 - C} \right]$$

Siendo,

C la concentración de fondo, en las unidades que corresponda según el contaminante.

Para calcular la concentración de fondo se dispone de las siguientes expresiones:

Para la DBO_5 $C = 3,5 + 0,053 \cdot C_0$ para $0 < C_0 < 200$ mg/L

Para la MES $C = 7,8 + 0,063 \cdot C_0$

Para el nitrógeno total: $C = 1,5$ mg/L

Para el fósforo total: $C = 0,02$ mg/L

2. Dimensionamiento hidráulico

El dimensionamiento hidráulico sirve para determinar las dimensiones del sistema (anchura y longitud) una vez conocida su superficie. El dimensionamiento hidráulico se realiza aplicando la Ley de Darcy, que describe el régimen del flujo en un medio poroso, mediante la siguiente ecuación:

$$Q = K_S \cdot A_S \cdot S$$

Siendo,

Q el caudal, en m^3/d .

k_s la conductividad hidráulica del medio en una unidad de sección perpendicular a la dirección del flujo, en $m^3/m^2 \cdot d$.

A_s es la sección del humedal perpendicular a la dirección del flujo, en m^2 .

s es el gradiente hidráulico o pendiente (dh/dL), en m/m .



Como caudal se recomienda tomar el máximo diario para asegurarse de que el sistema absorberá bien las puntas de caudal. No se deben utilizar caudales puntas horarios ya que originan sistemas excesivamente anchos y poco largos.

La conductividad hidráulica varía en función de la cantidad y del tamaño de los huecos del medio granular utilizado. En la Tabla 17 se muestran órdenes de magnitud estimados de la conductividad hidráulica (k_s) para algunos materiales granulares limpios que podrían utilizarse como sustrato en estos sistemas. La

conductividad hidráulica con el paso del tiempo se va reduciendo por retención de sólidos y crecimiento del biofilm, especialmente en la zona de entrada. Es por ello que se recomienda adoptar un factor de seguridad para k_s de 7 como mínimo.

Tipo de Sustrato	Tamaño efectivo D_{10} (mm)	Porosidad (%)	Conductividad Hidráulica K_s ($m^3/m^2.d$)
Arenas graduadas	2	28-32	100-1000
Arenas gravosas	8	30-35	500-5000
Gravas finas	16	35-38	1000-10000
Gravas medianas	32	36-40	10000-50000
Rocas pequeñas	128	38-45	50000-250000

Tabla 17 Sustratos para Humedales

Los valores de la pendiente (s) que se suelen utilizar varían en el rango de 0,01 a 0,02 m/m. Es conveniente que la pendiente no sea superior a 0,02 m/m para evitar que los costes de excavación sean elevados. No obstante, esto se debe evaluar en cada proyecto en particular, ya que dependiendo de la longitud del sistema quizá una pendiente algo mayor no aumenta excesivamente estos costes.

Las dimensiones del humedal serán entonces:

$$A_s = \frac{Q_{med,d}}{k_s * s}$$

Siendo,

$Q_{med,d}$, el caudal medio diario, en m^3/d .

Calculada el área de la sección transversal, y una vez fijada la profundidad (h), se determina el ancho del humedal:

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

Siendo,

W el ancho, en m.

h la profundidad, en m.

Conocido el ancho y teniendo en cuenta la superficie determinada con el dimensionamiento biológico se determina la longitud del sistema:

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

Por último se debe verificar que la relación largo:ancho sea como mínimo 1:1. En caso de que no se cumpla esta condición, es decir, que el largo sea mayor que el ancho (que es lo que suele suceder en la mayoría de los casos), se debe dividir la superficie total en diferentes celdas que funcionarán en paralelo, que sí cumplan este criterio.

11.4.1.8 Selección de la ubicación

La selección de la ubicación de un sistema de humedales se realiza en función de variables que fundamentalmente afectan a su proceso constructivo y a los costos que éste conlleva, destacándose la accesibilidad, el precio y la calidad del terreno, la climatología y geología de la zona, entre otros. Los humedales se deben situar en zonas llanas o con muy poca pendiente y que permitan a ser posible la circulación del agua por gravedad en todos los elementos de la



depuradora. Las llanuras próximas a los ríos aun cuando cumplen esta condición no son siempre adecuadas ya que pueden necesitar de diques de protección contra las inundaciones. Por otra parte, los sistemas deben situarse alejados de zonas con bastante pendiente o taludes susceptibles de ser erosionados, puesto que si los materiales son arrastrados y entran en los humedales pueden acelerar el proceso de colmatación. En cualquier caso se deberá evaluar las medidas necesarias para evitar la entrada de finos en los humedales.

11.4.1.9 Configuración

Como se ha indicado anteriormente, una vez determinadas las dimensiones del sistema se divide la superficie en un número adecuado de celdas en paralelo. Aunque las dimensiones del sistema no hagan que sea preciso dividirlo en celdas, se recomienda tener como mínimo 2 celdas para asegurar una mejor distribución uniforme del agua residual en todo el lecho, así como para dar flexibilidad al sistema durante su explotación. Esta configuración durante operaciones de mantenimiento o reparación de averías permite que el sistema siga operativo. Sólo en sistemas muy pequeños como saneamientos autónomos (donde se puede controlar bien la producción de agua residual) es admisible construir sistemas con una única celda.

11.4.1.10 Sistemas de distribución y recogida

El objetivo de los sistemas de distribución y recogida es fundamentalmente garantizar una buena distribución y recogida del agua, respectivamente. Si el caudal no se reparte equitativamente en todo el ancho del sistema se generarán zonas muertas, circuitos preferentes, y lo que es más grave, mayor riesgo de colmatación en la zona donde se vierta mayoritariamente el agua.

El caudal de agua procedente del tratamiento previo deberá dividirse equitativamente en correspondencia con el número de celdas que tenga el sistema. Esto se realiza en arquetas en las que se encuentran aliviaderos. Estas arquetas pueden ser construidas mediante elementos prefabricados o pueden ser armadas *in situ*.

11.4.1.11 Limitantes en el uso de Humedales

Cabe destacar que los humedales son tecnologías de tratamiento simples de operar, con baja producción de lodos residuales y sin consumo energético. No requieren de la adición de reactivos químicos y de energía para airear el agua o recircularla. La infraestructura necesaria para su construcción es muy simple y asequible, su mantenimiento es relativamente fácil y económico. Este sistema de depuración de aguas se basa en el conocimiento profundo del funcionamiento de los sistemas naturales y por lo tanto es una tecnología muy adecuada para ser aplicada en proyectos de cooperación dado que no genera dependencia tecnológica.

En base a lo expuesto se observa que los humedales son un sistema de tratamiento que con el paso del tiempo se ira imponiendo en el uso de pequeñas comunidades.

El mayor problema, y al que aún no se le ha dado solución es que dicho tratamiento requiere de un uso continuo durante todo el año, y no un uso por temporadas como se pretende, esto es así dado que el humedal está aislado del suelo vegetal y sin aporte de efluente cloacal no tiene posibilidad de tomar los nutrientes necesarios para supervivencia de las plantas, induciendo la muerte de las mismas.

Será motivo de investigación el encontrar alternativas de solución a esta limitante del sistema.

Asi mismo, se puede mencionar como otra desventaja, la perdida de eficiencia en la eliminación de fosforo, la cual disminuye rápidamente al perderse la capacidad de adsorber el mismo.

11.4.2 B.R.A.I.N Bioreactor Anaerobio Integrado

El BRAIN es una tecnología mexicana, patentada para aplicaciones a nivel unifamiliar. Consiste en un diseño compacto, incluyendo en un solo tanque cinco operaciones y procesos unitarios:

- a. Sedimentación primaria.
- b. Digestión anaerobia.
- c. Espesador de lodos.
- d. Sedimentación de alta tasa.
- e. Filtración biológica.

En este proyecto, el tratamiento se basa en utilizar un reactor anaerobio de lecho de lodos con zona empacada, un escalamiento del concepto BRAIN, como tratamiento frontal a nivel secundario y un pulimento en términos de patógenos y parásitos con un lecho de raíces (humedal) a fin de liberar un efluente con mejor calidad. Con este reactor se busca disminuir, el área del lecho de raíces, eliminar la desinfección terminal además de incorporar el tratamiento de lodos al del agua, disminuyendo el volumen de lodos a disponer y, con todo ello, los costos de operación y mantenimiento.

El sistema se ha denominado no convencional ya que las alternativas de tratamiento "natural" convencionales requieren áreas importantes tales como lagunas o sistemas de lechos de raíces. En el sistema estudiado se mantiene el mínimo consumo de energía externa y la simplicidad de su operación, además de reducir el área necesaria en forma significativa.

Para desarrollos comunitarios el sistema se construye de concreto armado en el sitio, por lo que puede tener dos variantes: unifamiliar y comunal.

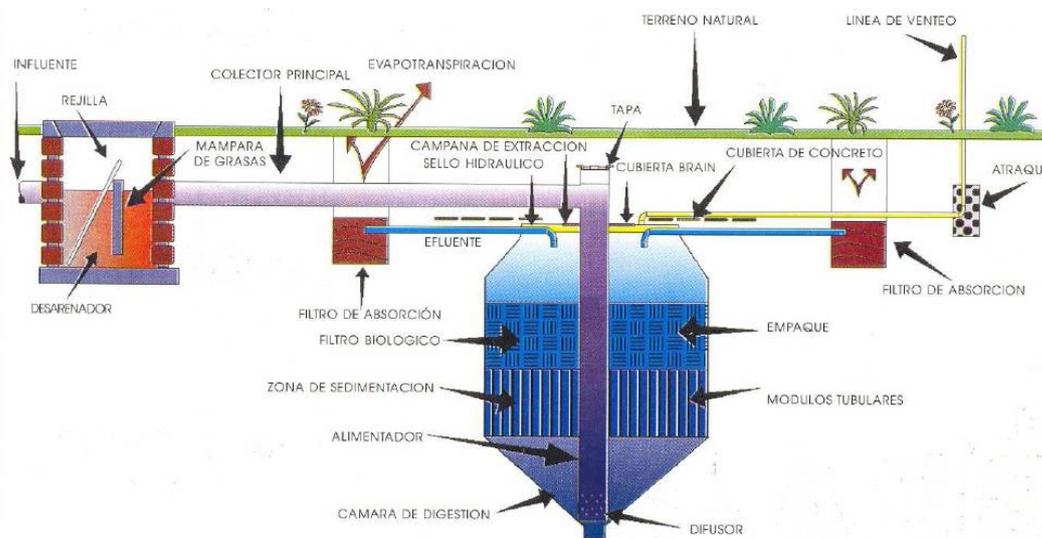


Imagen 54 Sistema BRAIN – México (Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales No Convencional – López / Noyola)

Si se analiza en detalle los procesos que se suceden dentro del reactor, se puede observar que su funcionamiento no difiere mucho del de una Fosa o Cámara Séptica, razón por la cual no se profundiza en este método. Si difiere y esta patentada la disposición del Digestor, Sedimentador y el uso de Biofiltros para la salida del efluente tratado.

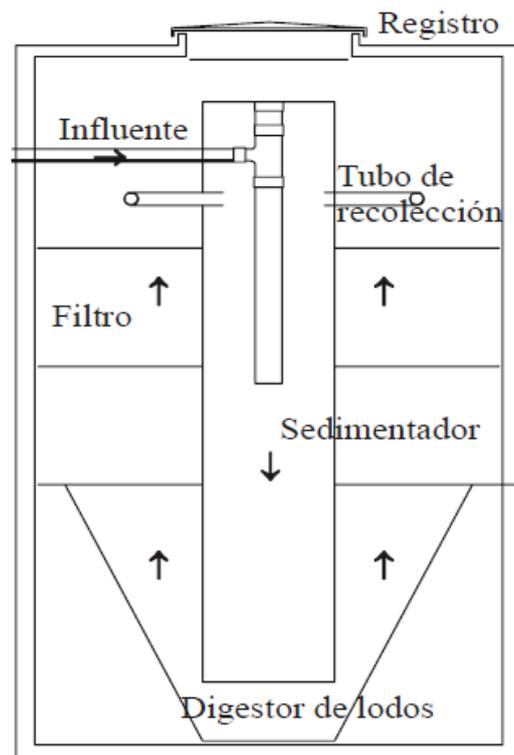


Imagen 55 Diagrama Interno BRAIN (Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales No Convencional – López / Noyola)

11.4.3 Filtros Verdes

Un Filtro Verde consiste en la aplicación de agua residual sobre un terreno con vegetación, empleando el suelo como elemento depurador. La depuración se produce mediante la acción conjunta del suelo, los microorganismos y las plantas, a través de mecanismos físicos, químicos y biológicos. Esta técnica tiene un amplio campo de aplicación dadas sus ventajas de economía, flexibilidad y operatividad en pequeñas comunidades.

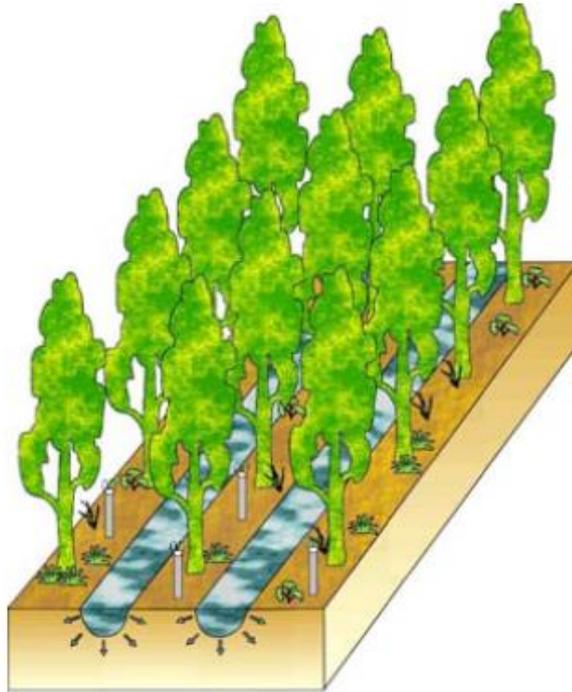


Imagen 56 Filtros Verdes

Según la bibliografía consultada (Bustamante, Ramos, et al.), los niveles de rendimiento que se obtienen en la depuración son del orden de:

- Sólidos en Suspensión: 99%
- DBO₅: 90-95%
- DQO: 90-95%
- Nitrógeno Total: 90-95%
- Fosforo Total: 85-90%

11.4.3.1 Reacciones que intervienen y Mecanismos de Depuración

- **Físicas:** La principal es la filtración, mediante la cual los sólidos en suspensión, presentes en el agua residual, quedan depositados en los primeros centímetros del terreno. depende de la granulometría y textura del suelo.
- **Químicas:** Juega un papel destacado la capacidad de cambio iónico que tenga el suelo, así como su pH y las condiciones de aireación/encharcamiento que afectan a los procesos de óxido-reducción.
- **Biológicas:** Las producidas por los microorganismos del suelo y aquellas inherentes a las actividades radiculares de las plantas.

Los mecanismos de depuración que intervienen son los siguientes:

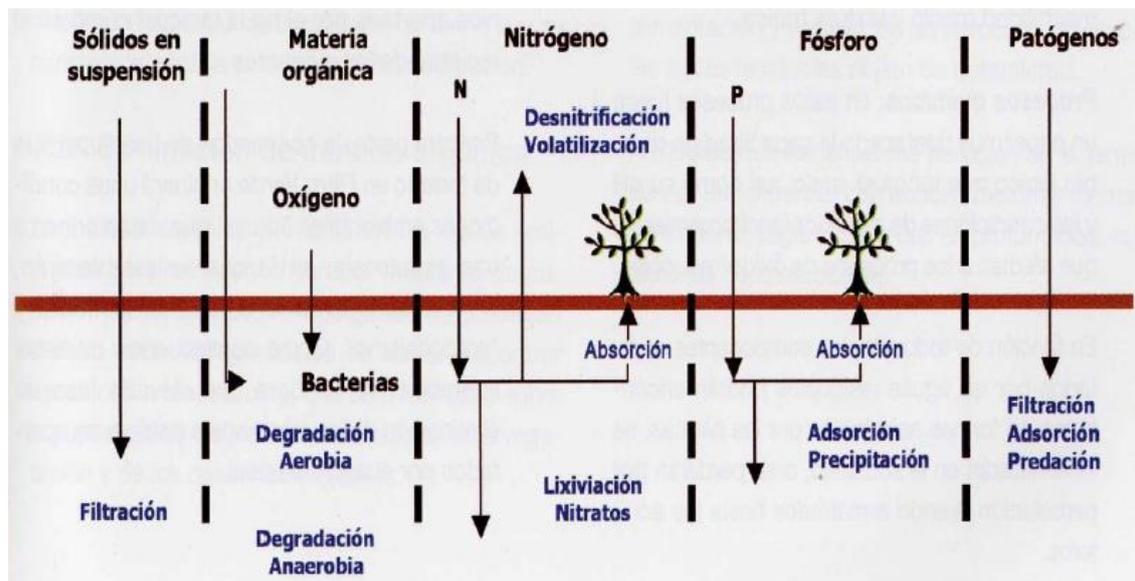


Imagen 57 Mecanismos de depuración Filtros Verdes (Depuración de Aguas residuales por medio de filtros verdes – Mañueco / Narváez)

11.4.3.2 Fundamentos del Sistemas de Filtros Verdes

Una fracción del agua aplicada al suelo se consume por evapotranspiración y la restante percola a través del terreno. Los filtros verdes, como sistema natural de depuración se caracterizan, en general, por su escasa necesidad de personal de mantenimiento, consumo energético reducido y baja producción de fangos. Como contraparte se puede decir que este sistema necesita entre 4 y 40 m²/hab. equivalente^{XI} y que los vertidos deben de ser totalmente biodegradables.

El agua se aplica al terreno mediante técnicas superficiales, generalmente mediante riego a manta o a través de surcos, además se recurre a ciclos de aplicación intermitente, que suelen oscilar entre 4 y 10 días.

Cabe destacar que en este sistema el efluente debe recibir un pretratamiento similar a los casos anteriores, es decir, cámara de rejillas, desarenador, sedimentación y tratamiento anaeróbico en fosa séptica, dependiendo de cada caso.

Si se tiene en cuenta que el filtro verde se basa en un sistema forestal sujeto a condicionantes hídricos, su superficie deberá estimarse realizando un balance hídrico del sistema, partiendo del agua total a aplicar al terreno (suma de la precipitación natural y del agua residual), y considerando la parte que regresa a la atmósfera por evapotranspiración. Así, se puede evaluar qué cantidad de agua residual puede aplicarse sin tener excedentes que produzcan encharcamientos, ni déficit que produzca estrés hídrico. De esta forma, y con el fin de garantizar el aporte de agua suficiente para el mantenimiento de la plantación en los meses estivales, la dimensión máxima del filtro verde (S) resultaría de dividir el caudal total mensual de entrada entre la evapotranspiración (ET) máxima mensual (L/m²), Teniendo en cuenta que estacionalmente en muchas áreas se producen grandes diferencias climatológicas, los dos aspectos apuntados anteriormente se pueden subsanar introduciendo el concepto de "filtro verde multietapa", en el que se instalaría una primera etapa con vegetación higrófila (la cual necesitaría un aporte hídrico anual constante, y una segunda etapa o etapas sucesivas, en las que se instalaría vegetación con menor necesidad hídrica, en función de las variaciones

^{XI} Se define en base a la carga contaminante de las industrias y habitantes de una población. Una vez que se tenga estimada la carga contaminante del vertido industrial, el número de habitantes equivalentes se determina dividiendo la carga, por el aporte que hace un habitante, es decir, una persona por día para el mismo parámetro.

$$\text{Habitantes equivalentes (h-eq)} = \text{Carga contaminante} / \text{Carga por persona}$$

climatológicas del medio, con lo que cuando los aportes de caudal sean mayores el agua residual pueda repartirse en una superficie mayor (Mañueco, Nárvaez, et al. 2009).

Se debe tener en cuenta que en los casos en que la cantidad de agua residual exceda la carga hidráulica de diseño, es necesario disponer de instalaciones para el almacenamiento del agua residual, lo cual puede conllevar dos peligros:

- Que se produzcan fermentaciones anaerobias, con los consiguientes malos olores que esto provoca.
- Que se generen lodos al decantarse los productos en suspensión en las aguas residuales.

11.4.3.3 Clasificación de Filtros verdes

En función de cómo se apliquen al terreno serán:

- Sistemas de aplicación superficial:** (Procesos de baja carga, infiltración rápida y riego superficial)
- Sistemas de aplicación Subsuperficial:** (Zanjas filtrantes, los lechos filtrantes, pozos filtrantes y filtros intermitentes de arenas enterrados).

11.4.3.4 Especies Arbóreas a utilizar

Las características deseables de dichas especies son:

- Elevada capacidad de asimilación de nutrientes
- Alto consumo de agua
- Alta tolerancia a los suelos húmedos
- Baja sensibilidad a los contaminantes
- Mínimas necesidades de control

Entre las especies vegetales que pueden establecerse en un filtro verde están los cultivos agrícolas, forrajeros y forestales, siendo estos últimos los que presentan las mayores ventajas en relación con otras especies, ya sea como sistema de depuración o como una forma de eliminar las aguas residuales, aprovechando esta y los nutrientes que contiene.

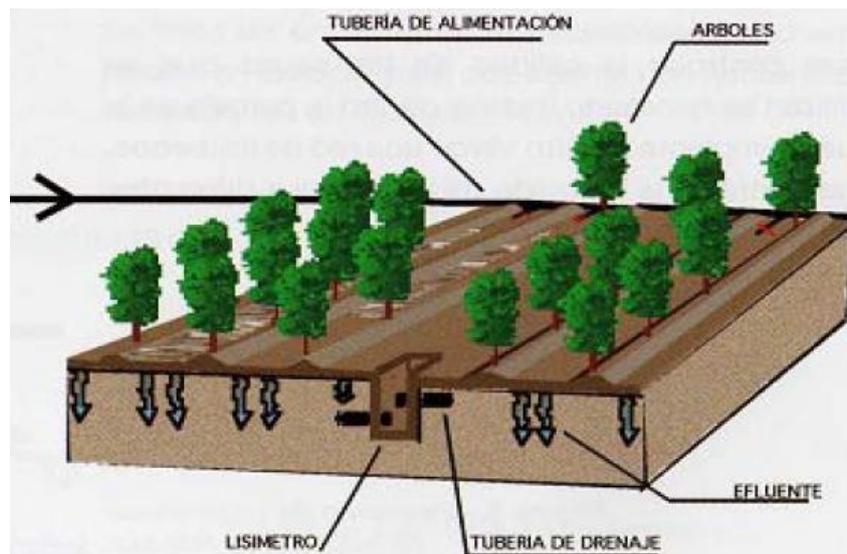


Imagen 58 Esquema de Filtro Verde (Depuración de Aguas residuales por medio de filtros verdes – Mañueco / Narvárez)



Teniendo en cuenta las características antes mencionadas, las especies más aptas para este tipo de sistema son:



Imagen 59 Especies Arbóreas a utilizar - www.flickr.com

- Chopo o más conocido como Álamo, del genero *Populus* (aproximadamente 40 especies) de la Familia de los Salicaceas, este árbol es de crecimiento Rápido.
- Eucalipto, o eucalyptus es un género de árboles (y algunos arbustos) de la familia de las mirtáceas. Existen alrededor de 700 especies, la mayoría oriundas de Australia. Es una especie de crecimiento Rápido al igual que el Álamo.

11.4.3.5 Diseño de Filtros Verdes

El proyecto de un filtro verde consta de dos etapas:

1. Diseño preliminar
2. Proyecto constructivo.

Entre los aspectos a tener en cuenta en el diseño están:

- a. Evaluación y selección del emplazamiento.
- b. Selección del cultivo.
- c. Necesidades de pretratamiento.
- d. Método de distribución.

La evaluación y selección del emplazamiento está entre las características más importantes a tener en cuenta, siendo los factores limitantes la permeabilidad y la profundidad de las aguas subterráneas. Se puede decir que el suelo presenta condiciones óptimas cuando: el pH está entre 5,5 y 8,4, la conductividad eléctrica es menor de 4 mmhos/cm, la permeabilidad está entre 5 y 50 mm/h, las aguas subterráneas se encuentran a profundidades entre 0,6 y 1,5 m y pendientes entre el 2 y el 15 % en terrenos cultivados, en terrenos no cultivados pueden ser superiores.

La selección del cultivo es otro paso fundamental en el proceso de diseño ya que muchas de las decisiones asociadas con el proyecto estarán en función del tipo de cultivo; siendo los más adecuados los que presentan una elevada capacidad de asimilación de nutrientes, alto consumo de agua, elevada tolerancia a la humedad del suelo, baja sensibilidad a los constituyentes del agua residual y mínimas necesidades de control. Entre estos cultivos se encuentran especies forrajeras perennes, turbas, ciertas especies de árboles, algunos cultivos agrícolas y algunos frutales. Los cultivos forrajeros y forestales presentan una elevada capacidad de asimilación de nutrientes, mientras que los volúmenes de agua requeridos son significativamente menores que los que demandan los cultivos agrícolas.



Las necesidades de pretratamiento, se deben considerar como un proceso unitario a combinar con otros procesos para conseguir un sistema de tratamiento completo. Este se hace necesario por razones relacionadas con la protección de la salud pública, el control de las condiciones desagradables, las limitaciones de los sistemas de distribución, la reducción de la presencia de constituyentes limitantes y aspectos relacionados con el terreno y los cultivos. El nivel de pretratamiento puede variar desde el tratamiento primario hasta el avanzado, en dependencia del objetivo final del sistema (tratamiento o reúso), las exigencias de las normas vigentes y de las razones antes mencionadas.

En las áreas forestales los niveles de pretratamiento se pueden reducir al mínimo considerando que las cosechas no serán consumidas por humanos y que el grado de contacto con el residual solo involucra a operadores (siempre que el sistema no se establezca con fines recreativos), de hecho algunos sistemas en áreas forestales han sido regados con residual crudo.

El método de distribución del agua residual se selecciona en las primeras etapas del diseño preliminar, ya que la eficiencia de aplicación del sistema de distribución constituye un parámetro importante en las necesidades totales de agua de riego. Los métodos de aplicación pueden ser: por aspersión (no recomendado en el decreto 415/99), riego superficial y por goteo, utilizando uno u otro en dependencia de que las condiciones para su uso sean adecuadas o no y de la eficiencia de aplicación.

11.4.3.6 Dimensionado de Filtros Verdes

La carga hidráulica o dotación de riego es el volumen de agua residual aplicada por unidad de área de terreno en un determinado período de tiempo (normalmente, semanal, mensual o anual). Este es el parámetro básico en el diseño y operación del sistema y puede ser determinado basado en el requerimiento de agua del cultivo, en la capacidad de asimilación hidráulica y en la capacidad de asimilación de constituyentes del sistema suelo-planta para asegurar que éste no sea degradado.

A. Carga hidráulica basada en los requerimientos de agua del cultivo

La cantidad de agua requerida por un cultivo, se define como la cantidad de agua necesaria para reemplazar el agua consumida por evapotranspiración, más el agua necesaria para el lavado del suelo y puede ser definida por la ecuación:

$$R = (ET - Pr) * (1 + LR)$$

Dónde:

R: Agua neta requerida por la vegetación (mm/mes).

ET y Pr: evapotranspiración y precipitación respectivamente (mm/mes).

LR: Agua requerida para el lavado la cual suele variar entre el 10 y 25 % del agua total aplicada (fracción).

Debido a que los sistemas de aplicación, no aplican el agua uniformemente sobre el área y una parte de esta se pierde durante el riego, la carga hidráulica a aplicar se determina por la ecuación:

$$Lw(I) = \frac{R}{Ea} = \frac{(ET - Pr) * (1 + LR)}{Ea}$$

Dónde:

Lw(I): Carga hidráulica basada en los requerimientos de agua de la vegetación (mm/mes).

Ea: Eficiencia de aplicación del sistema de aplicación (fracción).

B. Carga hidráulica basada en la capacidad de asimilación hidráulica del sistema suelo – planta

Esta carga hidráulica se determina por la ecuación general de balance de agua:

$$Lw(p) = (ET - Pr) + Pw$$



Dónde:

Lw(p): Carga hidráulica basada en la capacidad de asimilación hidráulica del sistema suelo-planta (mm/mes).

Pw: Velocidad de percolación, y se basa en el mínimo valor de la permeabilidad en condiciones saturadas de los primeros 2,5 m de la columna estratigráfica (mm/mes).

Para el diseño preliminar se puede emplear un valor máximo diario variable entre el 2 y el 6 % de la permeabilidad mínima de los suelos presentes.

C. Carga hidráulica basada en la capacidad asimilativa de constituyentes

Cada constituyente del agua residual puede ser un factor limitante de la carga hidráulica en dependencia de su concentración en el agua residual, la capacidad de asimilación del sistema y de las restricciones medioambientales. La carga hidráulica basada en la capacidad asimilativa de nitrógeno se determina por la siguiente ecuación.

$$Lw(n) = \frac{Cp(Pr-ET)+U*100}{(1-f)Cn-Cp}$$

Dónde:

Lw(n): Carga hidráulica admisible basada en la carga anual de nitrógeno (mm/año).

Cp: Concentración de nitrógeno total admisible en el agua percolada (mg/L).

Cn: Concentración total de nitrógeno en el agua residual aplicada, f es la fracción del nitrógeno total aplicado eliminado por desnitrificación, volatilización y almacenamiento en el suelo (mg/L)

U: Asimilación de nitrógeno del cultivo (kg/ha año).

Otros autores plantean que la carga hidráulica basada en la capacidad asimilativa de constituyentes puede obtenerse por:

$$Lw(c) = (M * 10)C$$

Dónde:

Lw(c): Carga hidráulica basada en la capacidad asimilativa de constituyente (cm/año).

M: Capacidad asimilativa de constituyente (kg/ha año).

C: Concentración del constituyente en el agua residual.

Normalmente los cultivos forestales son los que presentan una mayor capacidad de asimilación de nitrógeno llegando a valores por encima de 400 kg/ha año.

D. Carga hidráulica de diseño Lw

Una vez calculadas las cargas hidráulicas, se tomarán para el diseño el menor valor. En caso de que el menor valor sea la carga basada en la capacidad asimilativa de constituyentes, será necesario realizar una comprobación de los valores mensuales correspondientes adoptando el menor de ellos para el diseño.

11.4.3.7 Superficie Necesaria

La superficie necesaria incluye, la cultivada, la requerida para las instalaciones de pretratamiento, zonas de amortiguación, accesos y depósitos de almacenamiento. La superficie de campo requerida se calcula a partir de la carga hidráulica de diseño con la siguiente expresión:

$$A = \frac{Q*365*DV_s}{10*Lw}$$

Dónde:

A: Superficie del campo (ha).

Q: Caudal medio de agua residual (m³/d).

Lw: Carga hidráulica de diseño (mm/año).



DVs: Ganancias o pérdidas netas de agua almacenadas debidas a las precipitaciones, evaporación y fugas en el depósito de almacenamiento (m³/año).

Otra forma de calcular las necesidades preliminares de terreno para filtros verdes, se puede obtener a partir de la siguiente expresión:

$$Aw = \frac{Q * C}{12.000g/ha}$$

Dónde:

Q: Caudal medio diario de tratamiento (m³).

C: Concentración de DBO₅ promedio en el agua residual (mg/L) .

12.000: Cantidad de gramos de DBO₅ por habitantes equivalentes asimilados en una hectárea de terreno (g/ha).

En los casos en que la cantidad de agua residual exceda la carga hidráulica de diseño, es necesario disponer de instalaciones para el almacenamiento del agua residual, lo cual puede conllevar dos peligros:

- Que se produzcan fermentaciones anaerobias, con los consiguientes malos olores que esto provoca.
- Que se generen lodos al decantarse los productos en suspensión en las aguas residuales.

11.4.4 Infiltración Rápida

El tratamiento mediante infiltración rápida se define como la aplicación controlada del agua residual sobre balsas superficiales construidas en suelos de permeabilidad media a alta (con una capacidad de infiltración que oscila entre 10 y 60 cm/día). Este sistema de depuración se aplica principalmente en poblaciones menores de 5.000 habitantes equivalentes (Mantecón et al, 1991).

El agua residual se aplica al terreno en tasas elevadas, bien por extensión en lagunas o bien por aspersión, alternando periodos de inundación con periodos de secado. La aplicación se realiza de forma cíclica para permitir la regeneración aerobia de la zona de infiltración y mantener la máxima capacidad de tratamiento.

En las balsas de infiltración no se suele poner vegetación, pero ésta se hace necesaria cuando se emplean los sistemas de aspersión como forma de aplicación del agua residual al terreno. La aspersión de agua residual puede plantear problemas por la creación de aerosoles cargados de microorganismos patógenos. En cualquier caso se exige un mantenimiento periódico de la superficie de las mismas. Así mismo, la normativa de Córdoba no lo aconseja.

El principal inconveniente de este sistema es la tendencia a la colmatación rápida del lecho filtrante por ello el agua residual suele requerir, al menos, un tratamiento primario previo a la aplicación, siendo las cargas hidráulicas anuales normales de 6 a 100 m/año.

Respecto a la profundidad recomendable a la que debe situarse el nivel piezométrico, existen opiniones muy variadas, aunque entre 18 y 20 metros desde la base de la balsa de infiltración es una cifra frecuentemente aceptada. Las superficies necesarias oscilan entre 1 y 22 m²/hab.

La depuración se produce mediante los procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar al atravesar el agua residual urbana la zona no saturada. Por medio de este sistema se consigue la recarga artificial de acuíferos, y la posibilidad de reutilizar el agua tratada, recuperándola a través de zanjas o pozos. Se alcanzan reducciones medias de DBO₅ y de sólidos en suspensión alrededor del 90% y una elevada eliminación de patógenos, entre el 70% y el 95%.

La evolución del efluente en el suelo y subsuelo es similar a la de los sistemas de filtro verde. No obstante, por tratarse caudales muy superiores, el suelo y formaciones infrayacentes han de tener mejores características hidráulicas.

En base a todo lo expuesto no es un sistema que consideremos aplicable a los emprendimientos serranos.



11.4.5 Escorrentía Superficial

La escorrentía superficial (Murillo *et al*, 1999) es un sistema de depuración relativamente nuevo, poco empleado en Europa, siendo en Estados Unidos donde existe mayor número de instalaciones de este tipo en funcionamiento. El ámbito óptimo de aplicación se encuentra en poblaciones pequeñas, con menos de 500 habitantes. La técnica consiste en forzar la escorrentía del agua residual, mediante riego por circulación superficial en láminas, sobre un suelo previamente acondicionado (en pendiente y con vegetación no arbórea), alternando periodos de riego con periodos de secado; dependiendo la duración de cada fase de los objetivos de tratamiento.

La aplicación del agua residual suele realizarse en ciclos de varias horas, durante 5 a 7 días a la semana, tras un escaso pretratamiento consistente en la separación de las fracciones sólidas de mayor tamaño. La distribución del agua se puede llevar a cabo mediante aspersores de baja carga, rociadores de baja presión o métodos superficiales como tuberías provistas de orificios.

El agua se depura por medio de procesos físicos, químicos y biológicos, al discurrir por bancales con suelos o estratos superficiales relativamente impermeables, aunque el proceso se ha adaptado a un amplio rango de permeabilidades ya que el terreno tiene tendencia a impermeabilizarse con el paso del tiempo.

Para la instalación de este sistema es necesario:

1. Suelos con drenaje limitado tales como arcillas y limos arcillosos.
2. Pendientes del orden del 2 al 8%.
3. Superficies muy lisas para que el agua forme una lámina sobre el suelo.

La extensión necesaria del terreno oscila entre 10 y 44 m²/hab. El grado de tratamiento alcanzable es equivalente a uno secundario, generalmente con buena reducción de nitrógeno y un peor rendimiento en fósforo, estando los rendimientos alcanzados para la DBO₅ y los sólidos en suspensión en torno al 90 y 70 % respectivamente.

Al igual que en el caso de la Infiltración rápida no es un método aconsejable a los emprendimientos serranos.

11.4.6 Cultivos acuáticos

Los cultivos acuáticos o sistemas de plantas acuáticas flotantes son básicamente una variante de los humedales artificiales, en la que se introduce un cultivo de plantas flotantes, como los jacintos de agua o las lentejas de agua, cuya finalidad principal es la eliminación de determinados componentes de las aguas a través de sus raíces, que constituyen un buen substrato responsable de una parte importante del tratamiento.

Las profundidades de agua suelen ser mayores que en los sistemas de humedales, y varían entre 0,5 y 1,8 m. Para aumentar la capacidad de tratamiento y asegurar el mantenimiento de las condiciones aerobias necesarias para el control biológico de los mosquitos, en los sistemas de plantas acuáticas flotantes se han empleado sistemas complementarios de aireación.

El uso de jacintos de agua (*Eichornia sp.*) y lentejas de agua (*Lemna sp.*) evita la entrada de luz solar al estanque. Comúnmente se utilizan para la eliminación de algas de los efluentes de lagunas y estanques de estabilización. Los sistemas de jacintos de agua además están diseñados también para proporcionar niveles de tratamiento secundarios y avanzados.

Estos sistemas han sido utilizados también como medios de producción de proteínas o biomasa, en cuyo caso la depuración de agua constituye un objetivo secundario del proyecto.

Las cargas hidráulicas anuales y las necesidades específicas de superficie de los sistemas de plantas flotantes son similares a las de los sistemas de humedales. El clima es un factor limitativo en su rendimiento, ya que las plantas sólo crecen a determinadas temperaturas.

Estos cultivos acuáticos suelen utilizarse como sistema de afino incorporados a otra cadena de procesos, empleándose generalmente como tratamiento terciario. En operaciones bien controladas, en las que las plantas se cosechan periódicamente, se pueden alcanzar rendimientos altos en la depuración. La carga orgánica admitida por estos procesos es del

orden de 30 a 50 kg/ha/día, lo que para aguas de moderada carga contaminante ($DBO_5 < 240$ mg/l), significa una carga hidráulica del orden de 6 m/año.



Imagen 61 Cultivos Acuáticos para depuración de Efluentes – (Mov. Ambientalista Brasil)

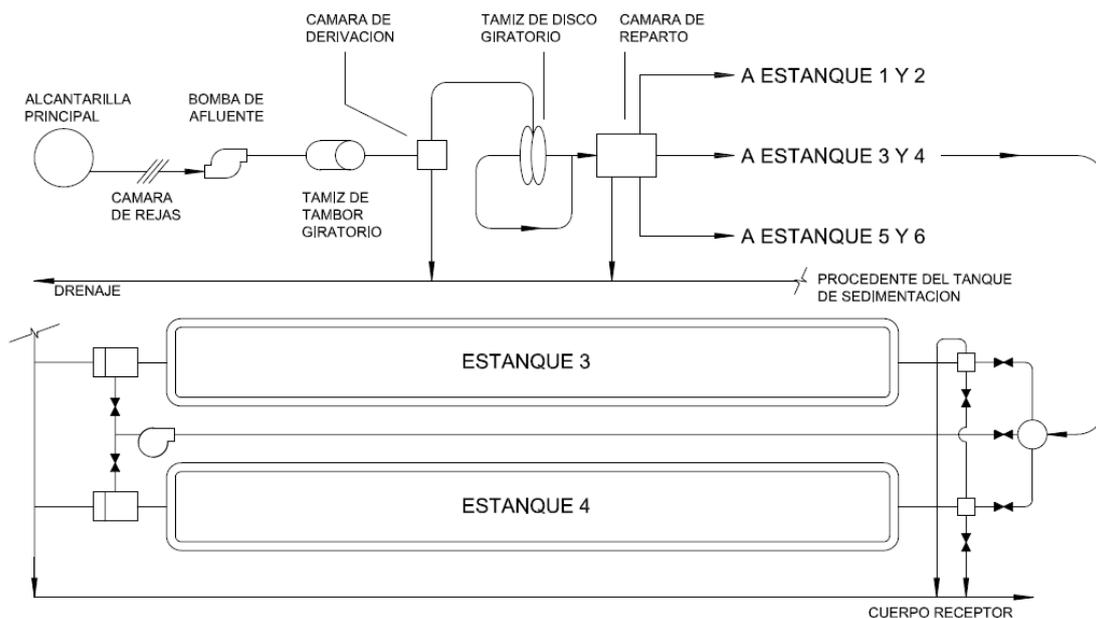


Imagen 60 Esquema de Laguna con cultivos acuáticos (Ingeniería de Aguas Residuales – Metcalf & Eddy)

11.4.6.1 Pretratamiento requerido para cultivos acuáticos

El nivel de tratamiento previo a la aplicación debería ser el tratamiento primario, lagunas aireadas de corto tiempo de detención, u otra forma de tratamiento equivalente. El tratamiento previo utilizando un tamiz de disco giratorio en lugar de un proceso de sedimentación primaria también ha resultado ser efectivo (aunque no siempre lo más económico). El uso de tratamientos de mayor nivel depende de las normas reguladoras aplicables a los efluentes. Los sistemas de plantas acuáticas se han utilizado en varios lugares para el refinado de efluentes de



Instalaciones de tratamiento secundario existentes sujetas a normas de calidad de efluentes muy restrictivas. En el tratamiento previo a la aplicación en sistemas de plantas acuáticas se debe evitar el uso de estanques de estabilización y de lagunas que generen grandes concentraciones de algas ya que, al igual que los sistemas de riego superficial, los sistemas de plantas acuáticas no permiten eliminar las algas de forma regular. En los casos en los que existan limitaciones de contenido de fósforo en el efluente, la eliminación de fósforo se debe llevar a cabo en la etapa de tratamiento previo, ya que en los sistemas de plantas acuáticas su eliminación es mínima.

11.4.6.2 Presencia y control de mosquitos

En muchas regiones la proliferación de mosquitos en los sistemas de tratamiento acuáticos puede ser un factor crítico en la determinación de la viabilidad o no del uso de este tipo de sistemas. El objetivo del control de los mosquitos es reducir la población de mosquitos a valores por debajo de los necesarios para la transmisión de enfermedades o el nivel de tolerancia a condiciones desagradables. Las estrategias que se pueden emplear para controlar la población de mosquitos incluyen:

1. Lagunas de acumulación con peces (*Gambusia* spp.).
2. Tratamiento previo más efectivo para reducir la carga orgánica sobre el sistema acuático para mantener condiciones aerobias.
3. Alimentación escalonada del curso de agua afluyente con recirculación
4. Mayor frecuencia de cosecha de las plantas.
5. Rociado con agua a últimas horas de la tarde.
6. Aplicación de agentes químicos de control (larvicidas).
7. Difusión de oxígeno (mediante equipos de aireación).
8. Agentes biológicos de control (p.e. *BT/israelensis*).

Los peces que se emplean para el control de mosquitos (típicamente *Gambusia* spp.) mueren en condiciones anaerobias como las que se desarrollan en lagunas sobrecargadas orgánicamente. Además de en lugares en los que la población piscícola está inhibida, los mosquitos pueden proliferar en sistemas de jacintos en los que se ha permitido el crecimiento de las plantas a grandes densidades. Al juntarse tanto las plantas, se crean bolsas de agua que resultan inaccesibles para los peces pero no para los mosquitos.

11.4.6.3 Cosecha y procesado de las plantas

La necesidad de cosechar y recoger las plantas depende de los objetivos de calidad de las aguas, de la velocidad de crecimiento de las plantas, y de la acción de depredadores.

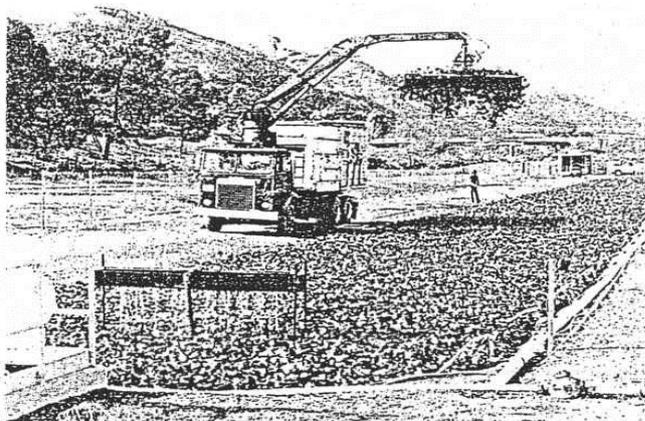


Imagen 62 Cosechado de Plantas Acuáticas excedentes en lagunas con cultivos acuáticos - (Ingeniería de Aguas Residuales – Metcalf & Eddy)



La cosecha de las plantas acuáticas es necesaria para mantener un cultivo con elevada asimilación metabólica de nutrientes (véase Fig. 13-30). Por ejemplo, la cosecha de los jacintos se lleva a cabo con frecuencia (cada tres o cuatro semanas) para favorecer la eliminación de nutrientes. Sólo se consigue eliminar cantidades importantes de fósforo si las cosechas se realizan con frecuencia. En los lugares en los que los depredadores representan un problema para las poblaciones de jacintos, se suele llevar a cabo una cosecha selectiva para evitar que las plantas queden infectadas. Durante los períodos cálidos, para que la eliminación de nutrientes resulte efectiva, puede ser necesario cosechar las lentejas de agua con frecuencia incluso semanal.

Normalmente, los jacintos cosechados se secan y aplican al terreno o se distribuyen sobre el terreno con arados. Los jacintos de agua también se puede compostar de forma sencilla. Sin embargo, si las plantas no se secan o prensan antes del proceso de compostaje, el elevado contenido en humedad reduce la efectividad del proceso y conduce a la producción de un líquido que es necesario evacuar. Las lentejas, de agua se pueden emplear como alimento de animales sin necesidad de secarlas al aire. Para hacer que el uso de sistemas de plantas acuáticas resulte más viable, es necesario continuar con los trabajos encaminados a dar solución al problema de la evacuación de las plantas acuáticas cosechadas.

11.4.6.4 Configuración de las lagunas

En la Figura 63 se ilustran las configuraciones típicas adoptadas para los sistemas de jacintos de agua. La mayoría de los primeros sistemas de jacintos de agua disponían de estanques rectangulares explotados en serie de forma similar a los estanques de estabilización. La recirculación y la alimentación escalonada se emplean para:

- Reducir la concentración de constituyentes orgánicos en la zona radicular.
- Mejorar el transporte del agua residual hacia la zona radicular
- Reducir el desprendimiento de olores. El uso de sistemas concéntricos reduce la longitud necesaria de los conductos para la alimentación escalonada y de recirculación y los costes de bombeo de recirculación.

Los sistemas de lentejas de agua se deben diseñar como estanques de estabilización convencionales con la excepción de la necesidad de disponer medidas para la protección contra la acción del viento. Como se ha comentado anteriormente, para minimizar la superficie expuesta a la acción directa del viento se emplean deflectores flotantes. Sin estas medidas de control, el viento arrastraría las plantas y no sería posible alcanzar los rendimientos de tratamiento previstos.

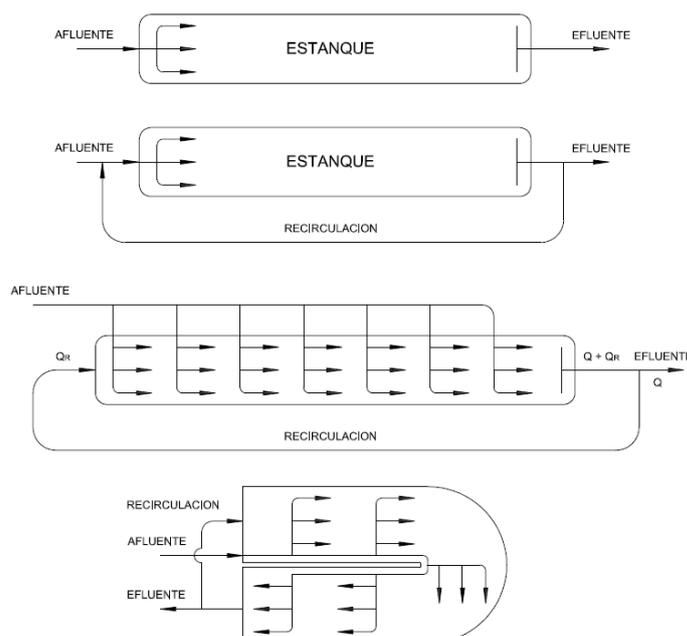


Imagen 63 Diferentes tipos de Flujos adoptables en lagunas con cultivos acuáticos - (Ingeniería de Aguas Residuales – Metcalf & Eddy)

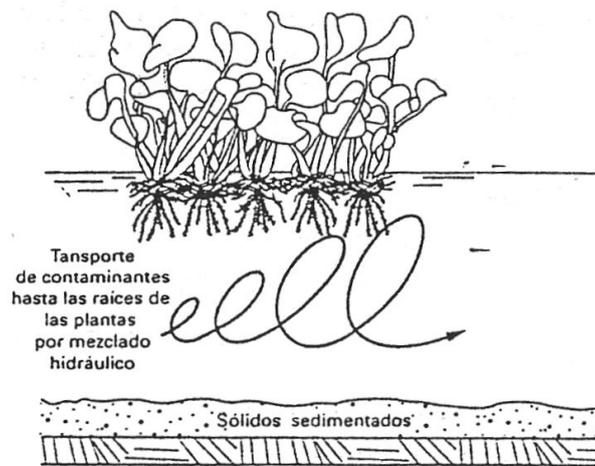


Imagen 64 Transporte de contaminantes en lagunas con cultivos acuáticos - (Ingeniería de Aguas Residuales – Metcalf & Eddy)

11.4.7 Comentarios Finales y Comparación de los sistemas analizados

Para resumir toda la información analizada en este apartado, a continuación se muestran las tablas 19 y 20 en las que se compararan las características, tanto de ubicación como de diseño y rendimiento de los diferentes sistemas naturales de tratamiento descritos anteriormente. Mientras que en la tabla 18 se comparan los rendimientos de Depuración de cada uno de los sistemas.

SISTEMA DE TRATAMIENTO	RENDIMIENTOS (%)					PRODUCCIÓN DE FANGOS	RECOGIDA DE FANGOS
	DBO ₅	DQO	SS	P	N		
Filtro Verde	90-95	90-95	95-99	85-90	90-95	No	No
Infiltración Rápida	90-95	70-80	90-95	25-40	30-95	Reducida	> 6 meses
Escorrentía Superficial	90-95	60-70	70-80	20-30	45-50	No	No
Lechos de turba	80-85	80-85	90-95	10-30	10-50	0,5-1	> 1 año
Lagunajes	80-95	60-80	70-90	40-60	55-85		5-10 años

DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno, DQO: Demanda química de oxígeno, SS: Sólidos en suspensión, P: Fósforo en cualquiera de sus formas, N: Nitrógeno en cualquiera de sus formas.

Tabla 18 Comparación en el rendimiento de diversos sistemas naturales de depuración de aguas residuales urbanas - (Ingeniería de Aguas Residuales – Metcalf & Eddy)



Características	Filtro Verde	Infiltración Rápida	Escorrentía Superficial	Lechos de Turba	Lagunajes	Humedales	Cultivos Acuáticos
Técnicas de aplicación	Aspersión o superficial ^a	Generalmente superficial	Aspersión o superficial	Superficial	Superficial	Aspersión o superficial	Superficial
Carga hidráulica anual (m/año)	1,70-6,0	6,0-100	7,3-56,7			5,5-18	5,5-18
Superficie necesaria ^b (m ² /hab)	10-90	1-22	10-44	0,6-1	6,5		
Pretratamiento o mínimo necesario	Sedimentación primaria ^c Desbaste	Sedimentación primaria. Desbaste	Desbaste	Desbaste a través de filtros autolimpiables	Desbaste.	Sedimentación primaria. Desbaste	Sedimentación primaria. Desbaste
Evacuación del agua residual aplicada	Evapo-Transpiración y percolación	Principalmente percolación	Escorrentía superficial y evaporación con algo de percolación	Drenaje en la base del sistema		Evapo-transpiración, percolación y escorrentía superficial	Algo de evapo-transpiración
Vegetación	Necesaria	Opcional	Necesaria	No necesaria	No necesaria	Necesaria	Necesaria

^a Incluye riego por surcos y amelgas.

^b La superficie necesaria no incluye la zona de amortiguación, ni los accesos y zanjas.

^c Depende del uso del efluente y del tipo de cultivo.

Tabla 19 Características de diseño de los diferentes sistemas de tratamiento Naturales - (Ingeniería de Aguas Residuales – Metcalf & Eddy)



Características	Filtro Verde	Infiltración Rápida	Escurrentia Superficial	Lechos de Turba	Lagunajes	Humedales	Cultivos Acuáticos
Limitaciones climáticas	Suele ser necesario disponer de instalaciones de almacenamiento durante las lluvias y en tiempo frío	Ninguna (posibles modificaciones en la explotación en condiciones de tiempo frío)	Suele ser necesario Disponer de Instalaciones de Almacenamiento Durante las lluvias y en tiempo frío	Ninguna (se puede utilizar incluso en climas muy fríos)	Dificultad de adaptación a los cambios climáticos (las variaciones de temperatura pueden obligar a hacer más profundos los estanques)	En clima frío puede ser necesario almacenar el agua. La posibilidad de utilización de las plantas está directamente relacionada con el clima.	En clima frío puede ser necesario almacenar el agua. La posibilidad de utilización de las plantas está directamente relacionada con el clima.
Profundidad hasta el nivel freático	0,6-0,9m (mínimo)	3m (en los casos en los que exista drenaje se pueden adoptar profundidades menores)	No crítica		No crítica	No crítica	No crítica
Pendiente	Inferior al 15% en terrenos cultivados e inferior al 40% en terrenos no cultivados	No es un factor crítico; las pendientes demasiado pronunciadas obligan a grandes movimientos de tierras	Pendientes del 1-8%, máximo 15%		Normalmente inferior al 5%	Normalmente inferior al 5%	Normalmente inferior al 5%
Permeabilidad del suelo	De moderadamente baja a moderadamente alta	Alta (arenas, arenas margosas)	Baja (arcillas, limos y suelos con barreras impermeables)	Baja (de lo contrario hay que recurrir a la impermeabilización)	Baja a moderada	Baja a moderada	Baja a moderada

Tabla 20 Características de ubicación de los sistemas de tratamiento Naturales - (Ingeniería de Aguas Residuales – Metcalf & Eddy)



La mayor parte de los sistemas planteados en el presente informe son aplicables en el área de estudio de las Sierras de Córdoba. La elección de uno u otro dependerá de diversos factores como ser:

- a. Presupuesto Disponible del Gerenciador del emprendimiento.
- b. Periodos de uso de los complejos, es decir, si es para uso estacional o continuado durante todo el año.
- c. Superficie disponible para llevar adelante el proceso de depuración, este punto será crucial en el caso de elegir entre un sistema convencional compacto o uno no convencional, recordando que la relación entre superficie y gasto energético es inversamente proporcionales dependiendo de cuál de los dos se elija.
- d. Tipo de suelo de la zona y permeabilidad del mismo.
- e. Capacidad del gerenciador de realizar mantenimiento al sistema o no.
- f. Cercanía de un cuerpo de Agua para volcar el efluente tratado.
- g. Nivel de tratamiento requerido en función del punto anterior.
- h. Normativa Vigente.
- i. Profundidad del nivel freático.
- j. Tamaño del complejo que requiera el sistema de tratamiento.

Los humedales artificiales son sistemas simples de operar, con un bajo mantenimiento y nulo consumo energético, producen escasos residuos durante la fase de operación, con bajo impacto sonoro, una excelente integración en el medio natural y con una capacidad de regulación del sistema. Destaca la extensión de terreno necesaria como inconveniente principal.

No obstante analizando lo antes expuesto, vemos que el sistema de Humedales es económicamente muy conveniente, tiene un alto nivel de tratamiento y depuración y permite recuperar el agua tratada en su totalidad para otro uso (Riego o similar, dependiendo el nivel de depuración que la norma exija para tal fin), pero como contraparte dicho sistema presenta la desventaja de que no admite un uso estacional, es decir, al ser el efluente la única fuente de nutrientes y agua para las plantas utilizadas y las colonias de microorganismos, si esta cesa, todo el sistema muere, teniendo que ponerlo en marcha nuevamente con los costos y complicaciones que implica.

Por otro lado los filtros verdes, presentan también una excelente alternativa, teniendo en cuenta que el nivel de tratamiento es alto y que es posible recuperar el agua tratada por medio de pozos o perforaciones en el lugar y destinarlas para un riego de tipo secundario (entiéndase otro cultivo). El inconveniente de este sistema es que por lo general el vertido de efluentes se hace de manera superficial, acción que trae aparejada malos olores y el desarrollo de insectos en el lugar, esto no es deseable y menos en un emprendimiento turístico. Si se pudiera solucionar este inconveniente, el filtro verde presenta como ventaja que es un cuerpo verde y aumenta la calidad paisajística del lugar.

También es destacable el caso de los cultivos acuáticos, por su alto valor paisajístico, pero tiene el inconveniente de que necesita un alto nivel de mantenimiento y un gasto energético para recircular el agua y evitar la septización de la laguna.

Con respecto a los sistemas compactos, presentan la ventaja de requerir poca superficie, pero tienen un alto costo de inversión inicial, al cual dependiendo del tipo de tratamiento elegido puede sumarse o no costos de mantenimiento. No obstante no dejan de ser una opción ya que permiten un uso más de tipo estacional.

Los sistemas convencionales, como ser el empleo de fosa séptica y posteriores medios de infiltración o percolación, siguen siendo una alternativa a tener en cuenta en los casos que se pudieran presentar, siempre y cuando el suelo tenga la permeabilidad requerida.



12. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DEPURACION

En base a la bibliografía consultada, en este último apartado se pretende establecer una metodología comparativa para la selección de alternativas de depuración en pequeños núcleos de población. En base a criterios definidos y justificando en cada caso la decisión tomada.

12.1 Criterios de Selección

Para establecer criterios de selección entre las diferentes alternativas, resulta necesaria la comparación de diferentes aspectos. Se han considerado las siguientes (*Collado 1991*), (*Vargas 1990*):

1. **SUPERFICIE NECESARIA**
2. **SIMPLICIDAD DE CONSTRUCCION**
 - Movimiento de tierras
 - Obra civil
 - Equipos
3. **MANTENIMIENTO Y EXPLOTACION**
 - Simplicidad de funcionamiento
 - Necesidad de personal
 - Duración del control
 - Frecuencia en el control
4. **COSTOS DE CONSTRUCCION**
5. **COSTOS DE EXPLOTACION Y MANTENIMIENTO**
6. **RENDIMIENTOS**
 - DQO
 - DBO
 - SS
 - N
 - P
 - Coliformes
7. **ESTABILIDAD**
 - Efecto de la temperatura
 - Turbidez efluente
 - Variación de caudal y carga
8. **IMPACTO AMBIENTAL**
 - Molestia de olores
 - Molestia de ruidos
 - Molestia de insectos
 - Integración con el entorno
 - Riesgos para la salud
 - Efectos en el suelo
9. **PRODUCCION DE FANGOS**



12.2 Preselección

La elección entre los posibles sistemas de depuración, debe pasar por una primera etapa de preselección, donde según las circunstancias específicas de cada lugar: población de cálculo (campo poblacional de aplicación, tabla 21), superficie disponible (necesidades de superficie, tabla 22), grado de depuración exigido (legislación sobre vertidos), limitaciones económicas tanto en construcción como explotación, tipo de agua residual a tratar, y otras características propias de cada lugar, haga viables o desechables alguna de las alternativas propuestas. A continuación se presenta en las tablas 21 y 22, los campos poblacionales de aplicación y la superficie necesaria por habitante para cada una de las alternativas posibles (Collado 1992).

Alternativa	Población Equivalente							
	100	200	500	1.000	2.000	5.000	10.000	>10.000
Fosa séptica	+++	++	+					
Tanque Imhoff	+++	+++	++	+				
Zanja filtrante	+++	+++	+++	++	++	+		
Lecho filtrante	+++	+++	+++	++	++	+		
Filtro de arena	+++	+++	+++	++	+			
Lecho de turba	++	+++	+++	+++	+++	++	+	
Pozo filtrante	+++	+++	+++	++	++	+		
Filtro verde	+	++	+++	+++	+++	++	++	+
Lecho de juncos	+	++	+++	+++	+++	++	+	+
Filtración rápida	+	++	+++	+++	+++	++	+	+
Esc. Superficial	++	+++	+++	+++	++	+	+	+
Lag. Aireada			+	++	+++	+++	+++	+++
Lag aerobia	+	+	++	+++	+++	+++	++	++
Lag. Facultativa	+	++	+++	+++	+++	+++	++	++
Lag anaerobia	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	++
Lag. Anae. Modificada				++	++	+++	+++	++
Lecho bacteriano	+	++	+++	+++	++	++	++	++
Biodisco			+	+	++	+++	+++	+++
Aireación prolongada	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	++
Canal de oxidación				++	+++	+++	+++	+++
Trat. Físico químico		+	+	++	+++	+++	+++	++

(+) poco (++) medio (+++) mucho

Tabla 21 Campo Poblacional de Aplicación de las diferentes Alternativas de Depuración (Collado)

Alternativas	Superficie necesaria (m2/hab)
Fosa séptica	0.1 - 0.5
Tanque Imhoff	0.05 - 0.1
Zanja filtrante	6 - 66
Lecho filtrante	2 - 25
Filtro de arena	1 - 9
Lecho de turba	0.6 - 1.0
Pozo filtrante	1 - 14
Filtro verde	12-110
Lecho de juncos	2 - 8
Infiltración rápida	2- 22
Esc. superficial	5 - 15
Lag. aireada	1 - 3



Lag. aerobia	4 - 8
Lag. facultativa	2 - 20
Lag. anaerobia	1 - 3
Lag. ana. + Facultativa	2 - 12
Lag. ana. modificada	1 - 5
Lecho bacteriano	0.5 - 0.7
Biodisco	0.5 - 0.7
Aireación prolongada	0.2 - 1.0
Canal de oxidación	1.2 - 1.8
Trat. físico químico	0.1 - 0.2

Tabla 22 Superficie Necesaria en cada alternativa (Collado)

12.3 Selección

En esta fase se trata de elegir algunas alternativas, entre las preseleccionadas, de una forma justificada. Para ello se procede de una manera similar a un estudio de Impacto ambiental. Es decir, se confecciona tantas matrices como efectos contemplados en la selección (dichas matrices son en función de los criterios de selección enumerados en 12.1) Los efectos se valorarán, para cada alternativa preseleccionada bien con cifras (m²/hab, pts/hab, pts/hab.año, etc.) o con apreciaciones adimensionales (S: simple, MS: muy simple, C: complejo, P: poco R: regular, etc.) Estas valoraciones se traducirán en cifras, numéricas entre 0 y 10 que contemplan las situaciones extremas más desfavorables y favorables respectivamente, para cada uno de los efectos.

Como resumen del análisis, se expone para cada solución objeto de estudio una matriz final de selección, donde se dan diferentes pesos parciales (a₁, a₂, ..., a₉) a cada uno de los nueve efectos analizados, según las circunstancias específicas del lugar, que nos conduzca a un ordenamiento razonado entre las alternativas preseleccionadas. En ella se obtiene, para las alternativas que queden de las iniciales, una valoración que engloba todos los efectos contemplados.

$$A_j = \frac{\sum_{i=1}^{i=9} \alpha_{ij} * a_{ij}}{\sum_{i=1}^{i=9} a_i}$$

Dónde:

A_j= Peso total de la alternativa analizada

a= criterio analizado (i) para la alternativa (j)

α_i= ponderación del criterio de selección analizado (i)

Es decir, el peso de cada alternativa seleccionada es igual a la sumatoria de los efectos de cada criterio de selección vistos. A ese peso parcial se lo divide por la sumatoria de todos los efectos producidos por cada criterio de selección y se obtiene el peso total de cada alternativa. A continuación se muestra una tabla modelo del resultado final del análisis:

	Fosa séptica	Zanja Filtrante	Filtro Verde	Lecho de Juncos	.....	Alternativa j	Peso
Sup. Necesaria	xx	xx	xx	xx	.....	xx	a1
Simp. Constructiva	xx	xx	xx	xx	.....	xx	a1
Explot. Mant.	xx	xx	xx	xx	.....	xx	a3
Rendimiento	xx	xx	xx	xx	.....	xx	a4
Estabilidad	xx	xx	xx	xx	.....	xx	a5
.....
Criterio i	xx	xx	xx	xx	.....	xx	a _i
Total	Sum α _{i1} * a _i	Sum α _{i2} * a _i	Sum α _{i3} * a _i	Sum α _{i4} * a _i	.....	Sum α _{ij} * a _i	Sum a _i
Nota	A1	A2	A3	A4	.....	A _j	

Tabla 23 Ejemplo de Matriz final de Selección de Alternativas de Depuración

Si los pesos asignados a cada efecto han sido razonados y justificados, se elegirá como solución más idónea aquella que este entre las de máxima puntuación.



13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A modo de cierre de la Práctica Profesional Supervisada se destaca lo siguiente:

Con respecto al relevamiento de los sistemas de Tratamiento de los municipios y comunas de la Provincia, constituye una herramienta excepcional, ya que permite saber en qué situación nos encontramos a la fecha, y de este modo planificar las acciones a tomar para mejorar la cobertura de servicio y calidad a futuro. Debe ser un punto clave en este sentido la infracción constante de los parámetros de volcamiento del decreto 415/99.

La planilla elaborada permite una rápida visualización de la situación de cada municipio y de los problemas que los mismos declaran tener en cuanto al tratamiento que realizan. También se puede determinar fácilmente a través de ella que municipios han sido los últimos en inspeccionarse y cuales deberían ya volver a ser inspeccionados, esto gracias al sistema de filtros que la misma planilla permite.

Por otro lado en dicha planilla se puede observar la situación "jurídica" de cada municipio, es decir si el mismo presenta un número de expediente en la Secretaría, si el vertido en el cuerpo receptor está aprobado o no, entre otros datos de interés.

Respecto al relevamiento, se puede recomendar que el Área de Preservación y control del recurso continúe con las tareas que se iniciaron en la práctica y mejore aún más la calidad de los datos que se obtuvieron. Ya que como se dijo mejorando dicha calidad se constituye a la misma en una herramienta de Gestión para el Gobierno, imprescindible en lo que respecta a la preservación del recurso hídrico provincial. Instando a los municipios al mantenimiento de sus sistemas de depuración.

Por otro lado en lo que respecta a las visitas que se realizó a las plantas depuradoras desarrolladas en la segunda etapa de la PPS, se constató la importancia del saneamiento de dichas aguas antes de ser vertidas a los cursos de agua. Lamentablemente lo observado en las visitas es que la mayoría de las plantas no cumple con la calidad exigida por parte del gobierno en cuanto a los efluentes volcados. Si bien las problemáticas en cada caso son diversas, se constituyen en factores comunes al momento del análisis, la falta de mantenimiento de los equipos, sobretodo en lo que es Electromecánico (Aireadores) como así también los errores de diseño observados en algunos casos, esto sumado a la falta de conciencia tanto por parte de la población en general, como por parte de quienes operan las plantas y la escasez de fondos disponibles para invertir es lo que ha llevado entre otras cosas a la actual situación de las mismas.

En este sentido se destaca la importancia de la presencia y acompañamiento de las autoridades de la Provincia en las acciones que se están llevando a cabo desde la Secretaría para subsanar la actual situación. Ya que lo que se podría comprometer, es la calidad del recurso hídrico de la Provincia, esto es importante no solo desde el punto de vista del agua utilizada para consumo humano, sino también de lo que implican los cursos de Agua para Córdoba en materia de turismo, esta importante fuente de ingreso se vería afectada, y a medida que el nivel de contaminación sea mayor, así también sería el costo de revertir dicha situación.

En lo que hace a la tercera etapa, investigación de alternativas para tratamiento de efluentes en pequeños y medianos emprendimientos de las zonas turísticas de la Provincia de Córdoba, constituyo un gran desafío, ya que se planteaba una problemática muy propia de los emprendimientos de dicha zona, que es la necesidad de depurar volúmenes de efluentes cloacales, generados en periodos de tiempo relativamente cortos, lo cual implica caudales altos en poco tiempo, razón por la cual en la mayoría de los casos no se justifica invertir en grandes instalaciones, ya que dicha inversión no sería recuperable, sin mencionar que en la mayoría de los casos ni siquiera se dispone de los fondos suficientes.

En ese marco se encaró la investigación y se buscó información acerca de sistemas convencionales y no convencionales, no solo en libros editados en papel, sino que también se hizo una búsqueda exhaustiva en Internet, con el fin de obtener datos y experiencias actualizadas en tecnologías de tratamiento siempre provenientes de fuentes confiables.

En el caso de los sistemas convencionales, se concluyó que el tratamiento por medio de fosas sépticas (de dos o tres compartimentos) y su posterior disposición en pozos o zanjas de



infiltración constituyen una alternativa a considerar en los casos de análisis, siempre y cuando la absorción del terreno sea la necesaria.

En lo que respecta a sistemas no convencionales, se pudo observar que si bien, no ha habido grandes cambios en lo que respecta a tratamientos en los últimos 20 años, los filtros verdes y los humedales constituyen sin lugar a dudas dos grandes alternativas para el tratamiento de efluentes con bajo costo, teniendo en cuenta que se debe resolver antes de ser presentados como una opción viable el problema de la variación estacional. Pero como se mencionó en los comentarios finales de la tercera etapa, esto es motivo de un proyecto de investigación, que no solo determine como se puede subsanar este inconveniente, sino que además corrobore las altas tasas de eficiencia en cuanto a depuración y eliminación de contaminantes se refiere.

También es de destacar que estos dos métodos mencionados anteriormente no son otra cosa que procesos que la misma naturaleza pone a nuestra disposición, de allí su bajo costo y poder en lo que respecta a depuración. No cabe lugar a dudas que si se quiere progresar en lo que hace a la ya antes mencionada eficiencia en depuración de efluentes esta es la dirección a tomar. **Quedando claro que para mejorar dicha eficiencia, no hay que inventar nada nuevo, sino más bien, cambiar el modo en que hoy hacemos las cosas.**



14. BIBLIOGRAFIA

14.1 Libros y Normas

1. Metcalf & Eddy, año 1995. Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, vertido y Reutilización. Editorial McGraw Hill. Tercera Edición.
2. Hernández Muñoz, Hernández Lehmann, Galán Martínez. año 2000. Manual de Depuración Uralita, Sistemas para Depuración de Aguas Residuales en Núcleos de hasta 20.000 Habitantes. Editorial Thomson Paraninfo.
3. R.S. Ramalho. año 1996. Tratamiento de Aguas Residuales. Editorial Reverte S.A.
4. Universidad De Buenos Aires, Facultad de Ingeniería. año 1971. Lagunas de Estabilización. Publicación Nº 9.
5. Gerard Kiely. Año 1999. Ingeniería Ambiental, Fundamentos, Entornos, Tecnologías y sistemas de Gestión. Editorial McGraw Hill.
6. Ramón Collado Lara. año 1992. Depuración de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades. Colegio de Ingenieros en caminos, canales y puertos, Nº12.
7. Ministerio de Economía, Obras y Servicios Públicos, Secretaria de Obras Publicas y Comunicaciones. Normas de Estudio, Criterios de diseño y Presentación de Proyectos Cloacales para localidades de hasta 30.000 Hab. del ENOHS. Año 1993 Volumen II
8. Gobierno de la Provincia de Córdoba. Ministerio de Agua, Ambiente y Energía. Secretaria de Recursos Hídricos y Coordinación. Año 2013. Normas Para la Presentación y Diseño de Sistemas y Obras Hidráulicas en la Provincia de Córdoba.

14.2 Apuntes

1. Ortiz Olmedo, Abdel Masih. Caracteres de Líquidos Residuales Domésticos. UNC, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Cátedra de Ingeniería Sanitaria.
2. Universidad Nacional de Rosario. año 2006. Diplomatura de Posgrado en Tratamiento de Aguas y Efluentes. Módulo 4: Tratamiento de Líquidos Cloacales, Bibliografía. Centro de Ingeniería Sanitaria.

14.3 Revistas y Documentos de Proyectos de Investigación

1. Florencia Nadal; Nancy Larrosa; Noelia Alasino; Claudia Gutiérrez; Hernán Severini; Gerardo Hillman. Propuestas de sistemas de remediación sanitaria para Potrero de Garay, Córdoba, Argentina.
2. Enrique Ortega; Juan José Salas; Yasmina Ferrer; Lucía Sobrados; Carlos Aragon. La Depuración de las Aguas residuales en pequeñas Poblaciones Españolas. España. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).
3. Anónimo. Depuración de aguas residuales de una población mediante humedales artificiales. España.
4. Agustín Lahora. Depuración de Aguas Residuales mediante Humedales Artificiales: La EDAR de los Gallardos (Almería), España.



5. Isabel Martín García (CENTA) Juana Rosa Betancort Rodríguez (ITC) Juan José Salas Rodríguez (CENTA) Baltasar Peñate Suárez (ITC) Juan Ramón Pidre Bocado (CENTA) Nieves Sardón Martín (CENTA). Año 2006. Guía sobre Tratamientos de Aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de Población, Mejora de la calidad de los Efluentes, España. Editorial Daute Diseño.
6. Rosa Huertas y Carlos Marcos (CHD), Nuria Ibarguren y Sergio Ordás (OMICRON-AMEPRO, S.A.). año 2013. Guía Práctica para la depuración de Aguas Residuales en pequeñas Poblaciones, España. Editorial Gráficas CELARAYN S.A.
7. Guillermo Parra Schramm. Sistemas de Tratamiento de Aguas Servidas, Hotel Cabañas del Paine.
8. José Alberto Herrera Melian. Sistemas de depuración natural de aguas residuales y otras estrategias de sostenibilidad, Canarias.
9. Aramis Latchinian y Daniel Ghislieri. Autoconstrucción de sistemas de depuración de aguas cloacales, Uruguay.
10. Marjorie Márquez Vázquez. Tecnologías no convencionales para el tratamiento de las aguas residuales en la Facultad de Estudios Superiores Aragón, México.
11. Roth S.A. año 2013. Depuración de Aguas Residuales, España.
12. López P.A y Noyola A. Sistemas de tratamiento de Aguas residuales no convencionales para remoción de parásitos y patógenos, aplicación en San Dionisio Ocoatepec, Oaxaca, México.
13. Bustamante Gutiérrez, Lilio Ramos, Segura Redondo, Iglesias Martin, Gomez Ortiz, Carreño Conde, Bienes Allas, Martin crespo, Márquez González, Gil, Velázquez, Carenas Fernández. Adaptación de los Filtros verdes de estaciones depuradoras de agua (EDAR) a estaciones de regeneración y reutilización de aguas depuradoras (ERRAD).
14. Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Año 2002. Filtros Verdes, Un sistema de depuración Ecológico. Vol. XXIII Nº1.
15. Mañueco, Narvaez, Refoyo, y Sidrach Cardona. Filtros verdes (Depuración de Aguas Residuales por Infiltración de Baja Carga).
16. Revista Seguridad y Medio Ambiente. Primer trimestre 2010. Filtros Verdes. Nº 117
17. Univ. Nacional de México. Brain, Autoregeneracion de Aguas Residuales, México.
18. Raúl Crespi, O. Plevich, A. Thuar, L. Grosso, C. Rodriguez, D. Ramos, O. Barotto, M. Sartori, M. Covinich, J.Boehler. Manejo de aguas Residuales Urbanas. Argentina. Univ. Nacional de Rio Cuarto.

14.4 Sitios Web

- <http://www.tadipol.com> – Plantas Compactas
- <http://www.dimamex.com> – Plantas Compactas
- <http://www.nyfdecolombia.com> – Plantas Compactas
- <http://www.bricher.com.ar> – Plantas Compactas
- <http://www.smasa.net> – Plantas Compactas
- <http://www.iagua.es> – Plantas Compactas
- <http://www.rinconesdelatlantico.com> – Gestión de aguas Residuales en entornos rurales



<http://www.hytsa.com.ar> – Normas ENOHSA (empresa a cargo de su elaboración)
<http://www.puntal.com.ar> – Aplicación de Filtros Verdes en Adelia María
<http://depuranat.itccanarias.org> – Tratamiento de Aguas residuales con Fines Productivos.