



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Humedales como forma de
tratamiento de aguas residuales en
la comunidad rural de Acoculco, en
Chignahuapan Estado de Puebla**

TESINA

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Daniel Alberto Gaspar Martínez

DIRECTOR DE TESINA

M.I. Gabriel Moreno Pecero



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

AGRADECIMIENTOS

Después de este camino largo por fin ha llegado el momento de culminar una parte fundamental de mi vida profesional, esto no hubiera podido ser posible sin el apoyo de muchísimas personas.

Primeramente agradecerles a las comunidades que nos dieron la oportunidad de trabajar con ellos, gracias por la hospitalidad y buenos momentos, a mis compañeros y profesores pertenecientes al grupo de servicio social y a los compañeros de diferentes facultades y escuelas, que tuve oportunidad de conocer durante esta gran experiencia.

Quiero agradecer a mis profesores que siempre de manera directa e indirecta ayudaron a mi formación como profesional y en ocasiones mi formación personal; quiero hacer mención especial al Ing. Gabriel Moreno Pecero por el apoyo, las palabras, y gracias por darme la oportunidad de participar en un servicio comunitario que me dejó marcado y sin duda se convierte en mi mejor experiencia como estudiante.

A mi Mamá, gracias por el apoyo incondicional, gracias por los consejos, las llamadas de atención, por nunca dejar de empujar, pero sobre todo gracias por el cariño.

A mi Papá, gracias por los consejos, el apoyo, la presión, gracias por siempre querer lo mejor para mis hermanos y para mí, pero sobre todo gracias por el cariño.

A mis hermanos, gracias por siempre encontrar la parte divertida y graciosa de hasta las peores situaciones, gracias por nunca dejar de empujarnos el uno al otro, gracias por las risas.

Finalmente quiero agradecerle Vale por nunca dejar de apoyar, gracias por la paciencia, gracias por los buenos y malos momentos, gracias por todo el amor.

INDICE

1. Introducción.	
1.1 Servicio social comunitario.....	1
1.2 Importancia del servicio social en las comunidades más desprotegidas, así como el desarrollo profesional y personal de los estudiantes.....	2
1.3 Objetivo general.....	2
2. Introducción a la problemática social y de infraestructura en la comunidad de San Francisco Aocolco en Chignahuapan estado de Puebla.	
2.1 Información general de la población.....	3
2.1.1 Marco histórico.....	3
2.1.2 Dimensión físico ambiental.....	4
2.1.3 Clima.....	6
2.1.4 Servicios Públicos.....	7
2.1.5 Principales actividades económicas.....	8
2.2 Visita de reconocimiento a la comunidad.....	10
2.3 Propuestas de acción inmediata para mejoramiento de la comunidad.....	12
3 Sistema de alcantarillado y fosa de oxidación, observaciones y propuestas de mejoramiento.	
3.1 Objetivos y alcances.....	14
3.2 Análisis del sistema de alcantarillado.....	14
3.2.1 Estado actual de la obra.....	14
3.2.2 Recomendaciones y propuestas de mejoramiento.....	21
3.3 Análisis de la Fosa de Oxidación.....	21
3.3.1 Estado actual de la Fosa.....	21
3.3.2 Recomendaciones y propuestas de mejoramiento.....	24
4 Alternativas de solución para el tratamiento de lodos activados y aguas residuales.	
4.1 Introducción.....	26
4.2 Objetivos y alcances.....	26
4.3 Definición y tipo de Lodos Activados.....	27
4.4 Propuestas de solución, para el tratamiento de los lodos.....	28
4.4.1 Deshidratación.....	28
4.4.2 Espesamiento.....	32
4.4.3 Estabilización.....	34
4.5 Alternativas para el tratamiento de aguas residuales.....	37
4.5.1 Introducción.....	37
4.5.2 Objetivos y alcances.....	38
4.6 Definición y tipos de Aguas Residuales.....	38
4.7 Principales formas de tratamiento de aguas residuales.....	38

4.7.1	FosaSéptica.....	38
4.7.2	Planta de tratamiento.....	40
4.7.3	Laguna de estabilización.....	43
4.7.4	Tanque Imhoff.....	47
5	Humedales artificiales como alternativa para el tratamiento de aguas residuales y lodos activados.	
5.1	Objetivo y alcances.....	50
5.2	Humedales.....	50
5.3	Historia.....	51
5.4	Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.....	51
5.4.1	Clasificación.....	52
5.4.2	Humedales de flujo superficial.....	52
5.4.3	Humedales de flujo subsuperficial.....	53
5.4.4	Principales componentes de un humedal artificial.....	55
5.5	Ventajas y desventajas de un humedal de acuerdo a su tipo.....	61
5.6	Operación y mantenimiento.....	63
5.7	Métodos de diseño de humedales de flujo subsuperficial.....	64
5.7.1	EPA, manual de diseño; humedales construidos y sistemas de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. Septiembre 1988.....	64
5.7.2	EPA, Construcción de humedales artificiales de flujo subsuperficial para tratamiento de aguas residuales; Una evaluación de la tecnología. Julio 1993.....	66
6	Diseño de humedal.	
6.1	Elección del tipo de humedal a trabajar.....	70
6.2	Diseño de humedal de flujo subsuperficial.....	70
6.2.1	Características del sitio.....	71
6.2.2	Datos de diseño.....	72
6.2.3	Cálculo y dimensionamiento.....	76
6.2.4	Construcción de humedal.....	78
6.2.5	Operación y Mantenimiento.....	82
6.3	Conclusiones y comentarios.....	83
6.4	Actividades en las cuales se tuvo participación.....	83
	Bibliografía.....	

1. Introducción

1.1 Servicio social comunitario

Para poder empezar a hablar y definir lo que es el Servicio Social Comunitario, habría que comenzar por definir que es Servicio Social.

Según nuestra propia universidad, el Servicio Social está definido como una actividad temporal y obligatoria que permite al estudiante¹

- Consolidar la formación académica.
- Llevar a la práctica los conocimientos adquiridos en las aulas.
- Tomar conciencia de la problemática nacional, en particular la de los sectores más desprotegidos del país.
- Extender a la sociedad los beneficios de la ciencia, la técnica y la cultura.
- Adquirir nuevos conocimientos y habilidades profesionales.
- Es además una oportunidad para: Retribuir a la sociedad los recursos destinados a la educación pública.
- Aprender a actuar con solidaridad, reciprocidad y a trabajar en equipo.
- Conocer y tener la posibilidad de incorporarse al mercado de trabajo.

Como podemos ver, el Servicio Social se puede definir como la actividad por medio de la cual se pretende reforzar los conocimientos adquiridos durante nuestra formación como profesionales a la vez que retribuimos a la sociedad todo lo que nos brinda.

Actualmente el servicio social esta visto como una carga más y un trámite engorroso para el alumnado, ya que debido a la malas experiencias que se viven dentro de las diferentes dependencias donde se realiza esta labor, el sentido y el objetivo que persigue esta acción se ha ido debilitando y perdiendo; por lo que se está viendo más como una obligación que como un compromiso.

En contraparte tenemos el llamado Servicio Social Integral Comunitario que desde su nombre nos habla del compromiso existente que hay con la sociedad y en este caso con las comunidades más desprotegidas de nuestro país.

1.2 Importancia del servicio social en las comunidades más desprotegidas, así como el desarrollo profesional y personal de los estudiantes

¿Por qué es importante el desarrollo del servicio comunitario? Como sabemos y mencionamos en párrafos anteriores, actualmente el servicio social está perdiendo la fuerza que debería tener, pero ¿por qué es que se está perdiendo dicha fuerza o interés?

¹ <http://www.dgoserver.unam.mx>

Actualmente la prestación de servicio se ha convertido en gran parte de los casos, en el desarrollo de actividades que para la gran mayoría de los estudiantes son monótonas, aburridas o simplemente no tienen que ver con su área de conocimientos.

Esto se debe a que las dependencias o empresas que ofertan la prestación de servicio social no están dispuestas a delegar responsabilidades a los estudiantes, ya que pueden llegar a generarles algún conflicto debido a la poca o nula experiencia que tiene el alumnado, por otra parte estas mismas empresas no están dispuestas a gastar recursos en la capacitación de los estudiantes, por lo que las actividades realizadas se podrían resumir como una gran pérdida de tiempo y de recursos humanos de gran importancia.

Por el contrario, el servicio social comunitario lo que busca es ese recurso humano que tanto hace falta, ya que nuestras comunidades más desprotegidas no cuentan con el asesoramiento de profesionales y tampoco con el apoyo de las autoridades correspondientes.

En este punto es donde el servicio comunitario toma la importancia que tanto merece, ya que en las comunidades se pueden desarrollar los proyectos que beneficien a la población y del mismo modo que beneficien al estudiantado, ya que el desarrollo de los proyectos corren a cargo de los estudiantes, muy bien cobijados y asesorados por profesionales en la materia.

De esta forma se comienza a tener un desarrollo integral de los estudiantes, ya que se practican conocimientos adquiridos en el aula y se adquieren conocimientos que no se muestran en clase y si además se beneficia una comunidad desprotegida, se cierra un círculo que genera un impacto muy positivo tanto en la comunidad como en el alumno.

1.3 Objetivo general

Por otra parte el objetivo de este trabajo es contribuir en mejorar la calidad de vida de esta comunidad mediante el tratamiento de aguas residuales y así disminuir la contaminación en los cuerpos de agua naturales, que además son usados para el riego de los terrenos de cultivo de la misma comunidad.

La alternativa de tratamiento de las aguas que se propone es mediante un humedal artificial, este sistema tiene como objetivo reproducir los mecanismos de eliminación de contaminantes de aguas residuales, que se dan en humedales naturales, todo de forma controlada y mediante procesos físicos, biológicos y químicos.

Un humedal natural lo podemos definir como sistema que se encuentra en la transición de un sistema acuático y un terrestre esto es posible en superficies planas que están inundadas de manera permanente o intermitente, en el pasado los humedales naturales fueron utilizados como un sistema de tratamiento pero debido a la saturación de nutrientes los sistemas fueron degradándose y desapareciendo.

2. Introducción sobre la problemática social y de infraestructura en la comunidad de San Francisco Acoculco en Chignahuapan estado de Puebla

2.1 Información general de la población

2.1.1 Marco histórico

Dado que no se encontraron fuentes primarias que describieran rasgos de la historia de Acoculco, se recurrió a la reconstrucción a partir de fuentes vivas, las cuales se constituyeron en informantes clave centrales.

Como producto del análisis de contenido se infiere que la fundación de San Francisco Acoculco, se remonta a la conformación del “Ejido de Alamedilla”, que circundaba la Hacienda de la familia Hernández, pues el hábitat de esta comunidad se encontraban en lo que ahora conocemos como Acoculco.

Con el paso del tiempo se destinó un amplio terreno para que habitaran los ejidatarios, pero este, entró en una disputa entre dos pueblos aledaños a esta región, uno de ellos era el pueblo de Acoculco y el otro era San Francisco. Durante algunos años siguió la discrepancia de la pertenencia del territorio, resultando como propietario el pueblo de Acoculco. A esto se le debe el nombre que actualmente tiene, San Francisco Acoculco.

Al inicio, no eran muchas viviendas ni habitantes, en 1930 era una ranchería con menos de 100 habitantes, con el paso del tiempo cada uno de los ejidatarios fue poblando el territorio. Su única ocupación económica siempre fue la agricultura y desde los pequeños, los jóvenes y los adultos se dedicaban por completo al trabajo de campo, muchos de ellos actualmente son adultos mayores que no tienen ningún nivel escolar y algunos tampoco saben leer ni escribir.

Las personas coinciden en mencionar que la familia Hernández era la que tenía mayores recursos económicos y por ende también eran propietarios de la mayor parte de los territorios existentes en la región. Con el paso del tiempo se fue diluyendo el interés por la agricultura y mucho menos por habitar en la hacienda, por lo que en la actualidad sólo quedan rastros de un casco de hacienda.

A decir de los informantes, antes de los años ochenta la agricultura era una actividad redituable, por lo que la mayor parte de la población no se veía en la necesidad de emigrar hacia otros lugares, solo que aproximadamente desde hace dos décadas esta actividad ya no es suficiente para tener acceso a los bienes y servicios básicos, es por

esto que el movimiento migratorio ha incrementado de manera importante en estos últimos años.²

Junto con el incremento de la población se fueron construyendo e instalando los bienes y servicios para hacer más fácil su adaptación a la vida en esta región. La primera construcción fue la primaria, después la secundaria, años más tarde el kínder y por último el bachillerato. Para poder habilitar estos espacios fue necesaria la gestión de la comunidad ante las autoridades municipales.

Durante el siglo pasado se construyeron las dos iglesias principales. La primera fue la iglesia de la Virgen del Carmen, que se encuentra cerca de la hacienda y posteriormente se construyó la iglesia de la Virgen de Guadalupe, que se encuentra en el centro del pueblo.

En 2002 se comenzó con la pavimentación e instalación de la capa asfáltica para la creación de las dos principales carreteras que sirven como medios de comunicación entre Acoculco - Chignahuapan y Acoculco -Tulancingo. Comentan que anteriormente las carreteras no existían, ya que todo era monte, por lo que la manera más fácil y al alcance de las personas para trasladarse de un lugar a otro era por medio de los animales, principalmente los caballos, lo cual hacía que los viajes fueran de varias horas.

En la década de los ochenta se realizó la instalación de la luz y hace 17 años la instalación del servicio de agua potable. Estos dos servicios también fueron resultado de las gestiones realizadas gracias a la organización comunitaria. En 2008 inicio la introducción formal de la red de drenaje. A decir de los informantes, los apoyos proporcionados por el municipio son administrados por la misma población de la comunidad y ellos mismos son los que han trabajado en cuestiones de construcción para lograr tener los bienes y servicios con los que actualmente cuentan.

Otras cuestiones que han caracterizado la historia de esta comunidad es que desde 2003 se vincula a la comunidad con el municipio a través de lo que se conoce como Presidencia Auxiliar, la cual surge de elección directa, esta figura tiene un encargo por tres años, por lo que hasta ahora han tenido tres presidencias auxiliares.

2.1.2 Dimensión físico ambiental

Cartografía

San Francisco Acoculco se localiza a 24kms de distancia de la cabecera municipal y es una más de las 158 localidades que componen el municipio de Chignahuapan, Estado de Puebla; sus colindancias son:

Norte: San Miguel Pedernales.

Sur: San Claudio y Paredón.

² Entrevistas realizadas a: C. Antonio Amador Hernández, C. José Pánfilo Jacobo Galeote Domínguez y C. Epifanio Galeote Cerón. Octubre- Noviembre 2012.

Este: San Francisco Terrerillos y Corral Blanco.

Oeste: Comunidades pertenecientes al Estado de Hidalgo.

Composición

De acuerdo a las cifras publicadas por el INEGI, el número de habitantes registrados en 2012 se encontró en 1,588, que distribuidos por género dan 806 hombres y 782 mujeres. Aocolco se encuentra enclavado a 2'750 mts sobre el nivel del mar. Es una de las siete Juntas Auxiliares³ que tiene incidencia en 10 comunidades.

1. Aocolco	5. San Francisco Terrerillos, Regidor	9. El Cristo
2. Potrerillos, Regidor	6. Jonuco Pedernales, Regidor	10. La Joya
3. San José Corral Blanco, Regidor	7. San Miguel Pedernales	
4. El Eco	8. La Soledad	

Extensión territorial

De acuerdo a la información contenida en el diagnóstico de salud elaborado por el pasante de medicina durante el periodo 2011-2012 el Aocolco tiene una extensión territorial de 67,2 km^2 ; que corresponde a 672 hectáreas.

En esta extensión se localizan tierras de cultivo y pastoreo además de la parte urbana donde habita la mayoría de su población, es decir las viviendas ocupan 58 manzanas que forman parte de 13 calles en forma horizontal y 10 de manera vertical, se muestra un plano esquemático de la vista en planta de dicha distribución, este plano fue realizado por los compañeros de arquitectura en el periodo 2011 - 2012. (Ver figura 1)

³ C. Elmer Amador Esquivel. Habitante de 24 años, electo por la población Aocolco de hace un año y medio que está a cargo de la presidencia auxiliar.



1 Plano vista en planta de la distribución de calles, elaborado por los compañeros de la Facultad de Arquitectura

Carreteras y caminos

Para realizar el recorrido de 24 Km a Chignahuapan, la localidad de Acozulco cuenta con una carretera principal que desde 2002 tiene una carpeta asfáltica, otra vía de comunicación alterna terrestre se encuentra ubicada en el oeste, comunicando a esta localidad con el Estado de Hidalgo, 15km de terracería y 20km de carpeta asfáltica.

2.1.3 Clima

En esta zona prevalece un clima de templado a frío, está determinado en 2 divisiones dentro de las máximas y mínimas. Vale decir que tiene un clima particular porque casi siempre sopla un viento frío y en un día puede cambiar en varias ocasiones el clima, va de muy soleado a un espacio cubierto por niebla y frío. La temperatura media anual es de 12 grados centígrados.

Primavera-verano: templado.

Otoño-invierno: frío.

Durante el verano-otoño predominan intensas lluvias, y numerosas heladas en los meses de diciembre-febrero.

Es importante señalar que en los últimos años las heladas han propiciado estragos en la cosecha y en la salud pues las temperaturas se ubican bajo cero grados.

2.1.4 Servicios Públicos

Transporte

Para desplazarse al exterior, los habitantes cuentan con un servicio cubierto por una línea particular que otorga transporte con dirección a Chignahuapan desde las 7:00 horas y cada hora hasta las 19:00 horas. Para apoyar a la población por ser día de tianguis en Chignahuapan, los domingos y martes salen cada media hora y conservan el mismo rango de tiempo. Al momento del estudio el costo por viaje y por persona es de \$19.00 M.N. Respecto al transporte hacia Tulancingo está a cargo de la línea cooperativa de autotransportes de Cuahutepec del Estado de Hidalgo; esta línea cobra \$90.00 M.N. y realiza tres recorridos los cuales pasan por Aocolco con dirección a Tulancingo Hidalgo viniendo de pedernales los, horarios son aproximados se encuentran entre las 9:00am y 16 horas.

El tipo de transporte que utilizan con mayor regularidad las personas para salir y regresar a la comunidad es el transporte urbano (combi). Aunque también existen personas que utilizan sus automóviles particulares, al respecto podemos mencionar que en su mayoría cuentan con camionetas, combinan su uso, es decir transporte de personas, de enseres, animales o cualquier objeto que requiera ser trasladado de un lugar a otro.

Abastecimiento de agua y energía eléctrica

La localidad de Aocolco es provista por una red de agua potable proveniente de un pozo público el cual cuenta con un sistema de cloración automático y mantenimiento permanente pues una persona es la encargada del funcionamiento y seguridad. También existen personas que hacen uso de sus pozos, los cuales se encuentran dentro de los predios y les permiten abastecerse de agua en el momento que ellos la necesiten.

La mayoría de la población cuenta con el servicio de energía eléctrica intradomiciliaria y la parte central con alumbrado público, solo que en temporada de lluvias el servicio es suspendido constantemente, debido a lo peligroso que resulta para el funcionamiento del transformador y para los habitantes de la misma comunidad.

Es importante señalar que estos dos servicios están interconectados, es decir cuando falta energía eléctrica tampoco hay agua.

Servicio de drenaje

En lo que compete a la red de drenaje, este servicio abastece a los predios que se encuentran en la parte central de la comunidad, aunque es necesario decir que algunas viviendas no se encuentran conectadas a este servicio, ya que no tienen los recursos económicos suficientes para cubrir la cuota de conexión a este servicio, la cual es de \$280.00M.N.

La parte territorial que ya se encuentra con este servicio equivale a un 90% de la obra en su totalidad, solo que en los casos de las casas que se encuentran a las orillas de la comunidad, no tienen aún este servicio, lo que les obliga a utilizar medios como la letrina y fosa séptica para el manejo de excretas.

En el año 2012 se dio por terminada la 4ta etapa de la ampliación del drenaje, lo que significó una inversión de \$2, 200, 00000 M.N. La 5ta y última etapa se está planeando realizar para el presente año, esto con la colaboración de dependencias como “CONAGUA”, para que se puedan autorizar los recursos y dar comienzo con la administración de los mismos. Otro servicio que se encuentra relacionado con el drenaje es la Fosa Séptica, misma que en la actualidad ya no cumple con la función principal, que es el de dar tratamiento a las aguas negras de la comunidad, ya que a falta de mantenimiento, así como la mala planeación, estructuración y construcción de la misma, esta se encuentra en desnivel, lo que provoca que haya un desbordamiento de las aguas negras.

2.1.5 Principales actividades económicas

Agricultura

La principal actividad económica en la región es la agricultura, se cosechan principalmente productos como: maíz, hebo, haba, cebada, chícharo y en ocasiones avena.

Las medidas aproximadas de las propiedades ejidales o privadas varían de 1 a 10 hectáreas, las cuales se dividen en partes proporcionales para productos como el haba, chícharo y avena; mientras que la mayor parte del terreno es destinado a la cosecha del maíz o hebo para rastrojo.

El cultivo de maíz tiene todo un proceso, inicia con la preparación del suelo que tiene una duración de 2 meses, se prosigue con la siembra de la semilla, lo cual se realiza en 12 días y 8 meses después se cosechan los productos.

Como resultante de este proceso se pueden acumular entre 600 kilos ó dos toneladas de maíz por hectárea; mientras que en el caso de productos como el haba, chícharo, avena o cebada se pueden recolectar entre 50 o 300 kilos por hectárea.

Es por esto que no se contemplan estas cantidades de producto para su comercialización y la producción resultante solo es utilizada para autoconsumo. En muy pocas excepciones

se pueden vender por kilo, pero la ganancia no es suficiente, ya que por día los productores pueden ganar \$100.00, mismos que no son continuos. Algunas personas, cuentan con pequeños huertos de traspatio en donde también pueden tener a su alcance productos como lechuga, cilantro, chiles y cebollas.

Producción animal

Otra opción de la que obtienen ingresos es de la crianza de animales, cada especie tiene una utilización distinta.

Entre la variedad de animales domésticos se pueden incluir las aves de corral, los équidos, los ovinos, los perros y gatos.

El tipo de aves de corral que predominan en esta región son los guajolotes, gansos y gallinas. Estas aves se encuentran en libertad absoluta y podemos encontrarlas en todo el terreno o en las calles aledañas. Estas se crían para ser vendidos cuando existe escases de ingresos o también son utilizadas para el autoconsumo en ocasión de algún evento familiar.

Los équidos, dentro de los cuales podemos incluir caballos y burros, son utilizados como medio de transporte o para realizar trabajos como la carga de la cosecha y madera. Cuentan con espacios específicos, en donde los guardan y tienen a su alcance alimento y agua.

Los lugares destinados para la guarda y protección de estos animales, se construyen con tablas de madera, alambrado y paja. Ahí mismo se les acondiciona lugares en donde puedan comer.

Esta como otras localidades aledañas se caracterizan por la crianza de ovinos. Los rebaños de ovejas se encuentran conformados en su mayoría por más de 10 animales. Estos cuentan con un espacio específico para dormir y durante el día son dirigidos hacia las zonas de pastoreo para que puedan comer, en este caso los perros cobran gran importancia porque se usan para arriarles. La utilidad que les dan es la venta de carne en la comunidad o cuando hay alguna celebración las utilizan para autoconsumo. En algún momento se apoyó la transformación de la lana pero al descomponerse las máquinas esta práctica se abandonó

Los perros abundan en cada familia, tienen manadas de 5 a 13 perros. Estos animales no tienen un lugar específico en donde se puedan refugiar ante las inclemencias del tiempo, se encuentran en la intemperie y su alimento se compone de los sobrantes de las comidas y tortillas. Son maltratados y es evidente su deficiente nutrición. Otra utilidad frecuente que le dan a los perros es para la cacería, ya que en esta región se acostumbra ir a cazar conejos, por lo que cada vez que realizan esta actividad los perros son utilizados como rastreadores, se cotizan en función de sus habilidades.

Para las personas, tiene un gran importancia la raza de los perros, ya que si son de "buena raza" significa que tienen una utilidad e importancia, pero si consideran que los

perros no son “finos”, el descuido y abandono forma parte del estilo de vida de estos animales, al grado de llegar a la muerte.

Los gatos son animales que muy pocas personas tienen en casa y no hay ningún trato especial y viven afuera de las casas.

Otras actividades

Hay personas que al ver que el trabajo de campo ya no es redituable, debido a los escasos ingresos y a las heladas que han afectado la producción agrícola durante los últimos tres años, han explorado en otros oficios como por ejemplo; ayudantes de albañilería o albañiles, esto, en el caso de los hombres; mientras que las mujeres laboran como domésticas. Los menos instalaron negocios como abarrotes o misceláneas, carnicerías, pollerías, papelerías, venden en sus casas diversos tipos de golosinas o “antojitos” como chicharrones preparados, donas o sopas “maruchan”.

En el caso específico de las personas que trabajan como albañiles, realizan trabajos para sus propios vecinos. Las personas que deciden trabajar como ayudante de albañilería acuden a trabajar a Chignahuapan o a la Ciudad de México. Durante toda la semana viven en la ciudad y los fines de semana aprovechan para regresar a su comunidad. Lo mismo sucede con las mujeres que laboran como domésticas.

Cuando las personas deciden emigrar, principalmente a los Estados Unidos, laboran como cortadores o recolectores de verduras en el campo. También como meseros o *Valet Parking*.

Este tipo de actividades permiten que algunas personas puedan tener más opciones de ingresos económicos y les posibilita la ayuda a sus familiares.

En otros casos, las personas que ya son adultas mayores o que han sufrido algún tipo de accidente, reciben a poyo de sus hijos por medio de la compra de despensa, alimentos y ropa, pero también reciben el apoyo económico que los programas estatales o federales les otorgan.

Mención aparte merece el grupo familiar de fresa, conformado por 10 personas, ya que son los únicos productores de fresa en la región. Ellos han podido crear una nueva producción agrícola y una nueva fuente de ingresos para su sobrevivencia ante la crisis laboral y económica que predomina en la comunidad.

2.2 Visita de reconocimiento a la comunidad

En las diferentes visitas que se realizaron, se pudieron ver una serie de aspectos de infraestructura que nos dieron una idea más clara de lo que es la comunidad.

Se cuenta con caminos de terracería los cuales debido a las lluvias y al tránsito de los autos a sufrido un gran deterioro por lo que se encuentran en mal estado, por otra parte la

misma topografía del terreno hace que algunas zonas sean casi intransitables, tal y como se muestra en la siguientes imágenes.



FIGURA 2 ESTADO ACTUAL DE LOS CAMINOS, ACOCULCO.

En cuanto al agua potable, se abastecen de un pozo que va a dar a un tanque elevado (figura 3) que posteriormente abastece toda la comunidad con un gasto promedio de 150 lts/hab/día⁴, según datos de la secretaria de obras públicas del municipio.



FIGURA 3 TANQUE ELEVADO QUE ABASTECE LA COMUNIDAD, ACOCULCO.

⁴ Datos obtenidos en planos del departamento de obras públicas del Municipio.

Por otra parte se tienen la problemática del manejo de la basura, esto debido a que las personas la tiran en cualquier lugar y sin reparar en el daño que se pueda causar, a pesar de que se cuenta con el servicio de recolección de basura el cual da servicio una vez por semana.

Es necesario comenzar a tomar cartas en el asunto ya que el tirar la basura esta causando problemas tanto en el aspecto de la comunidad como en la red de drenaje, esto debido a que mucha de la basura va a dar a los pozos de visita y esta a su vez a la Fosa de Oxidación o se queda atascada dentro de la red que la abastece.



FIGURE 4 CONTAMINACIÓN POR BASURA EN LA COMUNIDAD DE ACOCULCO.

La Fosa de Oxidación antes mencionada se ha convertido en el gran problema dentro de esta comunidad, esto debido a que no está en funcionamiento, esto se debe a la falta de mantenimiento y de una mala construcción esto según comentarios de la población, por lo que se nos solicita realizar un análisis de la misma y determinar la solución a esta problemática.

2.3 Propuestas de acción inmediata para mejoramiento de la comunidad

Lo comentado anteriormente nos lleva a la conclusión de que se deben realizar diferentes acciones dentro de la comunidad, pero teniendo muy en cuenta que la opinión y sugerencias de la comunidad sobre que problemáticas son las que más afectan es lo que al final nos dará la pauta hacia qué proyectos son mas inmediatos e importantes.

En cuanto a la problemática de los caminos se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

- Gestionar con el municipio una re nivelación, o un bacheo en sus caminos ya muy deteriorados.

- Además darle mantenimiento y en algunos casos construir de forma correcta las cunetas que transportan el agua de lluvia, que en gran medida es lo que afecta los caminos.
- Comenzar la gestión y proyección de una obra de pavimentación de las calles principales y de acceso a la comunidad.

Por otra parte, en cuanto al problema de la basura, se recomienda:

- Realizar campañas de concientización y sensibilización de la población en cuanto al manejo correcto de los desperdicios.
- Invitar a la población, mediante la junta ejidal a realizar faenas para la limpieza de sus calles y riachuelos.

Finalmente se tiene la problemática de una Fosa de Oxidación que da tratamiento a las aguas residuales de la población y de su red de drenaje que capta dichas aguas.

Las autoridades de la población pidieron la intervención de la Facultad de Ingeniería para poder solucionar esta gran problemática, ya que actualmente dicha fosa no está en funcionamiento debido a que se encuentra “taponeada” en algún punto de su tren de tratamiento, lo cual ha dado como resultado el desvío de las aguas, por lo que actualmente no están siendo tratadas las aguas residuales y se está contaminando un cauce natural.

En este momento la Fosa está llena en más de $\frac{3}{4}$ partes de su capacidad, lo cual es grave problema ya que se tienen que idear la forma de darle tratamiento a los lodos que están estancados dentro de la fosa, todo esto sin perjudicar el medio ambiente.

En el siguiente capítulo se explica de manera más detallada la problemática del drenaje así como de la Fosa, así como algunas propuestas de solución.

3. Sistema de alcantarillado y fosa de oxidación, observaciones y propuestas de mejoramiento

3.1 Objetivos y alcances

Objetivos:

- Hacer un análisis de la problemática de estos dos sistemas.
- Dar las recomendaciones necesarias para poder aprovechar al máximo los beneficios que dan.
- Rastrear la información en cuanto a los parámetros de diseño de la Fosa, ya que no se cuenta con planos de diseño.
- Concientizar a la población de la importancia de mantener y cuidar estas obras.

Alcances:

Obtener los parámetros con los que fue diseñada y con los que se operaba la fosa.

Realizar propuestas para la sensibilización de la comunidad para con esto poder conservar los proyectos realizados dentro de la comunidad, en este caso la fosa y el alcantarillado.

3.2 Análisis del sistema de alcantarillado

A continuación realizaremos una revisión y análisis de la situación actual del sistema de alcantarillado, además se realizarán las recomendaciones necesarias para su mejor funcionamiento.

3.2.1 Estado actual de la obra

El sistema de alcantarillado del poblado de Acoculco, fue planeado para que se llevara a cabo en 5 etapas, hasta el momento se ha realizado la etapa número 4.

Para poder tener un panorama más amplio del estado actual de dicha obra, lo que se hizo fue un recorrido en el cual se abrieron algunos de los pozos de visita para con esto corroborar que su funcionamiento es el adecuado.

Los pozos que fueron abiertos se seleccionaron de acuerdo al plano, con base en este se determinaron los puntos críticos y de esta forma se eligieron los pozos que se abrirían, en la figura 4 se muestran.

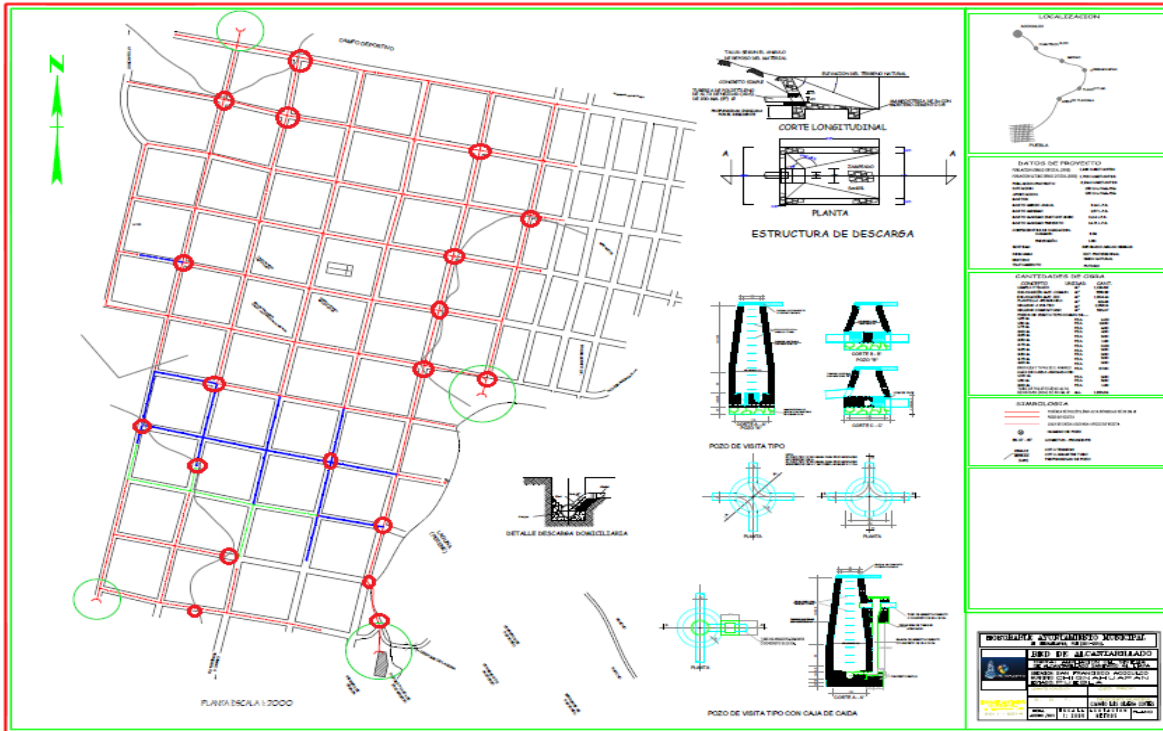


FIGURA 4 POZOS DE VISITA QUE FUERON ABIERTOS PARA SU REVISIÓN.

Primeramente lo que se pudo observar, es que como los caminos son de terracería, la gran mayoría de los pozos se encuentran cubiertos por tierra, lo que dificulta su ubicación y por ende la apertura de los mismos, tal y como se muestra en la imagen siguiente.



FIGURA 5 ESTADO ACTUAL DE LOS POZOS DE VISITA.

Después de la apertura de los pozos, lo que se pudo observar, es que en muchos de los casos el drenaje está casi seco, lo cual es un indicio de que la obra no está en uso en algunas de sus partes, esto lo pudimos corroborar después de hacer visitas a algunas de las casas.

Los pobladores comentan que esta obra está mal hecha desde un principio, aunque al preguntarles si saben cuál es ese error, no saben decir a que se deba, pero no están dispuestos a conectarse al drenaje hasta que les den alguna prueba de su buen funcionamiento, estas dudas son alimentadas por el mal estado de la Fosa de Oxidación (tema que se tratará más adelante).

Como se muestra en la figura 6, se puede ver que el pozo de visita está casi seco, lo cual nos habla de que poca gente se ha conectado, la comisión del drenaje también comenta que muchas de las viviendas ya cuentan con su registro lo único que hace falta es que las familias hagan su conexión al drenaje, únicamente llevando el tubo de descargas al registro, lo cual es una actividad de lo más sencilla y barata.



FIGURA 6 APERTURA Y REVISIÓN DEL DRENAJE.

Después de hacer el recorrido y la apertura de los pozos, se revisó el expediente técnico del alcantarillado, en el pudimos obtener algunos datos relevantes, a continuación se enlistan dichos datos.

DATOS DE PROYECTO	
Sistema	separado
Dotación	150 lts/hab/día
Aportación	120 lts/hab/día
Población de diseño	2264 habitantes
Q med. Anual	3.14 lps
Q max inst.	3.54 lps
Q max extra.	16.71 lts
Coef. De variacion.	

Harmon ⁵	3.54
Previsión	1.5

Además del expediente, se pudo revisar el plano, de estos planos podemos sacar algunos puntos importantes y de gran interés, a continuación se enlistan:

- En primer lugar se pudo ver que dentro de su diseño, se tienen contemplados 4 puntos de descarga, tal y como se muestra en la figura 7.

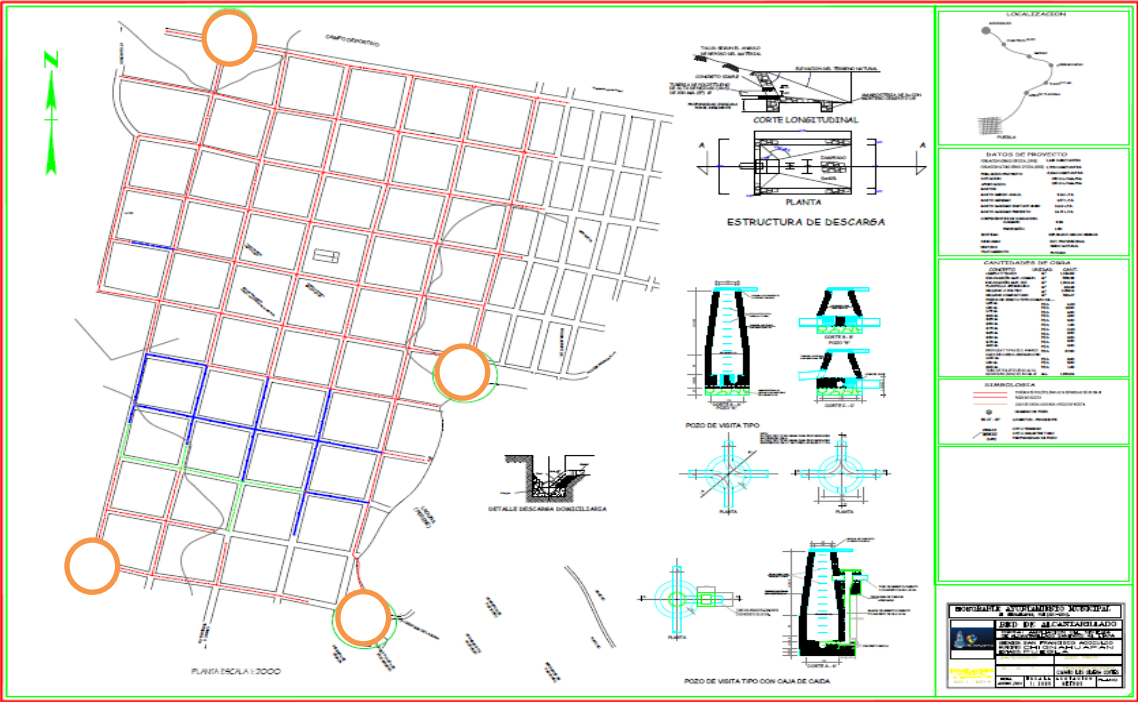


FIGURA 7 PUNTOS DE DESCARGA CONSIDERADOS EN EL DISEÑO.

- El tener 4 puntos de descarga contemplados, puede ser un gran problema ya que no se puede tener el control de todas las aguas residuales de manera sencilla, tal y como es actualmente, ya que ni las autoridades de la comunidad ni tampoco la comisión del drenaje estaban enteradas de dichas descargas.
- Aunque también cabe mencionar que estos puntos de descarga son considerados debido a la topografía de la comunidad, esto hace que el diseño tenga que contemplar dichas descargas.
- Posterior a la revisión del plano lo que se procedió a hacer fue la visita y corroboración de lo que se tiene en papel.

⁵ El coeficiente M de Harmon se utiliza en el cálculo de Q Máximo Horario para poblaciones de más de 1.000 habitantes.

Como se mencionó se hizo el recorrido para corroborar la existencia de las descargas, además para con esto saber a dónde van a dar las aguas que se descargan en estos puntos.

Después de hacer dicho recorrido, solo pudimos encontrar 2 de las 4 descargas marcadas, una correspondiente a la fosa y una más que va a dar a un pozo de visita que no tienen ningún tipo de salida y que además ya presenta filtraciones del agua que llega y que no tienen salida alguna, tal y como se muestra en las imágenes siguientes.

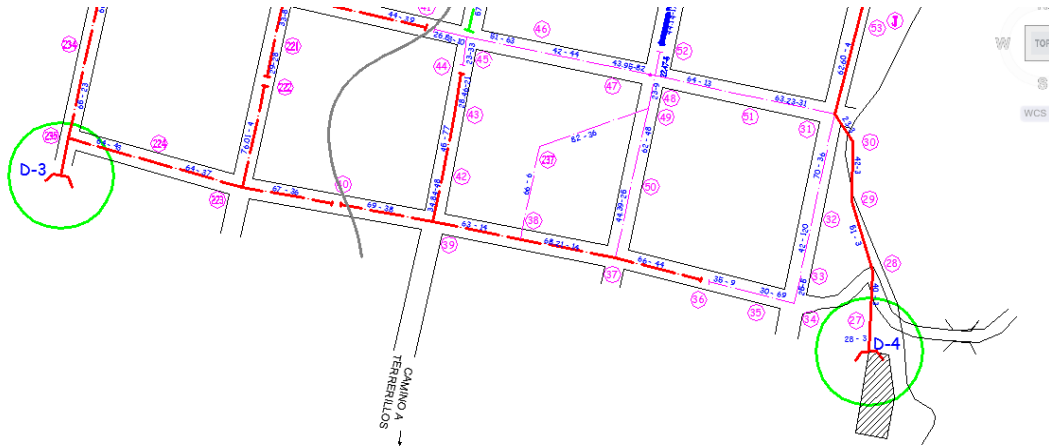


FIGURA 8 PUNTOS DE DESCARGA EXISTENTES.



FIGURA 9 ESTADO ACTUAL DE LA DESCARGA D3

Esta situación es un poco delicada debido a que se tiene que comenzar a pensar en soluciones más globales, ya que por el momento solo se tiene un sistema de tratamiento (actualmente fuera de funcionamiento) para un solo punto de descarga (D4).

Por otra parte también se pudo corroborar que la red de drenaje se encuentra incompleta, ya que hacen falta tramos de tubería que no fueron instalados, estos tramos que hacen falta, son los que alimentan las 2 descargas que aún no han sido construidas, tal y como se muestra en la comparativa siguiente.

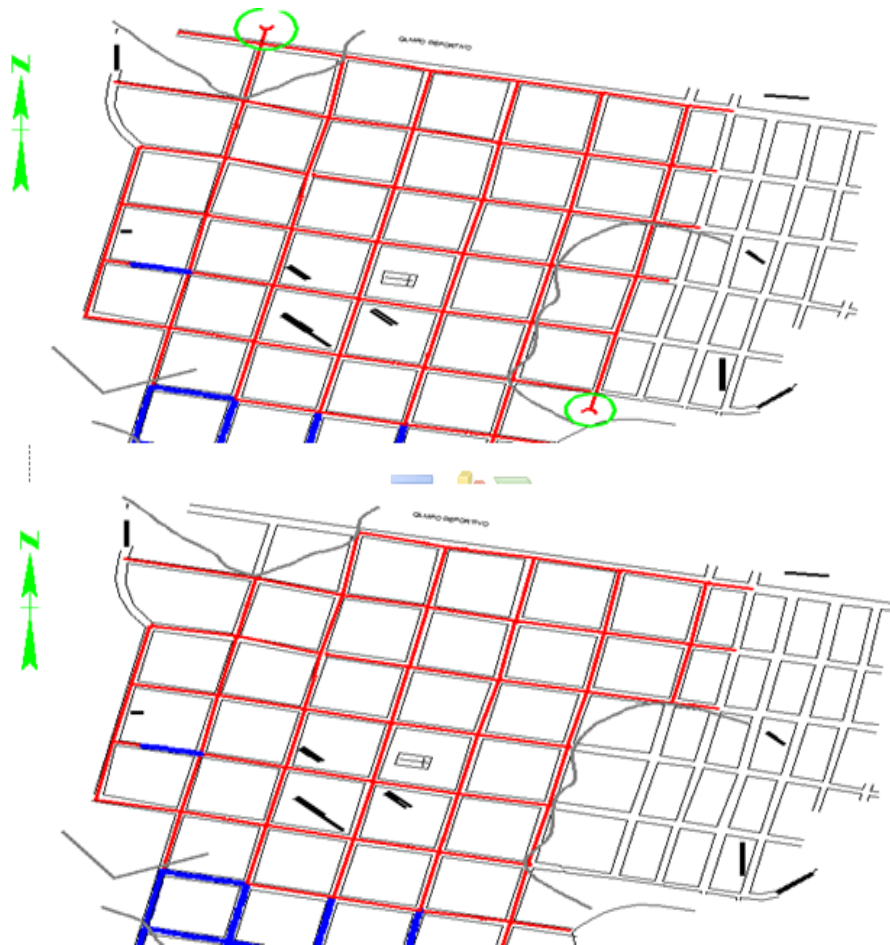


FIGURA 10 SE MUESTRA EN LA PARTE DE ARRIBA, LO QUE DEBERÍA ESTAR CONSTRUIDO Y EN LA PARTE DE ABAJO LO QUE REALMENTE SE HA HECHO.

3.2.2 Recomendaciones y propuestas de mejoramiento

- Primeramente, lo que hay que hacer es solucionar la problemática de los puntos de descarga que se tienen contemplados y de los que actualmente se tienen construidos.

Para poder solucionar la problemática de las descargas ya existentes es necesario empezar a buscar alternativas más globales, como puede ser una planta de tratamiento de aguas residuales, que incluya la comunidad donde actualmente se trabaja así como las comunidades aledañas para con esto llegar a las soluciones globales que se buscan.

Por otra parte es necesario comenzar el análisis de la quinta etapa del drenaje y así con esto dar soluciones que no sigan afectando y empeorando las problemáticas existentes, esto podría ser mediante la eliminación de las descargas que se tienen previstas y dejando únicamente las que ya existen.

- Posterior a lo planteado en el punto anterior, es de suma importancia realizar una campaña de concientización en la cual se les explique a los pobladores la importancia del cuidado de estas obras, además dentro de esta campaña es fundamental invitar a las personas a conectarse al drenaje, ya que como pudimos constatar en el recorrido que se hizo, una gran parte de la población no quiere conectar su drenaje debido a la desconfianza que hay en el funcionamiento de dicha obra.

Pero es necesario que estas acciones sean realizadas después de haber hecho todo lo planteado en el punto anterior, ya que si no se hace de esta forma lo único que se conseguirá es que el problema de la fosa como del drenaje se agudice de gran manera

3.3 Análisis de la fosa de oxidación

Al igual que se hizo con el alcantarillado, se realizó el análisis y revisión física de la fosa de oxidación, para con esto corroborar los datos obtenidos en el rastreo de la información.

Primeramente cabe destacar que no se cuentan con planos que puedan proporcionar las especificaciones de diseño, como es el gasto de diseño, gasto máximo, tiempo de retención, etc.

3.3.1 Estado actual de la fosa

Actualmente la fosa se encuentra fuera de funcionamiento ya que después de haberse puesto en marcha en 2008, no se le dio ningún tipo de mantenimiento, ni tampoco se dejaron instrucciones de operación, además la propia población ayudo en el deterioro de la obra, esto debido a que se arrojó basura dentro de la fosa, esta serie de circunstancias finalmente dio como resultado el taponamiento de la misma y a su vez el derramamiento de los desechos por las compuertas de ventilación y acceso a la fosa.



FIGURA 11 ESTADO ACTUAL DE LA FOSA.

Al darse el derramamiento de los desechos, lo que se hizo fue el desazolve de manera parcial, ya que la fosa se encuentra a un 80% de su capacidad, aproximadamente.

Para poder realizar un análisis correcto del estado de la obra, lo que se hizo fue rastrear la mayor cantidad de información posible, esta acción se complicó debido a que como se mencionó en líneas anteriores, no se cuenta con ningún tipo de plano, pero lo que sí se pudo encontrar fue el expediente técnico de esta obra.

Al hacer la revisión de dicho expediente nos pudimos encontrar información muy valiosa, pero a su vez también el mismo expediente contaba con contradicciones, lo cual dificultó el definir qué es lo que realmente se tiene construido, ya que en un principio el expediente maneja la construcción de un tanque Imhoff, un tanque de contacto de cloro, rejillas, cárcamo de bombeo, entre otros aditamentos. Lo que realmente se tiene es una fosa de oxidación de dos cámaras, desarenadores, filtro a gravedad y tanque de retrolavado, a continuación se muestra un diagrama del tren de tratamiento, cabe destacar que la profundidad que se tiene en la fosa es de 2 metros en todo el sistema.

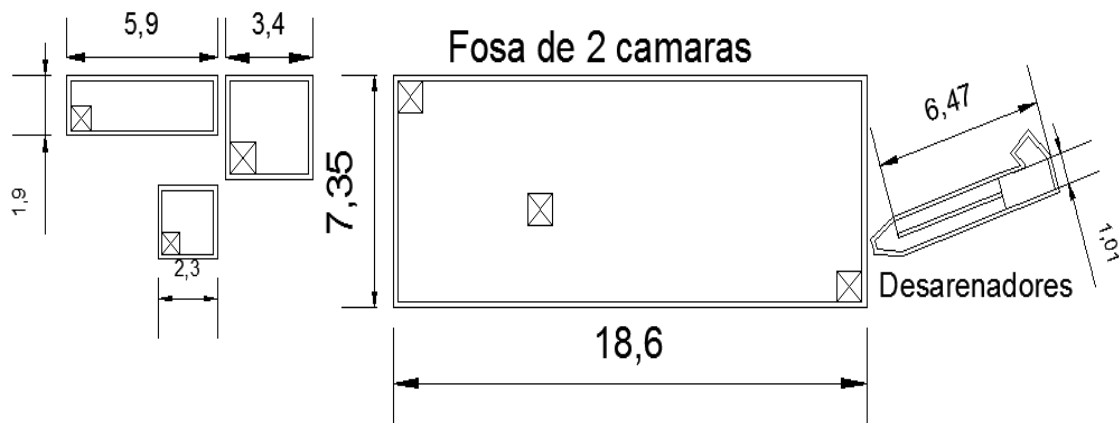


FIGURA 12 DIAGRAMA DE LA FOSA, COTAS EN METROS.

Además de las problemáticas que aquejan a la fosa, también se tienen problemas en los demás componentes del tren de tratamiento.

En los canales desarenadores, se tiene el problema de la basura, ya que al ser a cielo abierto están muy propensos a cualquier tipo de daño, por otra parte, las compuertas que controlan el gasto de entrada se encuentran prácticamente inservibles, ya que como lo comentamos están al aire libre y expuestos a los daños que el mismo medio puede causarles, como lo es el óxido causado por la lluvias y el mal manejo que les pueda dar, tal y como se muestra en la imagen siguiente.



FIGURA 13 ESTADO ACTUAL DE LOS CANALES DESARENADORES Y COMPUERTAS

Por otra parte se encuentran los filtros de materiales granulares, los cuales se encuentran inservibles, esto es porque se encuentran “taponeados” debido a las circunstancias que ya comentamos antes.

Finalmente, tenemos el problema principal, este es, el que hacer con los lodos que se encuentran estancados dentro de la fosa, este tema será desarrollado en el último capítulo.

3.3.2 Recomendaciones y propuestas de mejoramiento

- Primeramente, para evitar el daño o afectaciones que se le pueda dar a esta obra por parte de los habitantes, es necesario aislar la fosa, mediante algún cercado y que solo personal autorizado y capacitado pueda tener acceso y así con esto controlar este tipo de daños.
- Posterior al aislamiento, es necesario el desazolve de la fosa, siempre y cuando se le dé un tratamiento correcto a los lodos que se extraen, minimizando al máximo el impacto que se pueda tener en la población y en el medio ambiente.
- Después del vaciado de la fosa, es necesario realizar las mediciones correctas para con esto obtener las dimensiones reales de la obra y con base en esto

determinar el gasto de diseño, tiempo de retención, etc. Al tener estos datos se podrá saber si esta obra fue diseñada de manera correcta y así determinar si se puede seguir operando o bajo que condiciones debe o puede ser operada.

- Finalmente, se hará un levantamiento del estado físico de cada uno de los elementos que componen el tren de tratamiento, y si es necesario algún cambio, remodelación o cambio completo de alguno de los elementos.

4. Alternativas de solución para el tratamiento de los lodos activados y las aguas residuales

4.1 Introducción

El tratamiento de las aguas se ha vuelto de vital importancia para la humanidad, debido a la escasez de agua potable que se ha ido incrementando en las últimas décadas, este tratamiento genera residuos en su gran mayoría dañinos para el medio ambiente, por lo que no solo el tratamiento de aguas es importante si no también el tratamiento de los residuos producto de esta actividad, estos residuos son los llamados lodos activados.

Como sabemos los lodos son una mezcla entre sólidos suspendidos y agua, generalmente con un olor desagradable y un contenido de organismos por lo general muy nocivos para el medio ambiente, aquí es donde radica la importancia de su tratamiento ya que al ser nocivos para el medio ponen en riesgo la salud de las personas así como de su entorno.

El tratamiento de los lodos consiste únicamente en eliminar la humedad de los sólidos, que cabe señalar en su mayoría es agua lo que se tiene en esta mezcla, además de quitar los malos olores y estabilizar los patógenos que los integran y de esta manera poder ser depositados al medio ambiente, anulando casi al 100% su impacto.

Cabe mencionar que existen diferentes tipos de lodos, estos varían de acuerdo al tipo de tratamiento que se le da a las aguas residuales, los podemos clasificar en 3 grupos:

- Lodos primarios.
- Lodos biológicos.
- Lodos químicos.

Teniendo muy en claro esto podremos elegir la mejor forma de dar el mejor tratamiento.

4.2 Objetivos y alcances.

Objetivos:

- Determinar la mejor opción de tratamiento para los lodos, de acuerdo a las propuestas realizadas.
- Hacer la ingeniería básica para cada propuesta de tratamiento de lodos, todo con base a lo establecido en las normas oficiales mexicanas.
- Además del proyecto ingenieril se pretende realizar campañas de concientización dentro de la comunidad, esto con la intención de que la población esté enterada de la importancia de su participación además de los beneficios que se les genera.

Alcances.

- Obtención de información y parámetros importantes, que constituyen un punto importante en el tratamiento de los lodos.
- Involucrar en primera instancia a las autoridades de la comunidad en el desarrollo de campañas de concientización para posteriormente que la población se vaya sumando en dicha propuesta.

4.3 Definición y tipo de lodos activados.

Los materiales sólidos y semisólidos removidos del agua residual en plantas de tratamiento son considerados como lodos. Los residuales orgánicos del tratamiento primario y secundario constituyen la mayoría de los lodos, pero también incluyen arena, natas y sólidos del cribado.

Primeramente se presenta una definición de lodos activados, para con esto tener muy presente como es que están conformados.

Los materiales sólidos y semisólidos removidos del agua residual en plantas de tratamiento son considerados como lodos. Los residuales orgánicos del tratamiento primario y secundario constituyen la mayoría de los lodos, pero también incluyen arena, natas y sólidos del cribado.

La producción de lodos en los procesos unitarios típicos dependerá del porcentaje de aportación industrial, basura molida, el uso de químicos, control del proceso, cargas pico y condiciones climatológicas (1). Los tipos de lodos incluyen:

- Lodo Primario.
- Lodo Biológico.
- Lodos Químicos⁶.

Además el tratamiento de lodos se puede resumir en los siguientes pasos o procesos:

- Concentración.
- Digestión.
- Deshidratación y secado.

De acuerdo al nivel de tratamiento que se le dan a las aguas residuales son las características de los lodos residuales; en el caso de una planta de tratamiento se tienen

⁶ *Guía para el manejo, tratamiento y disposición de lodos residuales de plantas de tratamiento municipales, CONAGUA.*

los lodos que provienen de la sedimentación y los provenientes del tratamiento biológico de las aguas residuales.

Los primeros están compuestos principalmente de arena y material orgánico que son fácil de sedimentar, los segundos están compuestos en su mayoría de biomasa.

En este trabajo nos vamos a concentrar en los lodos provenientes de una fosa séptica; estos lodos tienen una composición orgánica muy variada, con grandes cantidad de grasa, arena, cabello; el olor y aspecto es muy desagradable. Este tipo de lodos son difíciles de manejar y tratar, el mal manejo y tratamiento puede ser causa de enfermedades en la población, de ahí la importancia de realizar una tratamiento adecuado a las aguas residuales y en especial a los lodos activados.

4.4 Propuestas de solución, para el tratamiento de los lodos

A continuación se presentan los principales tipos de tratamiento que se le dan a los lodos activados, ya que como sabemos este tipo de material es muy dañino para el medio ambiente, por lo que antes de ser arrojados al medio ambiente hay que realizarles un tratamiento, con el fin de estabilizarlos y así el impacto sea casi nulo.

4.4.1 Deshidratación

Este método consiste en aumentar la concentración de sólidos suspendidos, dicho de otra forma, consiste en quitar la mayor cantidad de agua a los lodos. Esto lo podemos lograr mediante distintos métodos, los principales son:

- Evaporación.
- Prensado.
- Filtración al vacío.
- Centrifugación.
- Rodillos prensa.

Hay diferentes razones por las que se utiliza la deshidratación, como lo es reducir costos de transporte al sitio de disposición, la facilidad de manipular el lodo ya espesado, reducir algunos patógenos antes de ser desechados al relleno sanitario. Todos los procesos de deshidratación de lodos requieren un acondicionamiento previo de los lodos, esto puede ser mediante sustancias químicas, cal, entre muchas otras.

Métodos de deshidratación

Se explica de manera breve los diferentes métodos que existen para la deshidratación de lodos, estos métodos pueden ser estáticos o mecánicos, dentro de los estáticos tenemos los siguientes:

Métodos estáticos

- Lechos de secado.

Este método podríamos decir que es un método natural, estos se utilizan generalmente en poblaciones pequeñas, ya que para comunidades medias y grandes los costos de inversión, mantenimiento, maquinaria, mano de obra se disparan, además de requerir una extensión de terreno muy grande.

El proceso de secado en lecho común es el siguiente, se entiende el lodo sobre la capa de arena la cual se deja secar, el agua se va mediante un drenaje en su gran mayoría otra parte mediante la evaporación, por lo cual el tener un drenaje adecuado es de suma importancia.

El lecho de arena esta formado por 2 capas, una de grava y otra de arena, el lodo se extrae después de haberse secado, la textura del lodo seco tiene una textura gruesa y agrietada, con un color negro o marrón oscuro; el contenido de agua después de 10 a 15 días es del 60%, en condiciones favorables.

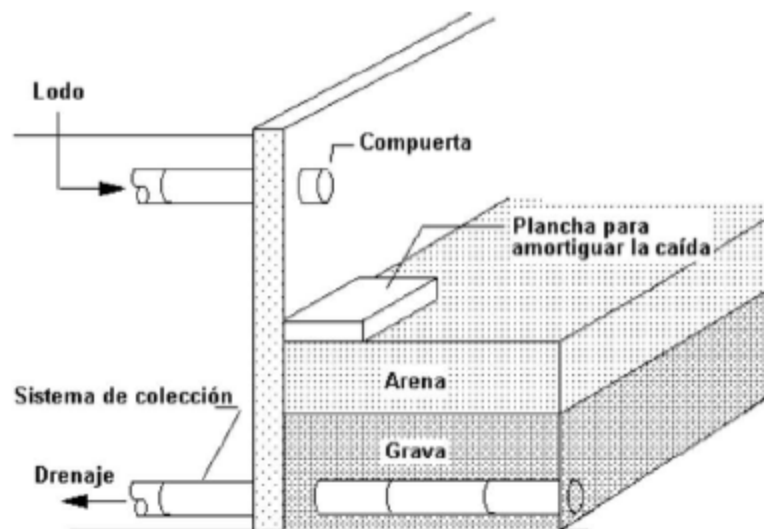


FIGURA 14 SECCIÓN TRANSVERSAL DE LECHO DE SECADO (IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES, CNA E IMTA).

A continuación se presenta una tabla con las principales ventajas y desventajas.

VENTAJAS.	DESVENTAJAS.
<ul style="list-style-type: none">- El costo inicial es bajo en plantas de tratamiento pequeñas y se dispone de terreno.	<ul style="list-style-type: none">- Carece de enfoque racional de diseño, para un buen análisis económico.

- Requerimientos mínimos para operación y capacitación.	- Se requieren grandes superficies de terreno.
- Bajo consumo de energía eléctrica.	- Alta visibilidad al público
- Bajo consumo de químicos.	- Impacto del clima en el diseño
- Alto contenido de sólidos en la torta seca de lodos	- Molestia por malos olores y gran cantidad de mano de obra.

Tabla 1 Ventajas y desventajas de lechos de secado (CNA e IMTA)

- Lagunas

Este proceso es sencillo al igual que la deshidratación, aunque es mucho más tardado y están afectados de mayor manera por el clima predominante, los climas cálidos favorecen el funcionamiento y hacen más eficiente y económico el proceso.

Las lagunas las podemos clasificar en:

Laguna de evaporación: Como el nombre lo dice, están íntimamente ligadas a la radiación solar, lluvia, temperatura, humedad y la velocidad del aire; por esto podemos decir que este tipo de lagunas se requieren en lugares donde la tasa de evaporación sea mucho mayor a la de precipitación, este tipo de lagunas no tienen una profundidad mayor a 60 centímetros.

Lagunas aerobias: Estas son utilizadas para lodos crudos, mantienen una capa de superficie aerobia mediante un mezclador de superficie que provee agitación y mezclado, la profundidad de este tipo de lagunas va de 3.5 a 4.7 metros.

Lagunas anaerobias: Al igual que las anteriores se utilizan para lodos crudos, con la única diferencia que estas tienen una capa de nata sobre la superficie y no recibe ningún tipo de agitación o mezclado y la profundidad es de hasta 4.6 metros.

Métodos mecánicos

- *Centrifugación:* Este método consiste en colocar el lodo dentro de un recipiente cilíndrico, el cual gira a cierta velocidad propiciando la separación de la parte líquida de la sólida, la remoción se hace mediante un tornillo sin fin.

Centrifuga de camisa maciza

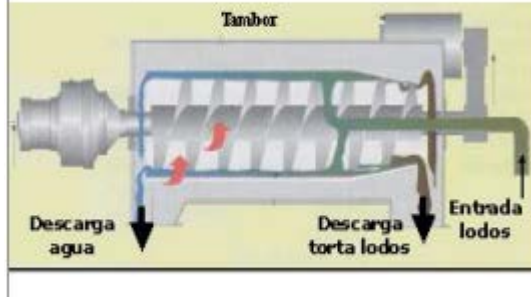


FIGURA 15 ESQUEMA DE UNA CENTRÍFUGA.

- *Filtros prensa:* Estos filtros trabajan a presión, separan los sólidos de los líquidos. Los filtros prensa de marco y placa se operan por lotes, el lodo se bombea a los filtros este hace pasar al líquido a través del medio filtrante y deja una torta de lodos entre las placas las cuales utilizando presión elevada.

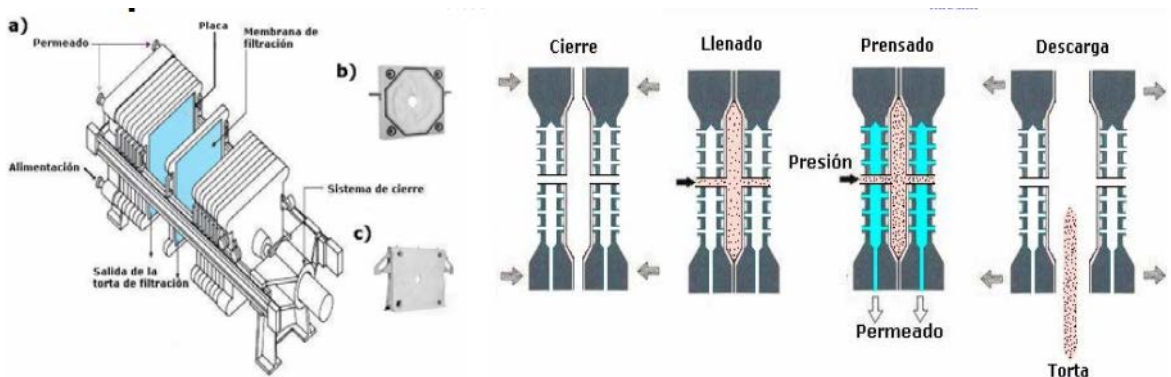


FIGURA 16 ESQUEMA DE FILTRO PRENSA, (CABANELAS & AZNAR, TRATAMIENTO DE LODOS).

- *Filtros banda:* Este filtro está constituido por dos cintas o bandas sinfín que convergen en forma de cuña y son llevadas por rodillo mientras estas se presionan una con otra. El lodo debe ser acondicionado con un floculante, este debe ser vertido de manera continua sobre las bandas; en este tipo de filtros se consiguen concentraciones del 15 al 30% en materia seca, la cual también está en función de la velocidad de avance y la tensión de las bandas.

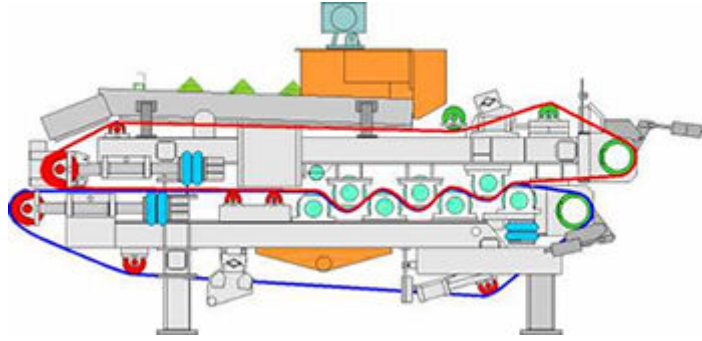


FIGURA 17 ESQUEMA GENERAL DE LOS FILTROS BANDA.

- *Filtros de vacío:* La filtración al vacío es de manera general un proceso continuo de abastecimiento de lodo, para tener un proceso exitoso se requiere adicionar reactivos químicos. El sistema incluye una bomba de vacío y un receptor de vacío. La bomba de vacío da la diferencia de presión a través del medio filtrante. El receptor del vacío es un tanque que separa el filtrado del aire jalado por la bomba de vacío durante la etapa de secado de la torta.

4.4.2 Espesamiento

El espesamiento de manera muy general consiste en disminuir el contenido de agua por unidad de volumen; existen varios métodos de espesamiento, a continuación se describen de manera muy breve.

- Espesamiento por gravedad.

Este es realizado en un tanque similar a un tanque de sedimentación por lo general circular, el lodo ya diluido es conducido hacia un pozo de alimentación donde se reduce y se compacta y es retirado del fondo del tanque.

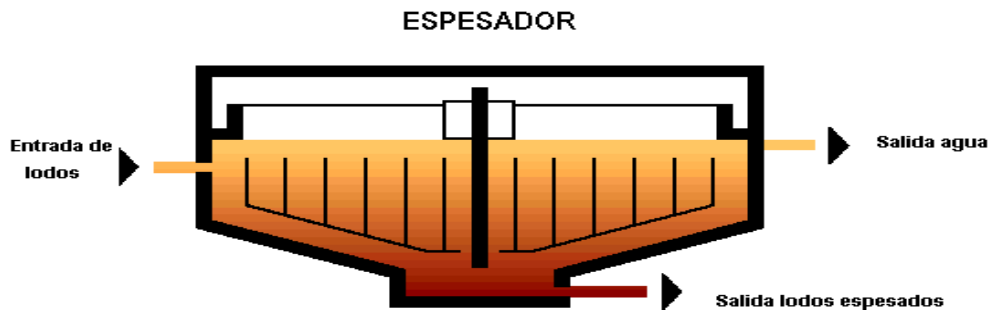


FIGURA 18 ESPEADOR POR GRAVEDAD.

- Espesamiento por flotación.

De manera general podemos decir que el espesamiento por flotación consiste en inyectar burbujas de aire a los lodos estas burbujas se adhieren a los floculos y los elevan a la superficie, este tipo de proceso es mas eficiente cuando el lodo a espesar proviene de tratamientos biológicos

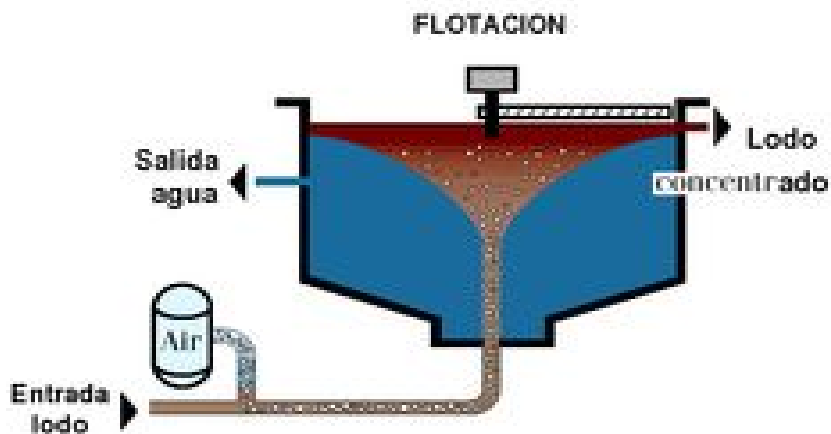


FIGURA 19 ESPEADOR POR FLOTACIÓN.

- Espesamiento mecánico por gravedad.

Para este sistema generalmente se utilizan bandas, el lodo se concentra al liberar agua drenándola por gravedad a través de una banda horizontal. Es preciso que el lodo sea acondicionado químicamente. Este tipo de espesadores son más eficientes con lodos

activados antes de ser procesados y con lodos digeridos espesados para reducir volumen antes de ser dispuestos.

- Espesamiento por tambores rotatorios.

Un sistema de espesamiento por tambores rotatorios consiste en un subsistema acondicionado de lodos residuales y las rejillas rotatorios o tambores. En el primer tambor el lodo se mezcla con polímeros, después de esta mezcla pasa a las rejillas o tambores donde se separa la parte líquida de la salida; el lodo sale por un extremo mientras tanto el agua cae por medio de los tambores.

Las ventajas de este sistema es el bajo costo de mantenimiento, un consumo de energía mínimo y el espacio que se requiere por lo general es muy poco.

4.4.3 Estabilización

Los lodos activados o residuales están formados por materia orgánica e inorgánica, la primera es causante del mal olor o putrefacción que se da en estas, esta materia es conocida como biosólidos y son los causantes de microorganismos infecciosos, en base a esto es de su importancia el estabilizar esta materia y así reducir el contenido de agentes infecciosos, malos olores y putrefacción.

La estabilización de lodos busca reducir al máximo los sólidos suspendidos, esto se puede llevar a cabo mediante la oxidación biológica, la oxidación química o aplicando calor.

Las formas más comunes para estabilizar lodos residuales son las siguientes: digestión anaerobia, digestión aerobia, composteo y estabilización con cal, a continuación se da una breve explicación de cada una de estas técnicas.

- Digestión anaerobia.

Este método consiste en realizar una “fermentación” de la materia orgánica en total ausencia de oxígeno, esto produce gases tales como gas metano, dióxido de carbono y ácido sulfúrico, además de células y los lodos estabilización a un 60% aproximadamente.

Estos digestores los podemos clasificar en dos categorías, los digestores de baja tasa y los digestores de tasa alta, los primeros también son llamados de tasa estándar o convencional; el lodo es introducido en un tanque sin sistema de mezclado, el lodo sedimentado y ya estabilizado es llevado a su sitio de disposición o la siguiente fase de tratamiento en caso de que exista, por otro lado el gas metano puede ser extraído y aprovechado, finalmente las natas generadas, regresan al ciclo de tratamiento.

Los digestores de alta tasa requieren un sistema de calefacción de lodos y estar aislados, además la alimentación de estos digestores es de manera continua con intervalos que van de los 30 a 120 minutos por lote, este tipo de digestores reducen en promedio de un 40% a un 65% de sólidos volátiles.

- Digestión aerobia.

Este tipo de digestión consiste en la respiración endógena de los microorganismos, esto quiere decir que debido a la ausencia de alimento las células comienzan a comer unas a otras y de esta forma obtienen energía, esto conlleva a la disminución de dichos lodos hasta en un 80%, el resto es materia no degradable.

Una ventaja importante sobre la digestión anaerobia es que no se requiere tener personal tan especializado para ser operado además de que los residuos de este proceso suelen ser menos dañinos que los producidos en sistemas anaerobios; la desventaja más importante es que en lugares con temperaturas muy bajas el proceso se vuelve poco eficiente.

Los tanques que se utilizan para la digestión son de dos tipos: los abiertos a la atmósfera y los cerrados a esta, lo más común es utilizar tanques abiertos, aquí la aplicación de oxígeno es mediante difusores. Por otro lado existen los tanques alimentados con oxígeno puro ya sea cerrados o abiertos, los tanques cerrados deben mantener una atmósfera de oxígeno puro y este es transferido mediante aireadores mecánicos, la gran ventaja de los tanques cerrados es que no es afectado por la temperatura del ambiente pero cabe mencionar que su gran desventaja son los costos de generación del oxígeno.

- Composteo.

El composteo consiste en descomponer el material de manera biológica, este proceso puede ser anaerobio o aerobio; la forma más usada es de forma aerobia esto debido a que se evitan malos olores.

Lo que se busca con el composteo es en primer lugar reducir el volumen de lodos, el segundo es la eliminación de patógenos dañinos mediante un proceso a altas temperaturas (50 a 70 grados) y el tercero es convertir material de desecho en materia orgánica que se aproveche como acondicionador de suelos, para lograr esto es necesario adicionarle un material que ayude a que se lleve a cabo este proceso.

Aunque en esencia el composteo siempre es de igual forma puede llegar a variar en su apariencia, pero los procesos esenciales son los siguientes.

- Mezclado de lodos: este mezclado se hace con un material “acondicionador” el cual puede ser paja de madera, bagazo de caña o algún otro material que aumente el contenido de sólidos y a su vez permita que se oxigene de forma correcta.

- Digestión: este se realiza cuando los microorganismos a temperaturas altas comienzan a degradar la material y patógenos, la aireación se da mediante el volteado periódico de la mezcla.
- Curado: aquí se deja reposar esta mezcla hasta que su temperatura sea la del ambiente aquí ya no se requiere de la aireación, aquí se asegura una estabilización de manera completa.

Finalmente, debemos tomar en cuenta que hay muchos factores que afectan y determinar la calidad de la composta, entre estos se encuentra la humedad, tamaño del material de mezclado, temperatura, PH, aeración, entre muchos otros, por lo que es de suma importancia tener en cuenta todos estos factores al momento de realizar dicho proceso.



FIGURA 20 COMPOSTEO DE LODOS ACTIVADOS.

- Estabilización con cal.

Existen dos métodos principales para este tipo de tratamiento, el pre tratamiento con cal y pos tratamiento con cal. La diferencia entre el primero y el segundo es que al primero se le adiciona cal antes de la deshidratación y el segundo es posterior a esta.

Preestabilización: para este tipo de tratamiento tenemos 2 variantes, en la primera se adiciona cal a los lodos espesados, se dejan reposar por aproximadamente 2 horas mínimo, posterior a esto se pueden agregar estos lodos a suelos agrícolas, por tratarse de lodos ya espesados los volúmenes suelen ser en grandes cantidades.

La segunda opción también consiste en agregar suficiente cal para elevar el PH de los lodos a 12 dándole tiempo suficiente de reposo, debido a que la cantidad de cal

adicionada es mayor a la requerida para el desaguado de lodos se vuelve muy sencilla la deshidratación.

Postestabilización: este considera la aplicación de cal una vez que el lodo ha sido deshidratado

4.5 Alternativas para el tratamiento de aguas residuales

4.5.1 Introducción

Tal y como se menciona en el capítulo anterior, el tratamiento de la aguas residuales se ha vuelto de suma importancia para el desarrollo de cualquier comunidad, este tratamiento solo es parte de un círculo vicioso cada día mayor y más dañino, por una parte la obtención del vital líquido cada vez se vuelve mas complicado y costoso además de los problemas que conlleva la sobreexplotación de los cuerpos de agua dulce y mantos acuíferos, un claro ejemplo son los hundimientos cada día mas mayores en la Ciudad de México; por otra parte es el consumo y desperdicio excesivo que se tiene tanto en las líneas de distribución como por la gente misma y finalmente este círculo se cierra con la contaminación y falta de tratamiento a las aguas.

De acuerdo a estadísticas de la CONAGUA 2013, hasta el 2012 en cuestión de abastecimiento de agua potable se tenía un 90.9% de cobertura, mientras que para alcantarillado se cuenta con un 90.5% de cobertura, el caudal recolectado por el sistema de alcantarillado es de aproximadamente 210 m³/seg de los cuales solo recibe tratamiento el 47.5%.

Esto quiere decir que más de un 50% del agua residual que se capta va a dar a los cauces naturales sin ningún tipo de tratamiento, lo cual daña de manera significativa nuestros ecosistemas.

POBLACIÓN	AGUA POTABLE	ALCANTARILLADO
RURAL	80.3%	70.1%
URBANA	95.5%	96.5%
TOTAL	90.9%	90.5

Tabla 2 Abastecimiento de agua y alcantarillado, CONAGUA 2013

Finalmente tenemos que el porcentaje que se trata de aguas residuales es hecho dentro de las 2342 plantas de tratamiento que según datos de la CONAGUA están en funcionamiento.

Debido a estos y otros muchos factores que afectan a nuestras comunidades, es de suma importancia el tratamiento de las aguas residuales.

4.5.2 Objetivos y alcances

Objetivos

- Describir los métodos más importantes para el tratamiento de aguas residuales.
- Analizar los métodos anteriormente descritos y hacer la elección del método más apropiado.
- El método a elegir deberá ser el mas eficiente, tomando en cuenta las condiciones que se tienen en la comunidad (económicas, espacio, disponibilidad, etc)

4.6 Definición y tipos de Aguas Residuales

Podemos definir al agua residual como aquella que son generadas en una comunidad, una ciudad, actividades ganaderas, industria, etc.

Generalmente estas aguas están mezcladas con grasas, detergentes, materia orgánica, residuos de los ganados, herbicidas, plaguicidas, y en ocasiones con desechos de la industria.

Se considera que hay 2 tipos de aguas residuales la primera es el agua residual doméstica y la segunda el agua residual industrial.

A continuación se presentan los principales métodos de tratamiento de aguas residuales domesticas

4.7 Principales formas de tratamiento de aguas residuales

4.7.1 Fosa Séptica

Las fosas sépticas se puede decir que son estructuras para dar un tratamiento primario a las aguas residuales provenientes de una casa habitación, escuelas, comercios, hospitales, etc.

El tanque tiene tres funciones esenciales la sedimentación, el almacenamiento y la digestión de la materia orgánica, el tiempo de retención del agua dentro del tanque varía ente 24 y 48 horas. La forma de funcionamiento de estos tanques es de manera continua y por gravedad.

Descripción

A grandes rasgos describiremos el funcionamiento de un tanque séptico. El agua deberá entrar al tanque con una velocidad muy baja esto con el fin de minimizar cualquier turbulencia en el agua, ya dentro del tanque el agua deberá hacer su recorrido de manera muy lento esto con el fin de que los sólidos sedimentables vayan al fondo, las grasas forman una nata en la superficie lo cual permite que el aire no entre en el cuerpo de agua y así se den las condiciones propicias para un proceso anaerobio, los sólidos

sedimentados forman los lodos sépticos o lodos activados estos deberán permanecer en el fondo en promedio 2 años para que de esta manera se degrade la materia de manera correcta, finalmente a la salida debe contar con una estructura que no permita la salida del lodo y la nata solo deberá expulsar el agua clarificada, además de una ventilación que permita expulsar los gases producidos.

A continuación se muestra un diagrama con los componentes de un tanque séptico, así como la descripción de los elementos más importantes.

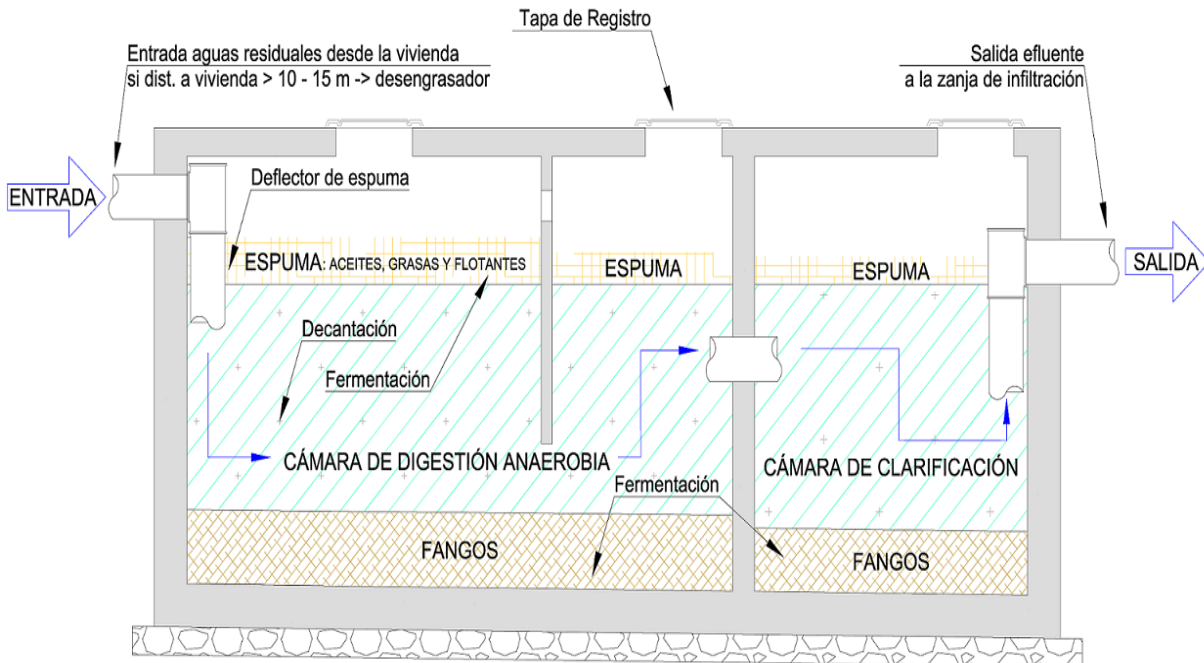


FIGURA 21 DIAGRAMA GENERAL DE UN TANQUE SÉPTICO.- [HTTP://RURALSUPPLIES.EU/](http://RURALSUPPLIES.EU/)

El diagrama anterior muestra un tanque de 2 cámaras, en las cuales podemos notar 4 capas o zonas: zona de almacenamiento de lodos al fondo, zona de sedimentación o clarificación aquí se ubica el agua, por encima de esta capa tenemos las grasas o natas y finalmente tenemos un espacio libre para los gases producidos.

Para un mayor rendimiento es recomendable la instalación de rejillas, trampa de grasas y canal desarenador antes de la fosa séptica y a la salida deberán tener algún pozo de absorción, campo de infiltración, oxidación, etc.

Tipos de Fosas

Es importante tener en cuenta que el tanque o fosa puede ser de una, dos o tres cámaras, se ha observado que el mejor resultado se obtienen con un tanque de 3 cámaras.

En tanques de una cámara la producción de burbujas de gas en el fondo ocasiona que se arrastren partículas de materia orgánica además de las bacterias que ayudan a la descomposición de los lodos además de obstaculizar la sedimentación. En el tanque de dos cámaras se tienen una menor cantidad de sólidos a la salida.

En el tanque de 3 cámaras la espuma y lodos se mezclan con el agua esto debido a la turbulencia a la entrada, en la segunda cámara se tienen un fluido mas clarificado y con una carga menor de sólidos lo cual mejora la sedimentación de sólidos de baja densidad.

Finalmente, el uso de un tercer compartimiento se puede usar para separar agua negar de grises, esto quiere decir que las aguas grises pasan directamente a la tercer cámara mientras que las aguas negar deben recorrer las 3 cámaras, en otros tipo de fosas la tercer cámara tienen filtros o mamparas para mejorar la remoción de sólidos, se ha visto que el uso de más de 3 cámaras no tienen mejora alguna.

Mantenimiento e inspección

Los puntos importantes que siempre hay que tomar en cuenta al inspeccionar una fosa son los siguientes:

- Impermeabilidad.
- Cantidad de lodo acumulado
- Espacio libre de espuma en el punto de descarga o salida.

Por lo menos una vez a año se deberán hacer inspecciones más detalladas, esto con el fin de determinar la necesidad de limpieza (midiendo espesores de lodo), impermeabilización (detectar posibles fugas en el tanque) y el estado de los filtros a la salida.

4.7.2 Planta de tratamiento

Esta forma de tratamiento ya es más mecanizada y tiene una capacidad muy superior, por lo que es más usada en ciudades, a continuación se da una breve explicación de los procesos que la componen.

Etapas del proceso

El proceso de tratamiento del agua residual se puede dividir en cuatro etapas: pre tratamiento, primaria, secundaria y terciaria.

- Pre tratamiento

El tratamiento preliminar consiste básicamente en medir el caudal o gasto, que ingresa a la planta además es necesario filtrar el agua para retirar sólidos y grasas. Las partes encargadas de realizar esta función son las rejillas, tamices, trituradores y desarenadores. En esta etapa también se puede realizar la preaireación, cuyas funciones son el eliminar los compuestos volátiles presentes en el agua servida, que se caracterizan por ser malolientes, y aumentar el contenido de oxígeno del agua, lo que ayuda a la disminución de la producción de malos olores en las etapas siguientes del proceso de tratamiento.

- Tratamiento primario

Esta etapa del tratamiento busca eliminar los sólidos en suspensión por medio de un proceso de sedimentación simple por gravedad o asistida por coagulantes y floculantes. Así, para completar este proceso se pueden agregar compuestos químicos con el objeto de precipitar los sólidos en suspensión muy finos o aquellos en estado de coloide.

Los elementos mas usados para poder cumplir con esta función son los estanques de sedimentación primarios o clarificadores primarios. Asimismo, el período de retención es normalmente corto, 1 a 2 h. Con estos parámetros, la profundidad del estanque fluctúa entre 2 a 5 m.

En esta etapa se elimina por precipitación alrededor del 60 al 70% de los sólidos en suspensión. En la mayoría de las plantas existen varios sedimentadores primarios y su forma puede ser circular, cuadrada a rectangular.

- Tratamiento secundario

Tiene como objetivo eliminar la materia orgánica en disolución y en estado coloidal mediante un proceso de oxidación seguido de sedimentación. Este proceso biológico es un proceso natural controlado en el cual participan los microorganismos presentes en el agua residual, y que se desarrollan en un reactor o cuba de aireación, más los que se desarrollan, en menor medida en el decantador secundario. Estos microorganismos, principalmente bacterias, se alimentan de los sólidos en suspensión y estado coloidal produciendo en su degradación en anhídrido carbónico y agua, originándose una biomasa bacteriana que precipita en el decantador secundario. Así, el agua queda limpia a cambio de producirse lodos.

Las elementos mas usados para el tratamiento secundario incluyen filtros de arena intermitentes, filtros percoladores, contactores biológicos rotatorios, lechos fluidizados, estanques de fangos activos, lagunas de estabilización u oxidación y sistemas de digestión de fangos.

- Tratamiento terciario

Tiene como objetivo suprimir algunos contaminantes específicos presentes en el agua residual tales como los fosfatos que provienen del uso de detergentes domésticos e industriales y cuya descarga en curso de agua favorece la eutrofización, es decir, un desarrollo incontrolado y acelerado de la vegetación acuática que agota el oxígeno, y mata la fauna existente en la zona. No todas las plantas tienen esta etapa ya que dependerá de la composición del agua residual y el destino que se le dará.

Principales procesos de una planta de tratamiento

- Tratamiento de aguas residuales

Los métodos de desinfección son principalmente la cloración y la iozonización, pero también se ha usado la bromación y la radiación ultravioleta. El más usado es la cloración por ser barata, fácilmente disponible y muy efectiva. Sin embargo, como el cloro es tóxico para la vida acuática el agua tratada con este elemento debe ser sometida a dechloración antes de disponerla a cursos de agua natural.

- Tratamiento de lodos activados

Los sedimentos que se generan en las etapas primaria y secundaria se denominan lodos. Estos lodos contienen gran cantidad de agua, microorganismos patógenos y contaminantes orgánicos e inorgánicos. Existen varios métodos para el tratamiento de estos lodos, a continuación se nombran los principales: digestión anaerobia, digestión aerobia, compostaje, acondicionamiento químico (cal) y tratamiento físico.

Tratamiento químico: Se puede aplicar tanto a los fangos crudos como digeridos e incluye la aplicación de coagulantes tales como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico y los polímeros, los que tienen como función ayudar a la sedimentación de las materias en suspensión y solución en el fango; el lavado del fango, la cloración y la aplicación de floculante.

Tratamiento físico: Incluye el tratamiento por calor y el congelamiento de los fangos. Una vez concluida la etapa de digestión microbiana, ya sea aerobia o anaerobia, los fangos aún contienen mucha agua (alrededor de un 90%) por lo que se requiere deshidratarlos para su disposición final. Para ello se han diseñado dos métodos principales: secado por aire y secado mecánico.

Secado de los lodos: Uno de los métodos de secado es por aire y de este existen diferentes métodos entre ellos están: lechos de arena, lechos asistidos de arena, lagunas de fangos, lechos adoquinados y eras de secado.

Para el secado mecánico existen filtros banda, filtros prensa, filtros de vacío y centrífugas.

Los lodos deshidratados deben disponerse en una forma ambientalmente segura. Para ello, según el caso, pueden llevarse a rellenos sanitarios, ser depositados en terrenos agrícolas y no agrícolas o incinerados. La aplicación en terrenos agrícolas requiere que el fango no presente sustancias tóxicas para las plantas, animales y seres humanos. Lo habitual es que sí las contengan por lo que lo normal es que sean dispuestos en rellenos sanitarios o incinerados.

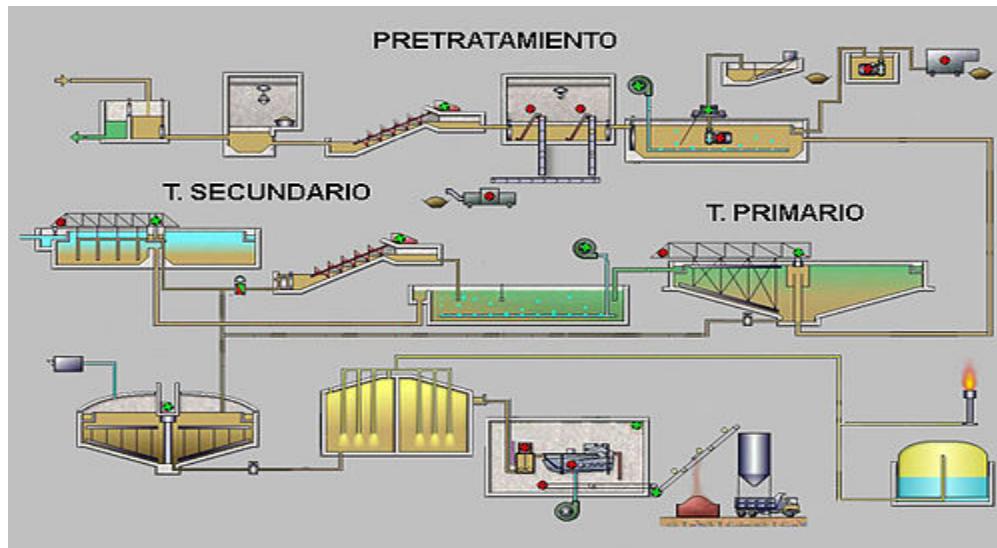


FIGURA 52 DIAGRAMA GENERAL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO.

4.7.3 Laguna de estabilización

Las lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales son una alternativa para aquellas comunidades en vías de desarrollo, debido a que los costos por este tipo de tratamientos son muy bajos con respecto a otros sistemas. Además son una muy buena opción para la remoción de patógenos si se toma en cuenta que no se tienen que adicionar cloro al efluente para su desinfección.

Podemos definir las lagunas de estabilización como cuerpos de agua artificiales, diseñados para el tratamiento de las aguas residuales mediante la interacción de la biomasa, materia orgánica y procesos naturales (CONAGUA, 2007)

Los objetivos que debe cumplir una laguna de estabilización deben ser los siguientes:

- Reducir la cantidad de materia orgánica.
- Reuso del agua tratada.
- Reducir la contaminación a cuerpos de agua naturales y limpios.

Clasificación y tipos de lagunas de estabilización.

Existen diversas formas de clasificar las lagunas esto puede ser por:

- Tipo de reacción biológica.
- La presencia o ausencia de equipo de aireación.
- Extensión y cantidad de lagunas.
- Duración y frecuencia de descargas.

A continuación mostramos la clasificación de acuerdo al contenido de oxígeno ya que esta clasificación es la mas global, las clasificaciones anteriores están basadas en características particulares que las hacen diferentes a otras pero la esencia del tratamiento sigue siendo el mismo.

- Anaerobias: El proceso se lleva a cabo sin oxígeno, el proceso de biodegradación se hace con microorganismos anaerobios.
- Facultativas: Presencia de oxígeno en la superficie del cuerpo de agua, en el fondo no se cuenta con oxígeno, proceso con microorganismos, aerobios, anaerobios y facultativos.
- Aerobias: Aquí se cuenta con oxígeno en todo el el cuerpo de agua. (CONAGUA, 2007)

Descripción

Las lagunas de estabilización las podemos definir como sistemas de tratamiento a base de estanques abiertos con profundidades no mayores a 5 metros. El nivel de tratamiento está definido por la cantidad de lagunas en serie y el tiempo de retención en estas.

Los desechos que se pueden tratar por medio de este método son: aguas residuales crudas, efluentes de tratamientos anteriores, lodos de retorno de un sistema de lodos activados (CONAGUA, 2007).

Funcionamiento de acuerdo al tipo de laguna.

El tratamiento de las aguas se realiza mediante la oxidación de la materia orgánica, esto gracias a una combinación de sedimentación, digestión y procesos naturales.

A continuación se da una descripción mas detallada de acuerdo a la clasificación que se presento en párrafos anteriores.

Laguna anaerobia.

Este tipo de lagunas se caracterizan por tener una profundidad de 2 a 5 metros, una superficie pequeña, no contienen ningún tipo de alga o algún procesos fotosintético que liberen oxígeno, por esta razón el proceso es anaerobio.

Este sistema recibe altas cargas orgánicas con el fin de ayudar el crecimiento de las bacterias que se encargan de realizar la digestión. Podemos decir que este sistema es como el de un tanque séptico abierto, teniendo como objetivo el remover la DBO mediante sedimentación y digestión, esta digestión es alta en temperaturas por arriba de los 15°C dando como resultado la producción de gas metano, finalmente el aspecto de este tipo de lagunas es de color gris o negro (CONAGUA, 2007).

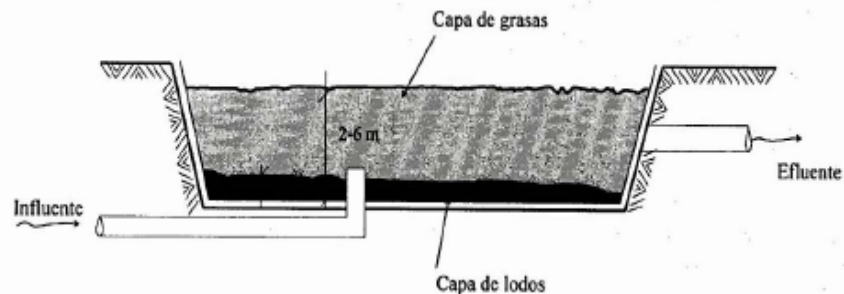


FIGURA 26 ESQUEMA DE UNA LAGUNA ANAEROBIA, CNA. 1994

Laguna Facultativa.

Este tipo de lagunas mezcla procesos aerobios y anaerobios, el primero se lleva a cabo en la parte superior de la laguna esto debido a una gran área superficial, mientras que el segundo se realiza en el fondo de la misma, la profundidad de estas lagunas no rebasan los 2.5 metros.

Podemos decir que este sistema funciona gracias a dos grandes procesos, el primero es la oxigenación mediante la fotosíntesis y el segundo es la fermentación con producción de metano estos dos procesos son los encargados de una reducción significativa de la DBO.

Por otra parte las algas en estas lagunas se caracterizan por tener un color verde oscuro, aunque en ocasiones pueden ser color rojo o rosa, esto debido a la presencia de bacterias anaerobias púrpuras que oxidan los sulfuros fotosintéticamente (CONAGUA, 2007).

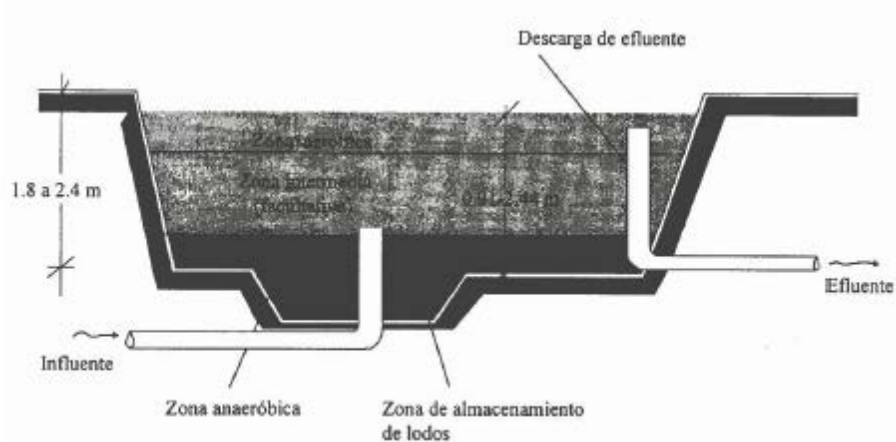


FIGURA 27 ESQUEMA DE UNA LAGUNA FACULTATIVA, CNA. 1994.

Laguna Aerobia.

Este tipo de lagunas reciben efluente ya sea de un tratamiento primario o secundario previo o de una laguna facultativa, su función es la de eliminar microorganismos patógenos y generar un efluente de alta calidad, esto se da gracias a la poca cantidad de nutrientes (materia orgánica), la cantidad de luz solar y la presencia de depredadores hacen que la cantidad de patógenos disminuya considerablemente (CONAGUA, 2007).

La profundidad de estas lagunas no rebasan los 1.5 metros, la poca profundidad no da pauta a que se genere una zona anaerobia, a pesar de que se eliminan patógenos se da la proliferación de algas esto sin embargo no representa un problema.

Ventajas y Desventajas.

Como todo sistema se tienen ventajas y desventajas, a continuación te presentamos las enumeramos.

Ventajas:

- Es un sistema con un costo de operación y mantenimiento muy bajo.
- No se requiere equipo especial o de gran costo.
- El consumo de energía eléctrica es muy bajo.
- La calidad del agua es igual o mejor al de otros sistemas más complejos.
- El manejo y disposición de lodos se vuelve mas fácil.

- Tiene la capacidad para amortiguar picos hidráulicos, o variaciones en el contenido orgánico.
- En climas cálidos la eficiencia aumenta.

Desventajas:

- Los olores producidos por estos cuerpos de agua son muy desagradables, por lo que deben estar alejados de las comunidades.
- El área de terreno que se requiere es muy grande.
- Si no se tienen los cuidados pertinentes se puede contaminar el manto freático.
- Las pérdidas por evaporación son considerables.
- El efluente puede tener muchos sólidos suspendidos.
- Su eficiencia depende de las condiciones ambientales como lo es temperatura, velocidad del viento, radiación solar, etc.

4.7.4 Tanque Imhoff

El Tanque Imhoff o tanque de doble acción lo podemos definir como un sistema de tratamiento primario de aguas residuales, cuyo objetivo es la remoción de sólidos suspendidos.

Al igual que el tanque séptico y las lagunas de estabilización este tipo de sistemas tienen la ventaja de tener una operación y mantenimiento muy simples, además de que no requiere aditamentos mecánicos, pero es de suma importancia que las aguas residuales pasen por un pre tratamiento (cribado y remoción de arenas) antes de ingresar al tanque (OPS/CEPIS/05.163)

La forma más típica de estos tanques es rectangular y está formado por 3 compartimentos:

- Cámara de sedimentación.
- Cámara de digestión de lodos.
- Área de ventilación y acumulación de natas (OPS/CEPIS/05.163).

Descripción.

A grandes rasgos podemos decir que el funcionamiento del tanque se da de la siguiente manera; las aguas residuales entran a la cámara de sedimentación, es aquí donde gran parte de los sólidos suspendidos se sedimentan y van a dar a la cámara de digestión ayudados por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación y la ranura

con traslape , este traslape ayuda a que los gases o partículas suspendidas producto de la digestión , interfieran en la sedimentación, finalmente los gases y partículas ascendentes que se producen en el proceso de digestión van a dar a la cámara de natas o área de ventilación (OPS/CEPIS/05.163).

Los lodos producidos por este sistema se extraen periódicamente y se les da un tratamiento mediante lechos de secado para después ser utilizados para mejoramiento de suelo agrícola, este periodo varía de acuerdo a la temperatura en que se encuentre el lodo en digestión, a continuación se presenta una tabla con los periodos aproximados en base a la temperatura.

Temperatura ° C	Tiempo de digestión en días.
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Tabla 3. Periodos para desalojo de lodos de acuerdo a su temperatura (OPS/CEPIS/05.163).

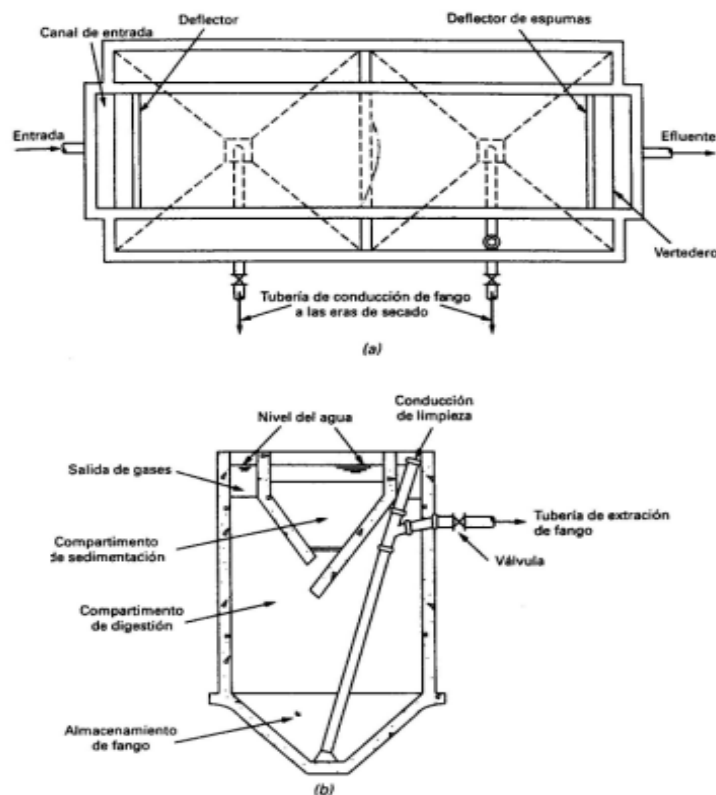


FIGURA 25 ESQUEMA GENERAL DE UN TANQUE IMHOFF.

Ventajas y desventajas del sistema.

Ventajas.

- El costo de construcción y operación es muy bajo.
- El área requerida para su construcción es muy baja.
- Son funcionales en comunidades pequeñas.
- El tiempo de retención es bajo en comparación con las lagunas.
- El influente no requiere un tratamiento especial, únicamente la separación de los sólidos de gran tamaño.
- El mantenimiento es más fácil ya que los lodos que se extraen son más fáciles de trabajar en comparación con los extraídos en un tanque séptico.
- La digestión de los lodos es mucho mejor en comparación con un tanque séptico.

Desventajas.

- Los olores producidos son muy molestos.
- El efluente es de mala calidad orgánica y microbiológica.
- Son estructuras con una profundidad mayor a 6 metros.
- El tipo de suelo sobre el que se construye puede afectar de manera significativa la elección de este sistema.
- El nivel freático es un punto importante a la hora del diseño.

Es importante mencionar que este sistema se puede utilizar en caso de que el área con la que se cuenta es muy poca, además de que debe ser ubicado lejos de cualquier población.

Tal y como se mencionó en el apartado de las desventajas, la calidad del agua a la salida del sistema es mala esto debido a que solo se elimina hasta un 40% de los sólidos suspendidos y la DBO se reduce en un 35% aproximadamente, debido a esto lo que se recomienda es enviar este efluente a otro sistema de tratamiento como puede ser una laguna facultativa (OPS/CEPIS/05.163).

5 Humedales artificiales como alternativa para el tratamiento de aguas residuales y lodos activados

Con base en la problemática mencionada en el capítulo 2, respecto al tratamiento de las aguas residuales en la comunidad de Aocolco se presenta a continuación una propuesta alternativa para el tratamiento de dichas aguas. Esta propuesta consiste en el tratamiento de las aguas y lodos mediante humedales artificiales familiares.

Esto quiere decir que se hará un diseño de un humedal por familia esto con el fin de no seguir generando contaminación en los cuerpos de agua existente debido al mal funcionamiento de la fosa séptica encargada de dar tratamiento de las aguas y la negativa por parte de la población a conectarse al drenaje debido a estas problemáticas.

5.1 Objetivo y alcances

Objetivo.

- Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales alternativo al ya existente dentro de la comunidad de Aocolco en el estado de Puebla.
- Determinar el tipo de humedal a implementar dentro de la comunidad.

Alcances.

- Hacer la ingeniería básica para el diseño de este sistema de tratamiento, cumpliendo las normas mexicanas para el diseño y operación de este tipo de sistema

5.2 Humedales

Los humedales naturales podemos definirlos como ecosistemas mixtos, ya que es transición entre un sistema acuático y uno terrestre, esto se da en superficies por lo regular planas las cuales se inundan de manera permanente o intermitente.

Las plantas que se desarrollan en los humedales son capaces de sobrevivir en suelos con un bajo o nulo nivel de oxígeno. Podemos definir una cierta frontera entre un humedal y un sistema terrestre, así como un humedal y un sistema acuático; el primero puede tener el suelo saturado o inundado por periodos que van desde los 7 hasta los 30 días al año y el segundo se caracteriza por permanecer siempre inundado no permitiendo el desarrollo de vegetación (IMTA).

Las profundidades típicas de estas extensiones de tierras son menores a 0,60 m donde crecen plantas emergentes como juncos, *typha* «totora», *duck weed* «lenteja de agua» que contribuye a la reducción de contaminantes a través de procesos aerobios de degradación.

Los humedales pueden ser de agua dulce, tales como Ciénegas y pantanos, o bien de agua salobre como los manglares (IMTA).

5.3 Historia

En el pasado, los humedales naturales fueron utilizados para descargar las aguas residuales, esto se hizo como medio de eliminación mas no como medio de tratamiento. Esto dio como resultado que muchos humedales, como los pantanos se saturaran de nutrientes y posteriormente a degradarse ambientalmente (RTHA, 2011).

Las primeras investigaciones sobre humedales como tratadores de agua se realizaron en el año 1953 Kathe Seidel realizó un estudio para identificar las propiedades de algunas plantas acuáticas como forma de tratamiento de aguas residuales, marcando así el inicio de los humedales artificiales (Llagas y Guadalupe, 2006).

El primer sistema artificial de humedales se puso en operación en Alemania en 1974; desde entonces, estos sistemas se han utilizado en casi todo el mundo como una alternativa remoción de contaminantes del agua debido a su alta efectividad y bajo costo.

Actualmente esta alternativa de tratamiento es cada vez aceptada por todo el mundo y en algunos países europeos comienzan a ser comunes y finalmente en países en desarrollo es una opción muy viable.

5.4 Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales

Un humedal artificial es un sistema mediante el cual se depuran las aguas residuales, este tratamiento se da al simular las condiciones y procesos físicos, químicos y biológicos que se tienen en humedales naturales, estos procesos se dan al interactuar el agua residual con el suelo, plantas, microorganismos y las condiciones naturales que lo rodean.

Los procesos mas importantes dentro del tratamiento de aguas en un humedal es la sedimentación, filtración, adsorción, degradación bilógica, fotosíntesis, fotooxidación y toma de nutrientes por parte de la vegetación (Javier Mena).

Una gran ventaja de los humedales artificiales es que pueden ser utilizados para el tratamiento de aguas residuales con diferentes características, tales como:

- Aguas domésticas y urbanas.
- Aguas provenientes de un pretratamiento.
- Aguas industriales, incluyendo fabricación de papel, productos químicos y farmacéuticos, cosméticos, alimentación, refinerías y mataderos entre otros.
- Aguas de drenaje de extracciones mineras.
- Aguas de escorrentía superficial agrícola y urbana.
- Tratamiento natural para agua de piscinas (sin cloro)

- Tratamiento de fangos de depuradoras convencionales, mediante deposición superficial en humedales de flujo subsuperficial donde se deshidratan y mineralizan (RTHA, 2011).

Además de poder tratar toda esta gama de aguas residuales en ocasiones puede llegar a sustituir el tratamiento secundario e inclusive, bajo ciertas condiciones, al terciario y primario. (Javier Mena).

5.4.1 Clasificación

La clasificación de los humedales es generalmente con base en dos tipos de sistemas, según el flujo del agua: los hay de flujo superficial y subsuperficial.

5.4.2 Humedales de flujo superficial

Este tipo de humedales están formados por canales o estanques de poca profundidad (<60 cm), este tipo de humedales son capaces de remover poca carga orgánica por lo que generalmente son usados para aguas que ya tienen un pretratamiento.

El agua que entra en el sistema circula libre y en contacto directo con la atmósfera; a través de los tallos, raíces y hojas de la vegetación se instala la película bacteriana que elimina los contaminantes; la vegetación usada son espadañas, ancas, juncos y carrizos

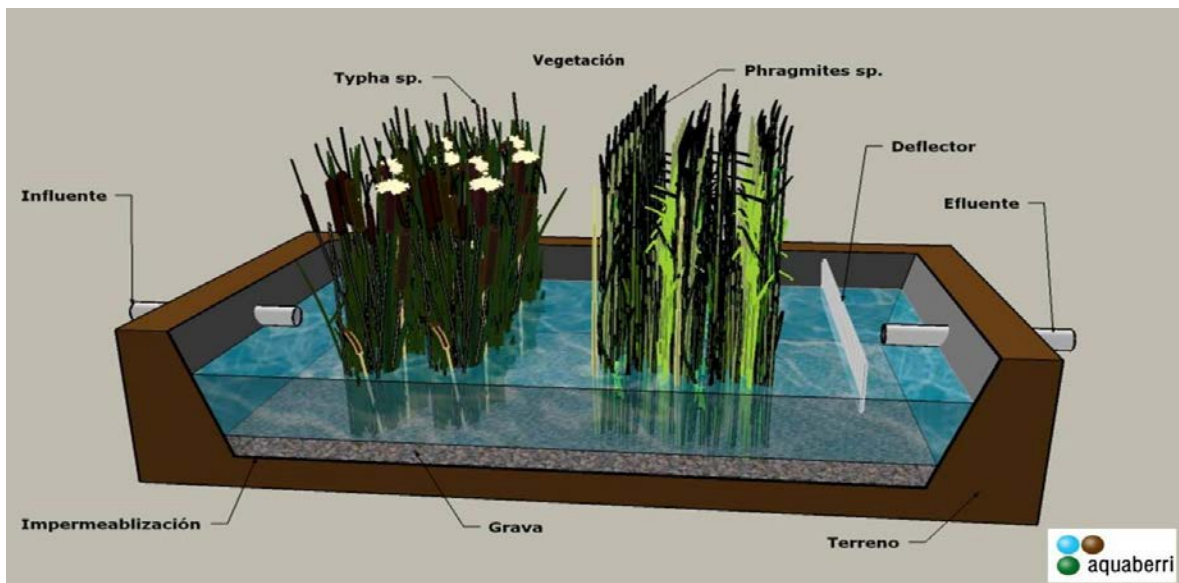


FIGURA 26 HUMEDAL DE FLUJO SUPERFICIAL, AQUABERRI.COM

5.4.3 Humedales de flujo subsuperficial

Este tipo de humedal mantiene el flujo del agua siempre por debajo de la superficie, fluye a través de un filtro formado por material graduado siempre en contacto con la vegetación

que ayuda al tratamiento de las aguas, además tenemos dos variantes para este tipo de humedal.

Humedal de flujo vertical

En este sistema el agua fluye intermitente de arriba hacia abajo (vertical flow) esto se da ya que el sistema que lo alimenta se encuentra en la superficie y es repartida de manera uniforme en todo el área del humedal; el filtro puede estar compuesto por material bien graduado o material bien estratificado.

Para tener una mejor aireación del filtro se instala un sistema que sirva como medio de aireación, este sistema puede ser a base de tuberías cribadas con salida al exterior.

Para la alimentación se requiere un sistema que pueda distribuir de manera uniforme el agua residual además esta alimentación debe darse de manera intermitente esto con el fin de estimular las condiciones aerobias, la frecuencia de riego está determinada por la rapidez con que se filtre cada riego.

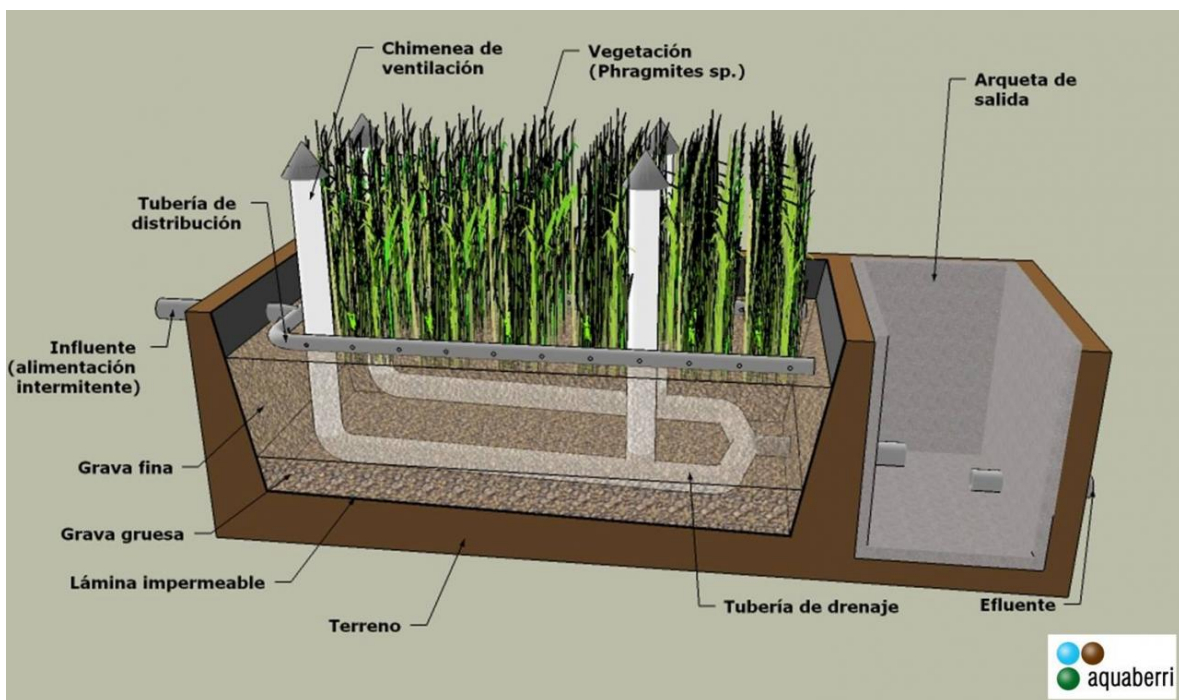


FIGURE 27 HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL, AQUABERRI.COM

La importancia del filtro o medio de filtración es considerable ya que cumple varias funciones dentro de todo el sistema, la primera como ya se mencionó es la de filtrar el agua residual, por otra parte también sirve como superficie para que las bacterias se fijen y cumplan su función y finalmente como base para la vegetación.

Humedal de flujo horizontal

Este sistema es más utilizado en Europa debido a que su origen se da con la investigación de Seidal en 1967 y Kickuth 1977.

El agua ingresa de manera permanente y fluye de un lado a otro por medio del filtro siempre por debajo de la superficie, la recolección de las aguas ya filtradas y tratadas se da en el inferior del lado opuesto a la alimentación. La profundidad del lecho varía de los 0.45 m a 1 m y tiene una pendiente de hasta un 1%.

Es de suma importancia que el agua que ingresa al humedal se mantenga en un nivel por debajo de la superficie (5 – 10 cm), esto es posible regulando el nivel del dispositivo de salida, este dispositivo consta de un tubo de drenaje cribado (agujerado).

El agua residual no ingresa directamente al medio granular principal (cuerpo), sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño. El diámetro de la grava de ingreso y salida oscila entre 50 mm a 100 mm. La zona de plantación está constituida por grava fina de un solo diámetro, en entre 3 mm a 32 mm (Oscar Delgadillo *et al*, 2010).

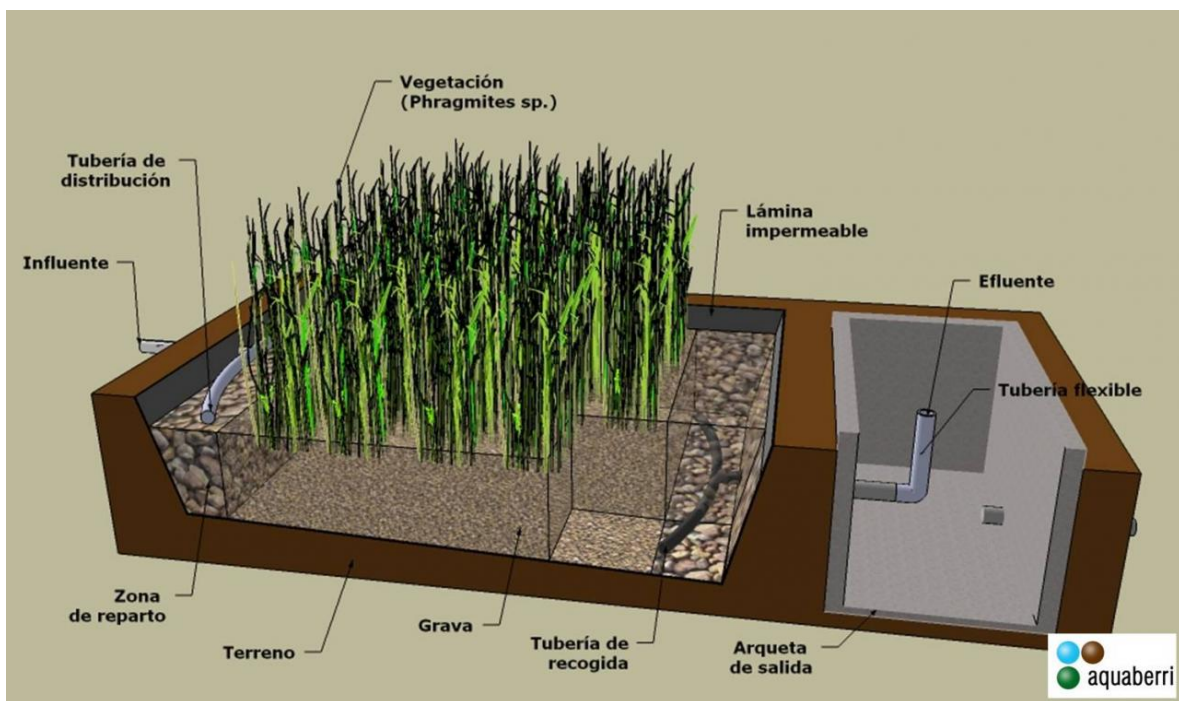


FIGURA 28 HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL, AQUABERRI.COM

5.4.4 Principales componentes de un humedal artificial

A continuación se da una breve descripción de los principales elementos que componen un humedal artificial.

Agua residual

El agua residual es la razón de ser de todo tipo de tratamiento, como ya vimos este sistema puede tratar aguas residuales con diferentes características; dentro del sistema el agua residual es el elemento móvil y dentro de esta es donde se dan una serie de reacciones que dan como resultado la depuración de las misma, el agua debe cumplir ciertas condiciones físicas e hidrológicas para poder llevar a cabo el tratamiento además estas condiciones están íntimamente ligadas a diversos factores como lo son el estado de oxidación del lecho, la disponibilidad de nutrientes, sanidad y diversos factores abióticos.

Sustrato o medio de soporte

El sustrato o medio de soporte está constituido por arenas, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación.

El tamaño del medio granular afecta directamente al flujo hidráulico del humedal y por ende en el caudal de agua a tratar. Si el lecho granular está constituido por elevadas cantidades de arcilla y limo, se consigue una mayor capacidad de absorción y una mejor filtración, ya que la adsorción es alta y el diámetro de los huecos es pequeño. Pero también este medio presenta una elevada resistencia hidráulica y requiere velocidades de flujo muy bajas, limitando el caudal a tratar (Arias, 2004).

La característica principal del sustrato es la de contar con una permeabilidad óptima para permitir el paso del agua residual, esto nos obliga a utilizar un material bien seleccionado además de conocer bien sus características ya que en base a este tipo de material esta determinada la velocidad con la que se transportara el agua.

Por otra parte el medio de soporte, sedimentos y vegetación son importantes por lo siguiente:

- Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del sustrato.
- Almacenan muchos contaminantes.
- La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, fijación de microorganismos y es una fuente de carbono que es a la vez, la fuente de energía

para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal (Lara, 1999).

Finalmente el sustrato también es el medio de soporte de la vegetación y microorganismos que llevan a cabo el tratamiento de las aguas.

Vegetación

El papel de las plantas en los sistemas de humedales construidos viene determinado fundamentalmente por las raíces y rizomas enterrados. Estas plantas denominadas macrófitos; éste término incluye plantas vasculares que tienen tejidos que son fácilmente visibles. Se trata de organismos fotoautótrofos, que recogen la energía solar para transformar el carbono inorgánico de la atmósfera en carbono orgánico. Tienen la habilidad de transferir oxígeno desde la atmósfera a través de las hojas y tallo hasta el medio donde se encuentran las raíces. La mayoría de este oxígeno es usado por la raíz de la planta y su disponibilidad es limitada para la actividad microbiana. Pero parte de este oxígeno puede crear microambientes aerobios y se pueden producir reacciones aerobias de degradación de materia orgánica y nitrificación (Arias, 2004).

Existen una gran variedad de plantas que se pueden utilizar dentro de un humedal artificial, pero solo pocas han sido estudiadas para determinar el rendimiento de estas, las más comunes son las siguientes:

- Carrizo (*Phragmites australis*)

Muy parecida a la caña o carrizo común, se diferencia de ésta por su menor tamaño y su floración. Se identifica fácilmente por ser una planta muy robusta, perenne, provista de tallos rígidos, gruesos y muy duros, que pueden llegar a alcanzar una altura de hasta 3 m.

El carrizo crece en aguas poco profundas, en cenagales o a las orillas de los ríos en donde a lo largo del verano se le puede encontrar en grupos tan apretados que son prácticamente impenetrables. El carrizal posee una importancia ecológica excepcional, ya que a su amparo se crían multitud de especies de aves, entre las que cabe mencionar el carricero común (*Acrocephalus scirpaceus*), huidizo y pequeño pájaro que teje su nido empleando como base las cañas. Tampoco es raro observar entre estas formaciones vegetales a algún mamífero, como la rata de agua, reptiles del tipo de la culebra viperina o galápagos.



FIGURA 29 CARRIZO (*PHRAGMITES AUSTRALIS*).

- Caña de castilla (*Arundo donax*)

Es una planta hidrófita que se encuentra en pastos y en humedales de muchas zonas climáticas. Es la mayor de las especies del género *Arundo* y es una de las más altas entre las gramíneas herbáceas (hasta 10 m de altura). La flor, que aparece en verano, se presenta como grandes penachos de panículas de 30 a 60 cm, posicionados en la parte terminal.

Es una planta que tolera una amplia variedad de condiciones ecológicas; florece en todo tipo de suelo, desde suelo arcilloso hasta arenas sueltas y suelo de grava, pero la planta produce el crecimiento más vigoroso en suelo muy drenado con disponibilidad de humedad: el ambiente que la favorece es a lo largo del margen de lagos o ríos, acequias y canales. Tolera exceso de salinidad y podría sobrevivir a períodos de grave sequía acompañada de baja humedad atmosférica o períodos con exceso de humedad.



FIGURA 30 CAÑA DE CASTILLA (ARUNDO DONAX).

- Junco (*Juncus effusus*)

Se trata de una planta perteneciente a la familia de las juncáceas, herbácea, perenne y rizo matosa. Es planta acuática muy extendida por los países mediterráneos, y zonas de Irlanda y Gran Bretaña, este *Juncus effusus* o junco fino, se le conoce también como junco de esteras. Sus tallos lisos de color verde claro y de aspecto cilíndrico de alrededor de los 5 milímetros de diámetro, en condiciones favorables pueden alcanzar alturas entre los noventa centímetros y el metro y medio.

El *Juncus effusus* o junco fino aunque crece de forma silvestre, es también es una planta muy utilizada en la regeneración del paisaje, en especial de zonas húmedas tanto costeras como de interior. Para ello se cultiva en viveros especializados, normalmente en bandejas de alvéolo forestal.



FIGURA 31 JUNCO (*JUNCUS EFFUSUS*)

- Espadaña (*Typha*)

Planta perenne, rizo matosa, de 1-3 m. Tallos cilíndricos. Hojas casi todas basales, lineares, de más de 15 mm de anchura. Flores unisexuales dispuestas en un espádice compacto con aspecto de puro, las femeninas en su parte inferior, más ancha y de color oscuro o negro, y las masculinas en la superior, más estrecha y amarillenta. Las flores femeninas carecen de bractéolas. Es común encontrarlas en suelos inundados en orillas de cursos de agua, charcas y canalizaciones.



FIGURA 32 Espadaña (*Typha*)

- Iris amarillo (*Iris pseudacorus*)

Entre las diferentes especies enmarcadas dentro de 'Plantas de rivera o margen' se encuentra el *Iris pseudacorus*, también conocido como 'lirio amarillo', 'Espadaña amarilla' y 'Ácoro amarillo' por ejemplo.

Se trata de una planta perenne de la familia de las Iridaceae que crece en el margen de cursos de aguas de ciertas profundidades y por lo tanto muy bien en condiciones húmedas. Sus hojas son muy verdes, planas y estrechamente triangulares, partiendo del mismo rizoma, en el que dejan marcas a modo de escamas. Sus tallos pueden alcanzar hasta el metro y medio de altura.

Se puede destacar que el *Iris pseudacorus* o lirio amarillo, actúa en un nicho ecológico similar al de la *Typha* (a veces crecen juntas) y aunque es principalmente una acuática, sus rizomas pueden sobrevivir durante largos períodos de sequía. El *Iris pseudacorus* o lirio amarillo tiene la característica de absorber metales pesados por sus raíces, siendo así recomendado para la mejora de aguas.



FIGURA 33 IRIS AMARILLO (*IRIS PSEUDACORUS*).

Los principales aportes de las plantas son los siguientes:

- Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo.
- Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustrato.
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.

En la construcción de los dos tipos de humedales, es de vital importancia establecer la vegetación con la densidad apropiada. Si están disponibles, deben ser preferidas las plantas locales que estén adaptadas a las condiciones del sitio.

Aunque la siembra se puede hacer a partir de semillas, este método requiere bastante tiempo y control estricto del agua. Adicionalmente, presenta el problema del posible consumo de semillas por parte de los pájaros, por lo que es más aconsejable plantar mediante trasplante de rizomas al lecho previamente preparado

Microorganismos

Los microorganismos se encargan de realizar el tratamiento biológico. En la zona superior del humedal, donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno proveniente de la atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios. Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección (Arias, 2004).

Todos estos microorganismos son capaces de adaptarse a los cambios que se lleguen a tener dentro de las aguas residuales, además son capaces de extenderse con gran facilidad cuando cuentan con la energía necesaria, por otra parte si las condiciones son adversas tienen la capacidad de estar inactivas durante años.

Las sustancias tóxicas, pesticidas y/o metales pesados afectan considerablemente a estos microorganismos por lo que las aguas a tratar deben estar libres de estas sustancias.

Fauna

Los humedales proveen un hábitat para una rica diversidad de invertebrados y vertebrados.

Los invertebrados, como insectos y gusanos, contribuyen al proceso de tratamiento fragmentando el detritus (materia muerta proveniente de vegetales y animales) consumiendo materia orgánica. Las larvas de muchos insectos son acuáticas y consumen cantidades significativas de materia orgánica durante sus fases larvales.

Aunque los invertebrados son los más importantes en cuanto a la mejora de la calidad del agua, los humedales construidos también atraen a una gran variedad de anfibios, tortugas, aves, y mamíferos.

5.5 Ventajas y desventajas de un humedal de acuerdo a su tipo

Como todo sistema se tiene cosas positivas y negativas, a continuación enlistamos las principales ventajas y desventajas de este sistema.

Humedal artificial de flujo subsuperficial

Ventajas

- Proporcionan tratamiento efectivo y minimizan la necesidad de equipos mecánicos, electricidad y monitoreo de operadores calificados.
- Pueden ser menos costosos de construir, de operar y mantener, que otro tipo de sistema de tratamiento de aguas.
- No producen biosólidos ni lodos residuales que requerirían tratamiento subsiguiente y disposición.
- Son muy efectivos en la degradación de la materia orgánica (DBO 5 , la DQO), los metales y algunos compuestos orgánicos persistentes que se encuentran en las aguas residuales domésticas. La remoción de nitrógeno y fósforo a bajos niveles puede ser también efectiva con un tiempo de retención significativamente mayor.
- Los mosquitos y otros insectos vectores similares no son problema, mientras el sistema se opere adecuadamente y se mantenga el nivel subsuperficial de flujo.

Desventajas

- Requieren un área extensa en comparación con los sistemas mecánicos convencionales de tratamiento.
- El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos persistentes que no son removidos, permanecen en el sistema ligados al sedimento y se van acumulando.
- En climas fríos las bajas temperaturas durante el invierno reducen la tasa de remoción de materia orgánica; puede no ser factible desde el punto de vista económico o técnico.
- Al reducir el contenido de coliformes fecales en al menos un orden de magnitud, podría ser insuficiente para cumplir con los límites de descarga en todas las localidades; quizá requeriría desinfección subsiguiente.

Humedal de flujo superficial

Ventajas

- Los humedales de flujo superficial dan un tratamiento a las aguas de forma muy simple y prácticamente nulifica el uso de equipo mecánico, eléctrico y la obra de mano especializada.

- Además consecuencia de lo comentado en el punto anterior los costos de construcción, operación y mantenimiento de este sistema bajan de manera considerable.
- En condiciones de clima óptimas (clima cálido) es posible dar un tratamiento de nivel terciario a las aguas residuales.
- Este tipo de sistema, además del tratamiento de las aguas residuales proporciona un espacio verde al entorno y son visiblemente agradables además puede generar un hábitat de vida silvestre.
- No se producen biosólidos ni lodos residuales que requerirían tratamiento.
- La remoción de DBO, SST, DQO, metales y compuestos orgánicos refractarios de las aguas residuales domésticas puede ser muy efectiva con un tiempo razonable de retención.

Desventajas

- Las extensiones de terreno requeridas por los humedales de flujo superficial pueden ser grandes.
- En climas fríos las bajas temperaturas durante el invierno reducen la tasa de remoción de DBO y de las reacciones biológicas responsables por la nitrificación y desnitrificación.
- Un aumento en el tiempo de retención puede compensar por la reducción en esas tasas pero el incremento en el tamaño de los humedales en climas extremadamente fríos puede no ser factible desde el punto de vista económico o técnico.
- Los mosquitos y otros insectos vectores de enfermedades pueden ser un problema.
- Los humedales artificiales de flujo superficial pueden remover coliformes fecales del agua residual municipal, al menos en un orden de magnitud. Esto no siempre es suficiente para cumplir con los límites de descarga en todas las localidades, por lo cual podría requerirse desinfección subsiguiente. La situación puede complicarse aun más debido a que las aves y otras especies de vida silvestre producen coliformes fecales.

5.6 Operación y mantenimiento.

Mantenimiento: El mantenimiento de un humedal debe implicar sólo un día a la semana o menos (US EPA1999):

- Se requiere un trabajo anual que incluyendo quitar, quemar, afinar, o replantar vegetación puede ser beneficioso si el flujo es dañado (Hammer 1998).
- Una dispersión uniforme de la comunidad de plantas debe ser mantenida para asegurar el tratamiento efectivo.
- Puede requerir el recorte de vegetación y control de erosión. La eliminación periódica de semillas extranjeras de árboles de la cama de humedal puede ser necesario.
- El humedal debe ser revisado con regularidad para uniformidad de flujo, para los olores indeseables, y para la integridad de [Berms]. La invasión de plantas, de insectos, y de animales deben ser observados y quitados.
- Si deseado, se puede monitorear el agua químicamente para asegurar el funcionamiento del humedal o investigar la eficiencia del humedal construido. Esto aumentará el costo y el tiempo requerido para el mantenimiento, pero es un indicador útil del tratamiento exitoso de aguas negras. Los parámetros importantes para controlar incluye pH, oxígeno disuelto (DO), los sólidos suspendidos (SS), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD), y Coliforme (Purdue 1999; Hammer 1989).

5.7 Métodos de diseño de humedales de flujo subsuperficial

Existen una variedad de métodos para el diseño de los humedales y de estos depende que se reduzca de manera significativa la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), los sólidos suspendidos totales (SST), patógenos, nitrógeno y metales.

Los mecanismos básicos del tratamiento son la sedimentación, la precipitación química, la adsorción, las interacciones microbianas y la ayuda de la vegetación.

A continuación se describen los modelos más usados para el diseño de un humedal, y de los cuales cabe mencionar están propuestos por la Environmental Protection Agency (EPA) y la Comisión Nacional del agua (CONAGUA).

5.7.1 EPA, manual de diseño; humedales construidos y sistemas de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. Septiembre 1988

Remoción de DBO_5 .

La principal fuente de oxígeno para los componentes subsuperficiales (suelo, piedras, gravilla, y otro medio), es el oxígeno transmitido por la vegetación a la zona de las raíces. En muchos casos el sistema de flujo subsuperficial es diseñado para mantener el flujo debajo de la superficie del lecho, por lo tanto puede ser muy poca la reaccion directa con la atmósfera por esta razón la selección de la especie vegetal es un factor importante.

La remoción de DBO_5 en sistemas de flujo subsuperficial puede ser descrita con la cinética de primer orden de un flujo pistón como se describe en la ecuación 1, para sistemas de flujo libre. La ecuación 1 puede ser reorganizada y usada para estimar el área superficial de un humedal de flujo superficial.

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T - t) \dots (1)$$

$$A_S = \frac{Q * (\ln C_o - C_e)}{K_T * d * n} \dots (2)$$

Donde:

- C_e : DBO_5 efluente, mg/L
- C_o : DBO_5 afluente, mg/L
- K_T : constante de velocidad de reacción de primer orden, d^{-1}
- t: tiempo de residencia hidráulico, d
- Q: gasto promedio a través del sistema, m^3/d
- d: profundidad, m
- n: porosidad del lecho, como una fracción

A_S : área superficial del sistema, m^2

Cabe destacar que la EPA sugiere un ajuste por temperatura donde $K_{20} = 1.104d^{-1} a 20^\circ C$.

El área de sección transversal para el flujo a través de un sistema subsuperficial es calculado con la siguiente ecuación

$$A_C = \frac{Q}{K_S} * S \dots (3)$$

Donde:

- A_C : área de sección transversal del lecho del humedal, perpendicular a la dirección de flujo, m^2
- k_S : conductividad hidráulica del medio, $m^3/(m \cdot d)$

- S: pendiente del lecho, o gradiente hidráulico (como una fracción decimal).

El ancho del lecho es calculado por la siguiente ecuación.

$$W = \frac{A_c}{d} \dots (4)$$

Donde:

- W: ancho del lecho, m
- d: profundidad del lecho, m

El área de sección transversal y ancho del lecho son establecidos por la ley de Darcy, además son independientes de la temperatura (clima) y de la carga orgánica puesto que son controlados por las características hidráulicas del medio.

Cabe señalar que los mecanismos básicos de eliminación de DBO_5 son muy similares a los utilizados en humedales de flujo superficial, sin embargo, el área potencial de soporte a la biopelícula es mayor y hace que el proceso de eliminación sea más eficiente.

5.7.2 EPA, Construcción de humedales artificiales de flujo subsuperficial para tratamiento de aguas residuales; Una evaluación de la tecnología. Julio 1993

Diseño hidráulico.

Para las condiciones del flujo en el lecho del humedal subsuperficial se puede utilizar la ley de Darcy, la cual describe régimen de flujo en un medio poroso.

$$Q = K_s * A * S \dots (5)$$

Donde:

- Q: caudal promedio, m³/d.
- K_s : conductividad hidráulica de una unidad de área del humedal perpendicular a la dirección del flujo, m³/(m²·d)
- A: área de sección transversal perpendicular al flujo, m²
- S: gradiente hidráulico de la superficie del agua en el sistema, m/m

La ley de Darcy es una aproximación que nos puede ayudar a entender el comportamiento del humedal, sin embargo se tienen restricciones como la de asumir condiciones de flujo laminar, y que el flujo en el sistema es constante y uniforme.

Modelo de remoción para la DBO₅.

Muchos de los sistemas existentes en Estados Unidos y Europa fueron diseñados como un reactor de crecimiento biológico usando un modelo de flujo pistón de primer orden.

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T * t) \dots (6)$$

$$K_T = 1.104 * 1.06^{(T-20)} \dots (7)$$

Donde:

- C_e: DBO₅ efluente, mg/L
- C_o: DBO₅ afluente, mg/L
- K_T: constante de velocidad de reacción de primer orden, d⁻¹
- t: tiempo de residencia hidráulico, d
- T: temperatura del líquido en el sistema, °C

El tiempo de retención hidráulica en la ecuación (6) puede ser definido como:

$$t = \frac{n * L * W * d}{Q} \dots (8)$$

Donde:

- n: porosidad efectiva del medio, fracción decimal
- d: profundidad promedio del líquido en el lecho, m
- L: longitud del lecho, m
- W: ancho del lecho, m
- Q: Caudal promedio a través del lecho, m³/d

Al combinar las ecuaciones 6, 7 y 8 y reorganizando términos, podemos obtener una fórmula que nos permite calcular el área superficial necesaria para la remoción de la DBO.

$$A_s = L * W = \frac{Q * \ln \frac{C_0}{C_e}}{K_T * d * n} \dots (9)$$

Donde:

- A_s : área superficial del lecho, m²

Modelo de remoción para Amoniac

Para estimar dicha remoción se presentan tres modelos. El primero es un análisis de regresión de datos obtenido en sistemas de humedales de flujo subsuperficial y flujo libre para condiciones anuales promedio sin tener en cuenta el efecto de la temperatura.

$$A_s = \frac{0.01 * Q}{(1.527 * \ln NH_e) - (1.050 * \ln NH_0) + 1.69} \dots (10)$$

Donde:

- A_s : área superficial del humedal requerida para remover amoniac, ha
- NH_0 : amoniac afluente, mg/L
- NH_e : amoniac efluente, mg/L
- Q : caudal promedio a través del sistema, m³/d

Basado en un trabajo a escala piloto con humedales SFS, la siguiente ecuación presenta la remoción de amoniac.

$$A_s = \frac{Q * \ln \frac{NH_0}{NH_e}}{K_T * d * n} \dots (11)$$

$$K_T = 0.107 * 1.03^{(T-20)} \dots (12)$$

Donde:

- A_s : área superficial requerida, m²
- K_T : constante de velocidad, d⁻¹
- NH_0 : amoniac afluente, mg/L

- NH_e : amoníaco efluente, mg/L
- Q: caudal promedio a través del sistema, m³/d
- n: porosidad efectiva del medio, fracción decimal
- d: profundidad promedio del líquido en el lecho, m

De acuerdo a otro análisis de regresión de datos, se ha propuesto la siguiente ecuación para remover amoníaco en humedales artificiales.

$$A_s = \frac{0.001831 * NH_0 * Q}{NH_0 + 0.16063} \dots (13)$$

Donde:

- A_s : área superficial requerida, ha
- NH_0 : amoníaco afluente, mg/L
- NH_e : amoníaco efluente, mg/L
- Q: caudal promedio a través del sistema, m³/d

Además de estos métodos existen una cantidad considerable de propuestas para el cálculo y diseño de humedales de acuerdo al contaminante que se quiere remover, a continuación se mencionan solo algunos de estos métodos.

- Borrero Jaime, Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Mayo 1999.
- SQAE Canadá y otros, estudios técnicos de sustitución aplicables al saneamiento de aguas servidas de pequeñas comunidades. Noviembre 1999.
- EPA, MANUAL; Constructed wetlands treatment of municipal waste waters. Septiembre 2000.
- WALLACE SCOTT D. University curriculum development for decentralized wastewater treatment; constructed wetlands: design approaches. Diciembre 2003.

6 Diseño de humedal

Con base en las condiciones que se tienen en la comunidad de chignahuapan y en específico la problemática que se tiene para el tratamiento de las aguas residuales mediante la fosa séptica ya existente, se propone que el humedal a implementar sea familiar.

Las razones por las que se elige un humedal familiar y no uno comunitario se enlistan a continuación:

- Actualmente la fosa no está en operación.
- Hay dos puntos de descarga dentro de la red de drenaje.
- Una sección de la población no cuenta con drenaje.
- Un porcentaje considerable de la población no le interesa conectarse al drenaje.
- El tratamiento de las aguas a nivel familiar tienen un costo más bajo que de manera "global".
- El efluente del tratamiento puede ser reutilizado.

6.1 Elección del tipo de humedal a trabajar

La elección del tipo de humedal a utilizar se fundamenta en las características del mismo y las ventajas y desventajas que nos llegan a ofrecer cada sistema.

Los humedales pueden reducir significativamente la demanda biológica de oxígeno (DBO_5), los sólidos suspendidos (SS), el nitrógeno, los metales y patógenos. Los mecanismos básicos del tratamiento son la sedimentación, la precipitación química, la adsorción, las interacciones microbianas y la ayuda de la vegetación.

Como se menciona en párrafos anteriores el humedal será familiar por lo que se debe evitar lo mas posible el contacto de las aguas no tratadas o en proceso de tratamiento con las personas, además se deben evitar los malos olores y la proliferación de insectos y mosquitos, finalmente debido a su configuración el área requerida es menos en comparación con los humedales de flujo superficial.

Poe estas razones el tipo de humedal a trabajar el de flujo subsuperficial.

6.2 Diseño de humedal de flujo subsuperficial

Para poder comenzar con el diseño del humedal es necesario contar con una serie de datos como lo es la temperatura media del lugar, temperatura del agua, población, etc.

6.2.1 Características del sitio

Ubicación

Como se menciona en el capítulo dos, esta comunidad se encuentra en el estado de Puebla, municipio de Chignahuapan, sus colindancias son al Norte con San Miguel Pedernales, al Sur:San Claudio y Paredón, al Este San Francisco Terrerillos y Corral Blanco y al Oeste con Comunidades pertenecientes al Estado de Hidalgo.

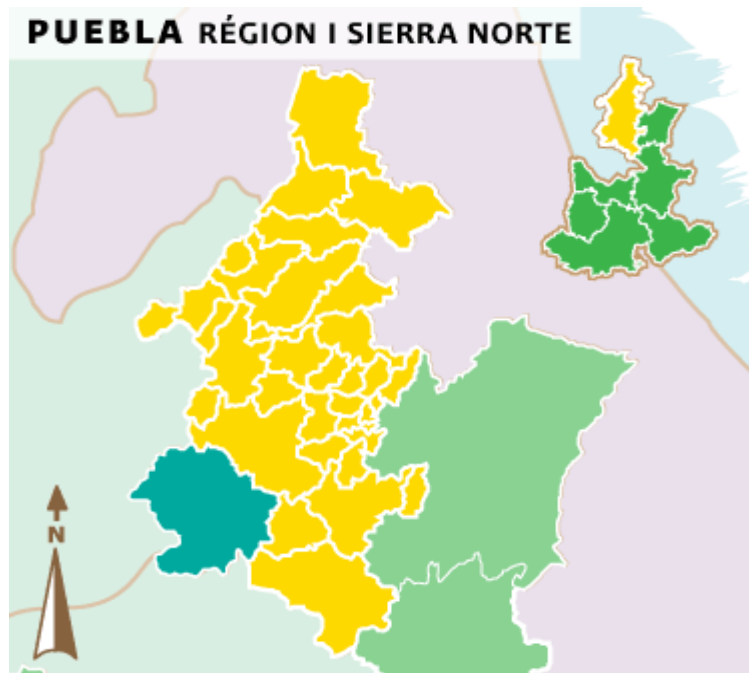


FIGURA 34 En color azul el municipio de Chignahuapan, www.inafed.gob.mx/

Ecosistema

Se cuenta con bosques de coníferas, principalmente de pinos, asociaciones boscosas de pino-encino y oyamel, también son comunes los arbustos; cuenta con especies tales como ocote, trompillo, pino de patula, pino de lacio, aile, madroño, encino, tesmilillo, jarilla, pino chino, laurelillo, encino y oyamel.

Aunque cabe destacar que actualmente de deforestación es muy considerable por lo que estos bosques son cada día mas acechados.

Clima

El clima en esta zona es semifrío, la temperatura media anual es de 12 grados de acuerdo a datos del sistema Meteorológico Nacional (SMN), Durante el verano-otoño predominan intensas lluvias, y numerosas heladas en los meses de diciembre-febrero.

Población de diseño.

En este caso como el humedal es familiar, se tomara como población base al promedio de personas por familia, que para este caso es de 6 personas por familia, en caso de ser menos o mayor el número de personas en la familia se deberá hacer el ajuste.

Para el diseño se toma como base 6 personas.

6.2.2 Datos de diseño

- Características de las aguas residuales.

Para este caso nos basaremos en los valores establecidos por la CONAGUA (DBO, SST), los cuales vienen descritos en las siguientes tablas.

Parámetro	Concentración (mg/L)		
	Literatura internacional ^a	México D. F. ^b	Guadalajara ^c
Sólidos Disueltos Totales	250 – 850	1447	931
Sólidos Suspendedos Totales	100 – 350	252	364
Sólidos Sedimentables (ml/L)	5 – 20	2	3.7
DBO	110 – 400	219	282
COT	80 – 290	SD	SD
DQO	250 – 1000	576	698
Nitrógeno Total	20 – 85	35	52.8
Fósforo Total	4 – 15	10	19
Grasas y Aceites	50 – 150	58	156
pH (unidades de pH)	SD	7.88	7.3
Conductividad eléctrica (µS/cm)	SD	2052	1288
Coliformes totales (NMP/100ml)	10 ⁶ – 10 ⁹	8.6E+07	2.24E+07 (como fecales)
COV µg/l	<100 - >400	SD	SD
Huevos de Helminto (H/L)	SD	161	58

Adaptada de: ^aMetcalf & Eddy, 1991; ^bCNA, *et al.*, 1995; ^cCNA, *et al.*, 1998

Tabla 4 Características de las aguas residuales domésticas, CONAGUA (MAPAS).

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																					
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)		
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)				
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Materia Flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	
Sólidos Sedimentables (m/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2	
Sólidos Suspendedos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150	
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	

(1) Instantáneo (2) Muestra Simple Promedio Pondera (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006. P.D.= Promedio Diario; P.M. = Promedio Mensual; N.A. = No es aplicable. (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

Tabla 5 Límites máximos permisibles de contaminantes, NOM-001-ECOL-1996.

Vegetación

Para este diseño tomaremos primer opción el carrizo, debido a que es una especie que crece de forma natural en esta zona por lo que esta especie podemos decir que esta aclimatada, además de ser una de las especies mas estudiadas y con mejores resultados en humedales artificiales; logran muy buen recubrimiento en un año con separación de 0.6 m. Los sistemas que utilizan carrizo pueden ser más eficientes en la transferencia de oxígeno porque los rizomas penetran verticalmente, y más profundamente que los de las espadañas, aunque menos que los juncos (aproximadamente 0.4 m).

Medio de soporte o sustrato

El material que se va a utilizar es una **Arena gravosa** ya que de acuerdo a lo observado se ha determinado que este es el sustrato más adecuado en el tratamiento de aguas residuales o aguas grises para los países en desarrollo o países en transición (con clima cálido hasta templado).

Es importante considerar que en los tubos de entrada y de salida deben ser cubiertos con 10 a 20 cm de grava. En el humedal de flujo horizontal no siempre se utilizan tubos, pero si se debe llenar totalmente con grava o piedra una longitud de 50 cm en todo el ancho de entrada y salida. La capa de grava no contribuye al proceso de filtración, pero si a la distribución. Su función es proteger el área de entrada, distribuyendo efectivamente el agua que entra en el humedal y evitando su acumulación en la superficie, mientras que en la salida la grava asegura que la arena del lecho filtrante se mantenga dentro del humedal y que no se pierda con el efluente.

Finalmente tenemos algunas recomendaciones sobre el sustrato a utilizar:

- La arena debe tener una capacidad hidráulica (valor kf) aproximado de 3,10 a 4,10 m/s.
- El espesor de la capa de filtración de la arena debe tener unos 40 a 80 cm.
- El sustrato no debe contener arcilla, limo, ni otro material fino, además no debe tener bordes afilados.

Finalmente se muestra en la siguiente tabla las propiedades y características de los materiales de soporte mas usados en la construcción de humedales de flujo subsuperficial.

MATERIAL	TAMAÑO EFECTIVO (mm)	POROSIDAD (P) (%)	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (m ³ /m ² -d)
Arena gruesa	2	28 - 30	100 - 1000
Arena gravosa	8	30 - 35	500 - 5000
Grava fina	16	35 - 38	1000 - 10,000
Grava media	32	38 - 40	10,000 - 250,000
Grava gruesa o roca	128	40 - 45	50,000 - 250,000

Tabla 6 Características de los materiales usados como filtro en humedales artificiales.

6.2.3 Cálculo y dimensionamiento

A continuación se realiza el cálculo de las dimensiones de un humedal en base a la reducción de DBO, los valores para la DBO son los correspondientes

Valores de las variables que se conocen-

DBO afluente = 300 mg/l

DBO efluente = 30 mg/l

SST = 350 mg/l

Temperatura del agua residual = 13 °C

Q = 0.675 m³/día

El gasto (Q) se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q_{med} = \frac{P D}{86,400}$$

Donde:

P: población, en este caso son 6.

D: dotación.

86 400 segundos/día.

Al no tener hasta el momento datos específicos de la dotación que se tiene en la comunidad, nos basaremos en las recomendaciones del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la CONAGUA.

De acuerdo con dicho manual y la información climatológica de la localidad, podemos considerar que nos encontramos en un clima templado.

La dotación se considera de 100 l/hab/día.

La aportación de aguas negras es del 75% de la dotación, la cual es igual a 74 l/hab/día, por lo que:

$$Q = \left(\frac{100 * 6}{86400} \right) * 0.75 = 0.00781 \text{ l/seg} = 0.675 \text{ m}^3/\text{d}$$

Una vez definidos los parámetros de diseño procederemos a calcular el valor de K_T , tal y como se comentó el valor de K_{20} es de 1.104 d^{-1} y la temperatura de 13°C

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

Sustituyendo:

$$K_T = 1.104 * 1.06^{(13-20)} = 0.734 \text{ d}^{-1}$$

A continuación calculamos el área superficial del humedal:

$$A_s = \frac{Q * \ln \frac{C_0}{C_e}}{K_T * d * n}$$

Donde:

$$C_e = 300 \text{ mg/L}$$

$$C_0 = 30 \text{ mg/L}$$

$d = 0.60 \text{ m}$, altura recomendada para humedales subsuperficiales.

$$n = 0.30$$

$$A_s = \frac{0.675 (\ln 300 - \ln 30)}{0.734 * 0.6 * 0.30} = 9.28 \text{ m}^2$$

Una vez obtenida el área superficial procedemos a calcular el tiempo de retención hidráulica, dado por la siguiente ecuación.

$$TRH = \frac{A_s * h * n}{Q}$$

Sustituyendo:

$$TRH = \frac{9.28 * 0.6 * 0.30}{0.675} = 3.13 \text{ días.}$$

Ya que tenemos el tiempo de retención y el área superficial necesaria de nuestro humedal únicamente nos hace falta definir el largo y el ancho del mismo.

Esta relación (largo-ancho) tiene gran influencia en el régimen hidráulico y en la resistencia del flujo del sistema. En teoría grandes relaciones largo-ancho 10:1 o mayores asegurarían un flujo a pistón, pero tienen el gran inconveniente de que en la parte alta desbordan debido al incremento en la resistencia al flujo causado por la acumulación de residuos de vegetación principalmente.

Por lo tanto relaciones de 1:1 hasta 4:1 son aceptables, en este caso tomaremos como base de diseño la relación 3:1, por lo que:

$$A_s = L * W$$

Y si tenemos una relación 3:1 esto significa que $L=3W$, sustituyendo en la ecuación anterior

$$A_s = 3W * W = 3W^2$$

$$W = \sqrt{A_s/3} = \sqrt{9.28/3} = 1.75 \text{ m}$$

El largo del humedal es de:

$$L = 3W = 3 * 1.75 = 5.27 \text{ m}$$

A continuación presentamos un resumen en una tabla con los valores y especificaciones de nuestro humedal.

6.2.4 Construcción de humedal

El diseño de este humedal es de una celda y la construcción tendrá los siguientes componentes:

- **Muros perimetrales:** estos deberán ser de mampostería o material impermeable de una altura mayor a 90 centímetros a partir del nivel de desplante, esto debido a que la altura del humedal es de 60 cm, de esta forma evitamos cualquier tipo de derrame.
- **Soporte de fondo:** con el fin de evitar filtraciones de aguas residuales al subsuelo se deberá hacer una plantilla de concreto, el cual también deberá ser impermeabilizado al igual que las paredes de los muros perimetrales, es importante considerar que este soporte deberá tener una pendiente (1%, recomendado) esto con el fin de que las aguas reconozcan el punto de salida.
- **Dispositivos de alimentación y desalajo de aguas:** La forma en que se alimenta y desalaja las aguas el humedal será mediante tuberías de pvc, las cuales tendrán una configuración en "T" y deberán ir perforadas de manera equidistante esto con el fin de que la distribución y desalajo de las aguas sea de manera equitativa.

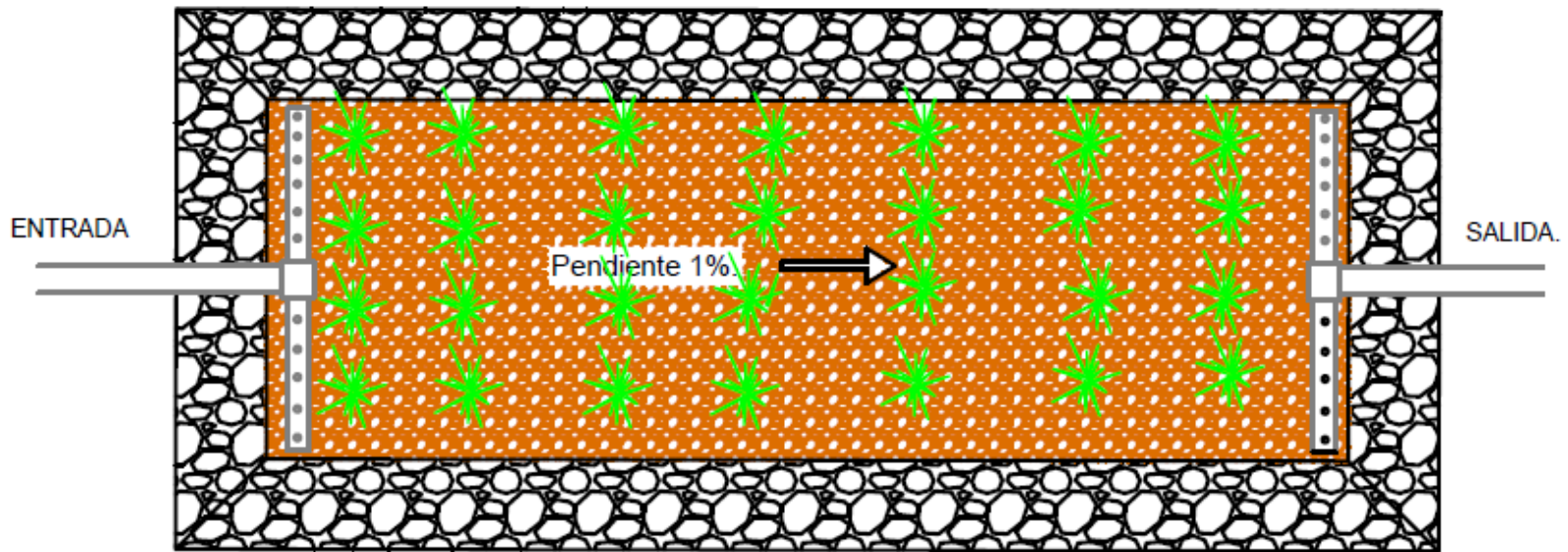


FIGURA 35 Vista de planta, elaboración propia.

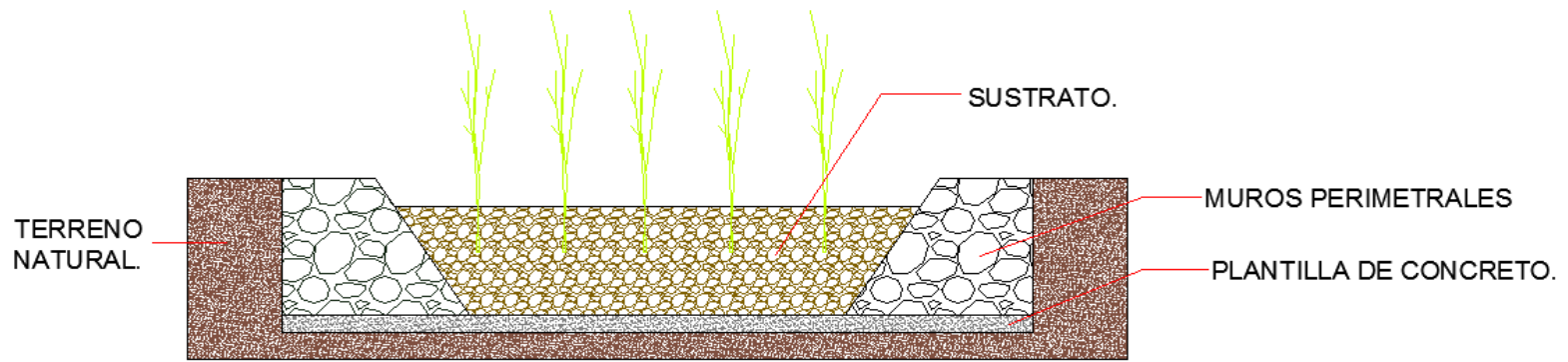


FIGURA 36 Sección transversal de un humedal, elaboración propia.

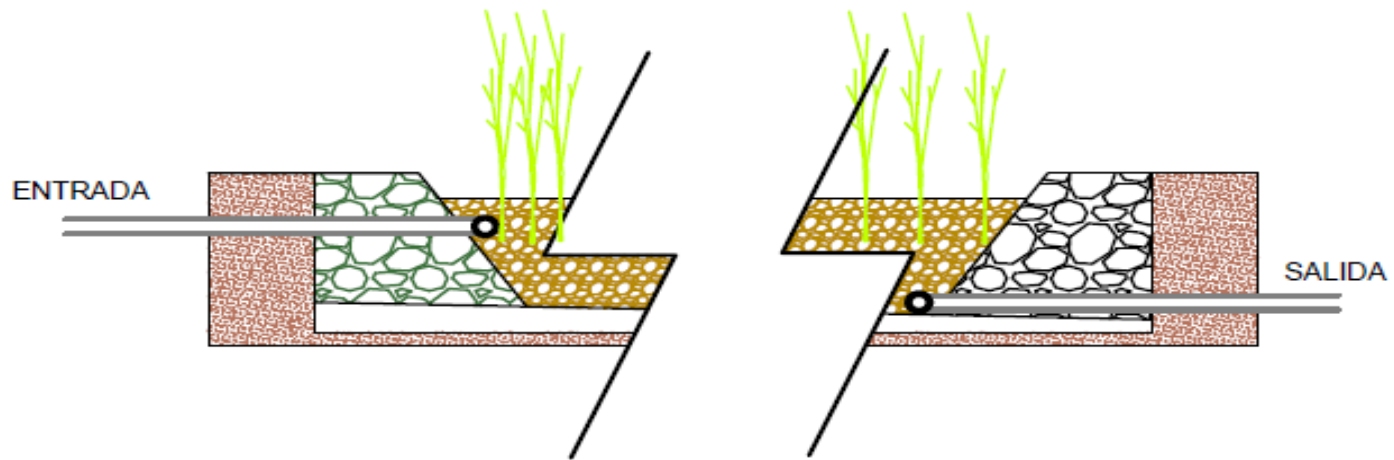


FIGURA 37 Cortes a la entrada y salida, elaboración propia.

6.2.5 Operación y Mantenimiento

Operación

Las tareas para la consideración del operador y por lo tanto para el diseñador son:

- Cuando el lodo se acumula en la zona de entrada del humedal, el lecho filtrante tiene que ser sacado de operación para que pueda secar. En el peor de los casos, todo el material del filtro afectado en el área de entrada tiene que ser cambiado. Hasta que el material del filtro no sea cambiado, el humedal no puede operar ni tratar las aguas residuales.
- Especialmente en el caso de este tipo de humedales de flujo horizontal es recomendable tener la posibilidad de vez en cuando de represar el agua en el lecho filtrante por completo para poder controlar el crecimiento de las plantas de los humedales.
- Con el fin de garantizar la suficiente aireación del lecho filtrante es recomendable tener la opción de bajar el nivel del agua hasta la parte inferior del humedal.

Mantenimiento

Aunque se puede decir que un humedal artificial es un sistema “natural” y opera casi de manera autónoma, no está exento de un cierto nivel de mantenimiento adecuado por parte de una persona capacitada con los conocimientos básicos.

Las principales actividades operativas necesarias para mantener el lecho filtrante de los humedales artificiales incluyen la revisión periódica de:

- Las estructuras de entrada para revisar obstrucciones y nivel de agua
- Las estructuras de salida para revisar el nivel de agua
- Enfermedades en la vegetación de los humedales, insectos, etc. (quitar las malas hierbas y plantas depredadores hasta que la vegetación de los humedales está plenamente establecida).
- En caso de lluvias puede causar que los sólidos que se asentaron previamente se liberen hacia las aguas de superficie. Esto debe ser evitado permitiendo que la salida este siempre abierta, y manteniendo el humedal en su nivel de agua natural.

Si se ignora el mantenimiento del humedal se corre el riesgo de que la distribución de las aguas residuales sea irregular, además de generar malos olores debido al estancamiento de aguas y como consecuencia una eficiencia de tratamiento por debajo de lo esperado.

En caso de que el efluente del humedal vaya a ser utilizado o manipulado por las personas también es muy importante estar monitoreando la calidad del efluente esto con el objetivo de que se cumplan los niveles de tratamiento de diseño.

6.3 Conclusiones y comentarios

Con base en toda la problemática señalada en este trabajo podemos decir que el tratamiento de las aguas residuales puede ser posible sin necesidad de recurrir a las instalaciones ya hechas en el lugar (fosa séptica), esto no quiere decir que se abandone dicha obra, simplemente podemos hacer que el agua pueda ser reutilizada en otras actividades antes de ser vertida en la red de drenaje.

Durante nuestra estancia en la comunidad se llevaron a cabo varios proyectos en los cuales se puede reutilizar el agua tratada mediante el humedal, en específico nos referimos al proyecto de milpa sustentable y huertos de traspatio.

Estos proyectos fueron llevados por compañeros pertenecientes a la brigada que estuvo trabajando en dicha comunidad; si además tomamos en cuenta en una gran parte de las personas de la comunidad usan parte de su propiedad para sembrar diferentes productos, como lo es el maíz, frijol y algunas verduras esta se convierte en una opción totalmente viable.

6.4 Actividades en las cuales se tuvo participación

Taller Milpa Sustentable



Huertos de traspatio



Cursos de verano



Ferias de la salud



Actividades deportivas



Bibliografía

- Morales Jurado, Ana Delfina; **Diagnostico Socio comunitario de San Francisco Acoculco, Chignahuapan, Puebla.** Escuela Nacional de Trabajo Social, UNAM, Modelo De Atención Integral Comunitaria, febrero 2013.
- CONAGUA, **Estadísticas del Agua en México, Edición 2014.**
- Enrique C. Valdez, Alba B. Vázquez González, **Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales.** Fundación ICA 2003.
- Metcalf & Eddy, inc. **Tratamiento y depuración de las aguas residuales.** Mc Graw Hill, Madrid 1995.
- CONAGUA, **Diseño de lagunas de estabilización.** Diciembre 2007.
- CONAGUA, **Guía para el manejo, tratamiento y disposición de lodos residuales de plantas de tratamiento municipales.** Diciembre 2007.
- CONAGUA, **Paquetes tecnológicos para el tratamiento de excretas y aguas residuales en comunidades rurales.** Diciembre 2007.
- Cesar G. Calderón Mólgora, CONAGUA, IMTA, **Identificación y descripción de sistemas primarios para el tratamiento de aguas residuales.**
- Cesar G. Calderón Mólgora, CONAGUA, IMTA, **Identificación de sistemas naturales para el tratamiento de aguas residuales.**
- Organización Panamericana de la Salud, **Guía para la operación y mantenimiento de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización.** Lima 2005.
- EPA, Folleto informativo de tecnologías de aguas residuales, **Humedales de flujo subsuperficial.** Septiembre 2000.
- EPA, Folleto informativo de tecnologías de aguas residuales, **Humedales de flujo libre superficial.** Septiembre 2000.
- Javier Mena Sanz, Congreso nacional del medio ambiente. **Depuración de aguas residuales con humedales artificiales.**
- EPA, **Guía para el diseño y construcción de un humedal construido con flujo subsuperficial.** Agosto 1993.
- Tesis de Licenciatura UNAM, Márquez Vázquez Marjorie, **Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la escuela nacional de estudios profesionales Aragón, empleando eco tecnologías (Humedales Artificiales).** 2003.

- Tesis de Maestría UNAM, **De León Ibarra Juan Francisco, Estabilización de lodos de fosas sépticas en un humedal artificial.** 2011.
- Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F. Pérez y Mauricio Andrade. **Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.** Bolivia 2010.
- Dra. Heike Hoffmann, Dr Christoph Platzer. **Revisión técnica de humedales artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas.** Eschborn 2011.