

8727/15



**UNIVERSIDAD DON VASCO,  
A.C.**

INCORPORACIÓN No. 8727-15 A LA

UNIVERSIDAD

NACIONAL AUTÓNOMA

DE MÉXICO.

---

TESIS PROFESIONAL PARA OBTENER, EI  
TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

Tema: Diseño Conceptual del Tratamiento de  
las Aguas Residuales Vertidas en el Canal la  
Camelina del Barrio de Santo Santiago en  
Uruapan, Mich. Méx.

PRESENTA:

**VICENTE ARTURO ALVAREZ  
APAN.**

Uruapan, Michoacán; verano de 2004.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA:

A MIS PADRES: POR FORMAR MIS PRINCIPIOS Y CRITERIOS,  
ESENCIALES PARA MI VIDA COMO PERSONA.

A MIS MAESTROS: POR TRANSMITIRME SU CONOCIMIENTO.

A MIS CONDÍSCIPULOS: POR MOTIVARME EN CADA PASO HACIA  
ADELANTE.

A MIS HERMANOS: POR BRINDARME SU APOYO SIEMPRE.

A MI ESPOSA E HIJO: POR SU INFINITO APOYO Y MOTIVACIÓN.

CON ESPECIAL SENTIMIENTO A MI “ALMA MATER”

LA UNIVERSIDAD DON VASCO.

Y

LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL.

POR FORMARME EN EL MUNDO DE LA INGENIERÍA CIVIL

AGRADECIMIENTOS:

A MI ASESOR ING. CARLOS PÉREZ ÁNGELES POR APOYARME EN LA  
REALIZACIÓN DE ESTA TESIS.

AL ING. LUIS MARTINEZ ARMAS POR SU COLABORACIÓN CON LOS  
DATOS DE LOS NUEVOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO.

AL BIÓLOGO ERNESTO CEBALLOS UZETA POR SU COLABORACIÓN  
CON DATOS CLAVES EN ESTA TESIS.

AL PATRONATO DEL BARRIO DE SANTO SANTIAGO POR SU GRAN  
RESPONSABILIDAD PARA CON SU ENTORNO Y SU APOYO  
PARA LA REALIZACIÓN DE ESTA TESIS.



**INDICE**

Página

<b>I.- LA CONTAMINACIÓN.</b>	<b>3</b>
I.1.- ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN.	3
I.2.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ORGANOLEPTICAS.	6
I.3.-CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES.	10
I.4.-DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS.	25
I.5.- OXÍGENO DISUELTOS Y DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (D.B.O.).	29
I.6.- AUTO PURIFICACIÓN.	31
I.7.- DISPOSICIONES GENERALES DE DISEÑO.	34
I.7.1.- NECESIDAD DEL TRATAMIENTO.	34
I.7.2.-ASPECTOS LEGALES DE LA DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS.	37
I.7.3.- DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE TRATAMIENTO.	41
<b>II.- MÉTODOS DE TRATAMIENTO.</b>	<b>52</b>
<b>II.1.-PRETRATAMIENTO.</b>	<b>52</b>
II.1.1.- CRIBAS.	53
II.1.2.- TIPOS Y DISPOSITIVOS DE CRIBADO.	53
II.1.3.- DISEÑO DE DISPOSITIVOS DE CRIBADO.	54
II.1.4.-MECANISMOS DE LIMPIEZA.	57
<b>II.2.- DISPOSITIVOS DE REMOCIÓN DE ARENAS.</b>	<b>57</b>
II.2.1.-TIPOS DE UNIDADES PARA REMOCIÓN DE ARENAS.	58
II.2.2.-FUNDAMENTOS.	59
II.2.3.-CONTROL DE VELOCIDAD.	60
II.2.4.- DISEÑO DE CÁMARA DESARENADORA.	63
<b>II.3.-DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA.</b>	<b>67</b>
II.3.1.-HIDRÓLISIS Y FERMENTACIÓN.	69
II.3.2.-ACETOGENÉISIS.	70
II.3.3.-METANOGENÉISIS.	72
II.3.3.-REACTORES TIPOS Y DESCRIPCIÓN.	73
II.3.3.-TIPOS DE REACTORES ANAERÓBIOS MÁS UTILIZADOS.	75
<b>II.4.-HUMEDALES ARTIFICIALES.</b>	<b>77</b>
II.4.1.-MACRÓFITAS.	78
II.4.2.-ENFOQUE.	79
II.4.3.-FUNDAMENTOS.	80
II.4.4.-DISEÑO.	87
II.4.5.EFICIENCIA.	88
<b>II.5.-SISTEMA XOCHICALLI®.</b>	<b>92</b>
II.5.1.-JUSTIFICACIÓN DEL SISTEMA COMBINADO.	92
II.5.2- DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA DEL SISTEMA.	95
II.5.3.- PRETRATAMIENTO EN PLANTAS.	95
II.5.4.-. HOMOGENEIZADOR (CASO DE CIERTAS AGUAS INDUSTRIALES).	95
II.5.5.-FASE ANAERÓBICA.	96
II.5.6.-DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA MICROBIOLÓGICO ANAERÓBICO.	97
II.5.7.-PROCESOS QUE OCURREN EN LOS TANQUES DE OXIGENACIÓN SOLAR.	98
II.5.7.1.-1a.FASE, ACUÁTICOS.	98
II.5.7.2.- 2a. FASE, BIOFÍSICO SEMIACUÁTICO.	101
II.5.8-SUTRANE®.	102
II.5.8.1.-Fundamentos ecológicos, bacteriológicos y físico- químicos.	102
II.5.8.2.-Construcción del Sutrane y sus elementos.	105
II.5.8.2.1.- El digestor.	105
II.5.8.2.2.- Preoxigenador.	105



II.5.8.2.3.-Trampa de grasas.	106
II.5.8.2.4.-Filtro bioquímico.	106
II.5.8.2.5.-Filtro biofisico.	106
II.5.8.2.6.-Tanque recolector.	106
II.5.8.2.7.-Descripción de la forma de acomodar el material pétreo en el campo secundario - filtro biofisico - químico del Sutrane.	107
II.5.8.2.8.-Inoculación y operación del Sutrane Xochicalli.	109
II.5.8.3.-Memoria de cálculo de un Sutrane.	112
II.5.8.3.1.-Dimensionamiento del Sutrane.	112
II.5.8.3.1.1.- Digestor.	113
II.5.8.3.1.2.-Preoxigenador.	115
II.5.8.3.1.3.-Trampa de grasas y filtro bioquímico.	115
II.5.8.3.1.4.- Canal emisor.	116
II.5.8.3.1.5.-Campo secundario o filtro biofisico.	116
II.5.8.3.1.6.-Tanque Recolector.	117
II.5.8.4.-EVALUACIÓN DEL PROCESO DE XOCHICALLI. Por Water Technical Center.	118
II.5.8.5.-EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA TECNOLOGÍA SUTRANE®.	120
<b>III.-ANÁLISIS DE CAMPO.</b>	<b>121</b>
III.1.- Ubicación.	122
III.2.-Topografía.	126
III.3.- Tratamiento de las descargas separables.	128
III.4.- Tratamiento descargas combinadas.	134
<b>PRESUPUESTO.</b>	<b>145</b>
<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>146</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>147</b>

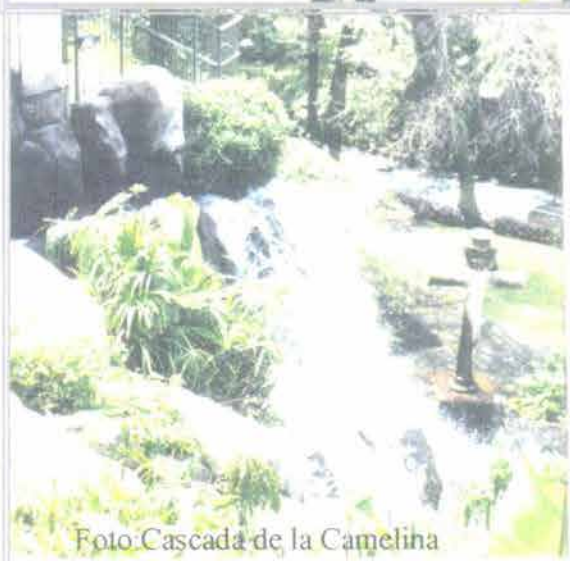


Foto:Cascada de la Camelina



Foto:Compuerta de la Camelina

## **INTRODUCCIÓN.**

En la actualidad el fenómeno de la contaminación y la pérdida de los recursos a nivel mundial provoca la necesidad de tomar conciencia y colaborar en la recuperación de nuestro único y frágil hábitat.

La generalidad del problema es bastante amplio y sumamente complejo, pero en lo que corresponde a la Ingeniería Civil particularmente en el Tratamiento de Aguas Residuales, en la presente Tesis se estudian y adecuan (dentro de sus propios parámetros) las últimas tecnologías para el tratamiento de las aguas servidas, en el caso específico del "Canal la Camelina" del Barrio de Santo Santiago de la ciudad de Uruapan Mich. Méx.

El sitio en estudio por sus cualidades geográficas, topográficas, sociales e históricas, representa un lugar idóneo para la aplicación de los nuevos métodos de tratamiento de las descargas vertidas en el "Canal la Camelina" el cual en conjunto con la Rivera del Río Cupatitzio conforman un bellissimo patrimonio no sólo de esta comunidad sino de la sociedad de Uruapan. Además es aquí donde se inicia el innegable y triste deterioro del Río Cupatitzio al encontrar a escasos 20 metros del Parque Nacional la primera descarga de aguas negras sobre el mencionado canal.

Con la toma de conciencia social sobre el problema de contaminación al que hacemos frente y a la tecnología que nos permite su adecuado manejo, la presente tesis se desarrolla para poder proponer un sistema de tratamiento adecuado que



tesis se desarrolla para poder proponer un sistema de tratamiento adecuado que permita: retirar las descargas de aguas negras del Canal la Camelina, acondicionar las aguas negras para su reuso o su retorno al Río de una manera en que no representen la contaminación de este.

En el capítulo I se estudia el origen de la contaminación, así como sus características específicas en lo que respecta a las aguas negras, dando parámetros y características para su estudio y tratamiento.

En el segundo capítulo se estudian los métodos de tratamiento que existen así como los métodos nuevos aplicables al caso particular de esta tesis. También se abordan los parámetros de diseño para los casos que serán utilizados en la propuesta de diseño.

En el último capítulo se analizan los datos de campo como los topográficos concernientes a la ubicación, relieve, superficie y posible ubicación del tratamiento. Así como los datos de población indispensables para obtener los caudales de diseño de los tratamientos. Tras los análisis anteriores se dimensionan los tratamientos para las descargas separables y las combinadas, ubicándolas con la más óptima localización y mostrando los tratamientos en planos en tres dimensiones para cada propuesta con planos en detalle y planos de conjunto. También se brinda un análisis de los costos.

# **CAPÍTULO I**

## **LA CONTAMINACIÓN**

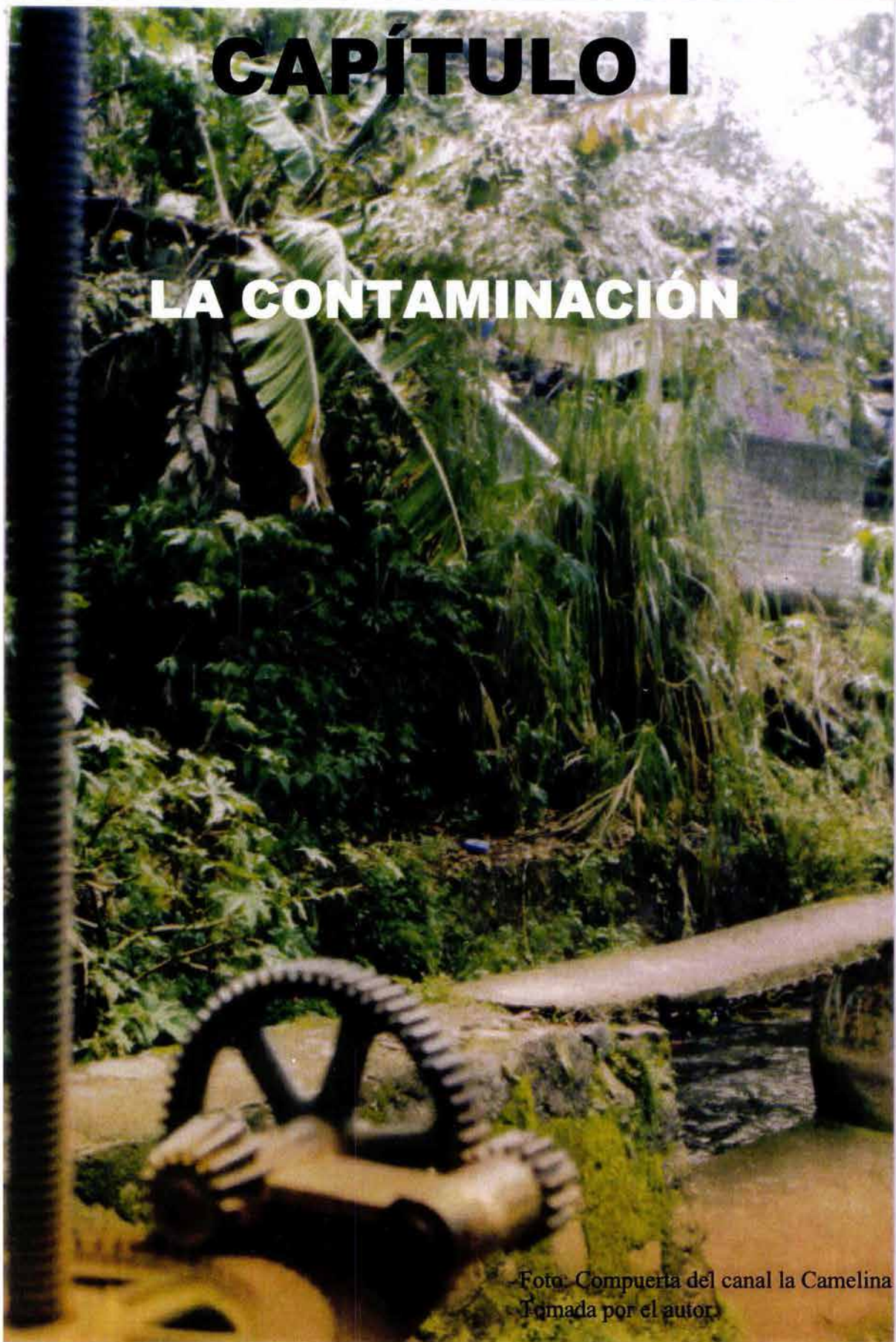


Foto: Compuerta del canal la Camelina  
Tomada por el autor.



# CAPÍTULO I

## LA CONTAMINACIÓN.

Para poder darnos una idea del problema a que nos enfrentamos, es necesario conocer la forma en que surge y los motivos que la originan. Para esto es necesario esbozar su aparición como un desequilibrio en el entorno ecológico (biósfera) y para abordar el tema se explica la interacción del hombre con los ecosistemas que constituyen su entorno. Así como las características que denotan las aguas negras, su disposición y su característica de autopurificación.

### I.1.- ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN.

El hombre y su interacción con los sistemas han cambiado durante el transcurso del tiempo. Puede ser aceptable dividir tres edades: una edad antigua, que llega hasta el neolítico (fin de la última era glacial), cuando la agricultura se empieza a generalizar; una edad media donde el desarrollo de civilizaciones basadas en la organización y explotación de sistemas agrícolas capaces de dar algún excedente, con uso reducido de energía suministrada por animales domésticos y algunas fuentes de energía naturales como el agua y el aire, y de una edad moderna que empieza con la era industrial y la disponibilidad, en ese entonces prácticamente ilimitada de energía auxiliar (carbón, petróleo, etc.....) que han permitido un avanzado dominio del ambiente y una prolongación de la vida individual, pero que a la vez han llevado a la convicción que el desarrollo no puede persistir indefinidamente en una óptica de



desarrollo sostenido sino sustentable y que los problemas que en la actualidad se presentan se contemplan como amenazas a la misma supervivencia de la especie.

Las tres edades ecológicas que distinguen el desarrollo de la humanidad se caracterizan también por la eficiencia del transporte y de la regulación local de recursos.

En la edad antigua se da la explotación local de recursos; explotar y quizá arruinar un área, luego migrar a otro sitio y así sucesivamente.

Los lugares sometidos a explotación agrícola extensiva por mucho tiempo, acaban perdiendo la fertilidad e incluso el suelo. Pero las poblaciones basadas en la agricultura aumentaron en densidad cien veces más que las de los pueblos recolectores.

En vez de mover hombres y animales de un lugar a otro, se pueden mover los productos naturales. Esta solución es la más cómoda si se dispone de la energía para realizar el transporte. Al mismo tiempo surge la tecnología para que unas pocas personas puedan alimentar a una población mas densa, y que el reparto de los alimentos se justificara con la aparición de los servicios mas inverosímiles, y por supuesto, muchos de ellos innecesarios.

De este modo surgen las grandes aglomeraciones urbanas, que resultan más cómodas para la distribución de los alimentos a las personas que no trabajan en el



campo y son la fuente de poder político. De este modo por indeseables que parezcan las ciudades, su aparición no tiene nada de misterioso.

La contaminación es un problema generado por el transporte; es en cierto modo si se quiere una "enfermedad del transporte" pero que constituye algo perfectamente natural en los ecosistemas. La acumulación de materia orgánica sin degradar en los alrededores de una ciudad, en los ríos y aguas costeras inmediatas, como resultado de la utilización incompleta, de alimentos, desechos corporales (humanos y animales) y otros productos.

Estas acumulaciones son una parte primaria o secundaria de ecosistemas separados y distantes transportados hasta la ciudad, cuyos productos de descomposición o de utilización incompleta no se han devuelto al lugar de donde provinieron. Al parecer la solución más sencilla es devolver estos productos al lugar de procedencia para que se reintegren al ciclo natural. Pero esto no es generalizable. (R. MARGALEF, 1981:231-294).

## I.2.-CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ORGANOLÉPTICAS.

En este apartado nos centraremos en las características físicas y organolépticas del agua. Para ello, desarrollaremos a continuación el olor, el sabor, el color, la turbidez, la conductividad eléctrica y, por último, el pH. En su estado puro, el agua es tanto inodora como insípida, sin embargo, cuando sustancias orgánicas o inorgánicas se disuelven en el agua, comienza a adquirir un color característico y algunas veces olor.

Tal y como hemos señalado anteriormente, las aguas carecen de olor, es decir, son inodoras. El agua potable no debe tener olor, ni en el momento de toma de muestra ni después de un período de diez días a 26° C en recipiente cerrado.

Se puede dar el caso que el agua pueda oler, en tal caso, esto se puede deber a una serie de posibles motivos que a continuación detallamos:

- 1/ Productos químicos inestables.
- 2/ Materia orgánica en descomposición.
- 3/ Plancton: algas y protozoos.
- 4/ Bacterias.

Igualmente, el olor de un agua puede ser indicador de contaminación de la misma, bien sea por algún producto químico, o bien, por sufrir ésta un proceso de eutrofización.





El olor desagradable puede deberse a la presencia simultánea de varios elementos productores de olor, ya que tienen una acción sinérgica aditiva. Un agua potable debe tener un sabor débil y agradable. Las aguas muy puras tienen un sabor menos agradable, debido a que contienen una cantidad menor de sales minerales, haciendo que su sabor sea más soso.

Salvo el sabor debido a la mineralización del agua, que es fácilmente apreciable, el resto de los sabores son indicadores de contaminación o de la existencia de algas u hongos. Así, ciertos actinomicetos producen un sabor terroso, las algas verde-azuladas producen un sabor podrido y las algas verdes producen sabor a hierba. Los cloruros dan sabor salobre, el magnesio amargo y el aluminio a terroso.

Para el agua, la apreciación sensitiva del sabor sólo deberá hacerse en los casos en que se conozca por su origen, que son seguras para bebidas. Nunca debe probarse un agua de la que se desconoce su origen.

Otra de las características físicas y organolépticas del agua es el color, que es incolora. El color aparente del agua se debe a las partículas en suspensión y disueltas, aunque el verdadero color se debe a las partículas disueltas.

Las algas provocan al agua un color verdoso, mientras que la presencia de formas solubles de hierro y manganeso le dan un tono de amarillo a pardo. Los desechos de cromato le dan color amarillento.

La presencia de color es, por tanto, indicador de una calidad deficiente.

Toda agua potable debe ser transparente y por consiguiente, no poseer partículas insolubles en suspensión como limo, arcilla, materia mineral, algas, etc.

Las aguas turbias son rechazadas por el consumidor y por tanto, no recomendables para el consumo humano, a pesar de que fuesen potables a nivel químico y microbiológico. La medida de la turbidez es fundamental para el control de los tratamientos del agua en las plantas potabilizadoras o estaciones de tratamiento de agua potable.

Las aguas de pozo o manantial suelen ser transparentes, mientras que las aguas superficiales como ríos o gargantas, suelen ser turbias debido al arrastre de partículas insolubles. Para las aguas turbias, la eficacia de la desinfección mediante cloro es menor que en las transparentes, ya que las partículas en suspensión, inorgánicas y orgánicas del plancton, engloban bacterias y virus que el cloro no puede destruir.

La legislación española establece la determinación de la conductividad dentro del análisis mínimo porque es un parámetro que nos permite conocer de una forma global y rápida la mineralización de un agua. En el control de calidad, tanto del agua bruta como distribuida para el consumo público, la medida de la conductividad, que depende de la actividad y del tipo de iones del agua, proporciona la información necesaria para poder detectar infiltraciones de aguas superficiales de mineralización diferente o detectar las infiltraciones de aguas contaminadas.

El pH de un agua mide su acidez o alcalinidad. La escala de valores es de 0 a 14 unidades de pH. Las aguas que tienen un pH inferior a 7 son ácidas y las superiores a 7 son básicas.

Las aguas naturales rara vez tienen un valor de pH superior o inferior a los márgenes de potabilidad. El pH de las aguas naturales se debe a los caracteres de los suelos que atraviesa. Las aguas calcáreas tienen un pH elevado, las que discurren por terrenos pobres en caliza o silicatos tienen un pH próximo a 7 o inferior, y las aguas de ciertas regiones volcánicas suelen ser ácidas.

El conocimiento del valor de pH es importante, ya que influye en los procesos de potabilización, cloración, coagulación, ablandamiento y control de corrosión. (METCALF & HEDDY, 1991:47-50)(GRUPO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, 2002: 10-13).

A rectangular box with a dark, textured background containing the text "Ácidas pH < 7" in a bold, serif font.A rectangular box with a dark, textured background containing the text "Básicas pH > 7" in a bold, serif font.



### **I.3.- CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES.**

Las plantas de tratamiento de aguas residuales se diseñan para convertir las aguas negras en un efluente aceptable y acorde con los requerimientos gubernamentales. Este diseño debe comprender también la disposición de los lodos removidos por el proceso. Para lo cual en una planta de tratamiento se debe considerar primeramente las características de las aguas residuales y después determinar la manera como los requerimientos de calidad del efluente pueden lograrse en forma técnicamente segura y económicamente factible. Además en la actualidad es posible obtener residuos no nocivos para el hombre y con características de aprovechamiento como fertilizantes, suplementos alimenticios para ganado y energéticos como el bio-gas. (CNA, 1977: 11) (ARIAS CHÁVEZ JESÚS, 1992:15).

Origen de las aguas negras y de los desechos:

- a).- Desechos humanos y animales.
- b).- Desperdicios caseros.
- c).- Corrientes pluviales.
- d).- Infiltraciones de aguas subterráneas.
- e).- Desechos industriales.

Acontinuación se detalla cada uno en el siguiente cuadro sinóptico.

a).- **Desechos humanos y animales.**- Son las aguas usadas en los desechos corporales que llegan a formar parte de las aguas negras, mediante dispositivos hidráulicos y en cierto grado los desechos de los animales que van a dar a las alcantarillas al ser lavadas en suelo o en la calle. Estos desechos son los más importantes en lo que se refiere a salud pública, porque pueden tener organismos perjudiciales al hombre.

b).- **Desperdicios caseros.**- Se conoce que el 99.9% del residuo es agua esto sin involucrar los desechos industriales. Del pequeño porcentaje restante de los sólidos del 40 % al 70% son sólidos orgánicos, a los que se deben los olores ofensivos y son la causa de los mayores problemas para la disposición de los desechos.  
Según cada población así como la infiltración de las aguas subterráneas y la adición de aguas residuales varían en débil (diluido) o fuerte (concentrado).

La concentración de sólidos suspendidos en especial de los sedimentables, determinan el grado de tratamiento que hay que proporcionar así como los requerimientos para manejar los sólidos de la planta. Una buena aproximación de la cantidad de los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales es suponer 70 grs. /persona /día. Los valores de PH indican si hay necesidad de un ajuste químico para restar una excesiva alcalinidad o bien acidez.

A menos que se descarguen aguas residuales industriales o algún desecho poco usual en los sistemas de drenaje municipales hay necesidad de ajustes en el PH.

El contenido de grasas y de aceites determina el uso de desnatadoras y dispositivo para el manejo de las grasas. También deberán estimarse las cantidades de arenas y el arrastre de desechos como botellas, basura, etc...y hacer el diseño de los, dispositivos para su remoción.

c).- **El volumen de las corrientes pluviales** varía de acuerdo con la intensidad de la precipitación, la topografía, las superficies pavimentadas y techadas. Las aguas pluviales provienen de las zonas cubiertas, tienen importancia especial en lo que se refiere al volumen de las aguas negras que van a tratarse cuando se conectan a las alcantarillas.

d).- **Infiltraciones de aguas subterráneas.** El drenaje o alcantarillado que es el dispositivo para colectar las aguas negras, va soterrado, y en muchas ocasiones queda debajo del nivel de los mantos de agua subterráneos, especialmente cuando dicho nivel es muy alto a causa de una excesiva precipitación en la temporada de lluvias. Como las juntas entre las secciones de tubería que forman las alcantarillas no quedan perfectamente ajustadas, existe siempre la posibilidad de que se infiltre el agua subterránea. Los drenajes colectores usualmente no funcionan a presión, sino que el flujo a través de ellos es meramente gravitatorio y por esto es que las infiltraciones son posibles, depende de la alcantarilla que se haya construido, de las condiciones del agua subterránea, de las lluvias y de otras condiciones climatológicas.

e).- **Desechos industriales.** Los productos de desecho de los procesos fabriles son parte importante de las aguas negras de una población y deben tomarse las precauciones necesarias para su eliminación. En muchas regiones se colectan los desechos industriales junto con los otros componentes de las aguas negras de la población para su tratamiento y eliminación finales. Estos desechos varían mucho por su tipo y volumen, pues dependen de la clase de establecimiento fabril ubicado en la localidad. En algunos casos es tal el volumen y características de los desechos, industriales, que es necesario disponer de sistemas separados para su recolección y disposición. Muchos desperdicios industriales o espumantes, detergentes y otras sustancias la disposición final de las aguas negras de la comunidad, o que dañen las alcantarillas y otras estructuras. Por esa razón no pueden agregarse directamente a las aguas negras, sino que deben recibir un tratamiento preliminar, o eliminarlos valiéndose de medios especiales y por separado.

Origen  
de las  
aguas  
negras  
y  
de  
los  
desechos

## Definiciones de las aguas negras.

Se han dado nombres descriptivos a los diferentes tipos de aguas negras según su procedencia, como se ha descrito anteriormente. Las definiciones correspondientes son las siguientes:

**Aguas negras domesticas:** Son las que contienen desechos humanos, animales y caseros. También se incluye la infiltración de aguas subterráneas. Estas aguas negras son típicas de las zonas residenciales en las que no se efectúan operaciones industriales, o en muy corta escala.

**Aguas negras sanitarias:** Las mismas que las anteriores, pero que incluyen no solamente estas últimas, sino también gran parte, si no es que todos los desechos industriales de la población.

**Aguas pluviales:** Todo el escurrimiento superficial de las lluvias, desde los techos, pavimentos y otras superficies naturales del terreno.

**Aguas negras combinadas:** Son una mezcla de las anteriores y de las aguas pluviales, cuando se colectan en las mismas alcantarillas.

**Desechos industriales:** Son las aguas de desecho provenientes de los procesos industriales. Pueden colectarse y disponerse aisladamente o pueden agregarse y formar parte de las aguas negras sanitarias o combinadas.

### Definiciones de las Aguas Negras

Fuente: Elaborado por el autor en base a DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK



### Aspecto de las aguas negras.

Son líquidos que contienen material sólido en suspensión. Cuando son frescas, tienen un olor a moho no desagradable y su color es gris. En ellas flotan cantidades variables de materia: sustancias fecales, trozos de alimentos, basura, papel, astillas y otros residuos de una comunidad debido a su actividad diaria. Con el transcurso del tiempo, el color cambia gradualmente a negro, generándose un olor mas intenso; y aparecen flotando sólidos negros en la superficie. Con estas características se denominan aguas negras sépticas.

### Composición de las aguas negras.

Las aguas negras contienen un gran porcentaje de agua, sólidos disueltos y de los sólidos suspendidos en esta. Los sólidos son generalmente una muy pequeña fracción, casi siempre menos de 0.1 % en peso, pero esta fracción presenta el mayor problema para su tratamiento y disposición adecuados. El agua provee solamente el volumen y es el vehículo para el transporte de los sólidos.

Los sólidos de las aguas negras. Estos pueden clasificarse en dos grupos generales según su composición o condición física. Así Tenemos, sólidos orgánicos e inorgánicos, los cuales a su vez pueden estar suspendidos y disueltos.

Definiciones de los sólidos de las aguas negras.

La materia se encuentra contenida en las aguas residuales como sólidos flotantes, sólidos sedimentables, sólidos en suspensión, sólidos en estado coloidal y sólidos en solución. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, 1976: 17,18) (METCALF & HEDDY, 1991:15-16).

### SÓLIDOS FLOTANTES.

El sistema de alcantarillado únicamente debe conducir las aguas residuales domésticas y las menos de las pluviales provenientes de las construcciones. Sin embargo en sistemas antiguos (de unos 5 años hacia atrás) se deben considerar las aguas de escorrentía pluvial de calles, estacionamientos, etc. Debido a la mala costumbre y falta de conciencia de los usuarios, estos arrojan basura al sistema de alcantarillado (envases, latas, papel, plástico, maderas, desperdicios de basura, frutas, trapos y otros) lo que ocasiona grandes problemas, da peor aspecto a los cuerpos de agua y en tuberías, cárcamos y en los sistemas de tratamiento obstruyen las tuberías, por lo cual se hace necesario separarlas del líquido antes de ser tratado. La cantidad de la materia está en función del estándar de vida de la población, siendo mayor cuando más elevada sea y viceversa.

## SÓLIDOS SEDIMENTABLES.

Son aquellos que se depositan en el cono Imhoff, después de un reposo de 1 a 2 horas, se mide en ml /l o bien en mg /l, este parámetro es conveniente conocerlo ya que dará una idea de cual debe ser el proceso para ser removidos.

## SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN.

La determinación de los sólidos en suspensión es filtrando las muestras; normalmente el diámetro de los orificios es de una micra, luego a los que son retenidos en el filtro son denominados como sólidos en suspensión ó sólidos filtrables. Previamente se lastra el filtro seco, después de filtrada la muestra, se somete a una temperatura de 103 °C, hasta que el peso sea constante, se determina el peso del filtro más el residuo, restando el peso del filtro seco, se obtiene el correspondiente a los sólidos en suspensión totales. Posteriormente se calcinan a una temperatura de 500-600 °C, con lo cual la materia orgánica se volatiliza, de aquí la denominación de sólidos volátiles. Lo que resta será la fracción mineral ó sólidos fijos, luego se tiene:

$$W_{so} = W_{st} - W_{sm}$$

$W_{so}$  = Sólidos en suspensión orgánicos o material volátil

$W_{st}$  = Sólidos en suspensión totales.

$W_{sm}$  = Sólidos en suspensión fijos.



## SÓLIDOS EN SOLUCIÓN Y EN ESTADO COLOIDAL.

Los sólidos que pasan por el filtro con diámetro de poros de una micra corresponderán a la fracción de sólidos en estado coloidal y en solución, también son denominados sólidos filtrables.

Para obtener su peso la muestra se seca a 103°C, el residuo será el correspondiente a los sólidos en solución totales, posteriormente se calcina a 500-600 °C, con los que la materia orgánica se volatiliza quedando pues:

$$W_{sol,org} = W_{solt} - W_{solm}$$

$W_{sol,org}$  = Sólidos en solución orgánica o volátiles.

$W_{solt}$  = Sólidos en solución totales.

$W_{solm}$  = Sólidos en solución minerales o fijos.

## SÓLIDOS TOTALES.

Estos corresponden al total contenido en las aguas evaporando la muestra, pesada previamente, a una temperatura de 103 °C, el residuo después de la evaporación es lo que constituye los sólidos totales, los cuales están constituidos de una fracción mineral y una orgánica.

La determinación de las concentraciones en sus diferentes formas es de una gran utilidad pues se estará en condiciones de saber que porcentajes de materia serán removidos por un proceso de sedimentación simple y que porcentajes están en solución, en la primera fuente de sustrato de los microorganismos; en el cuadro No. 1 se anotan algunos porcentajes y valores de interés. (SOLÍS MORELOS C., 1994: 25-28).

CUADRO 1

PARAMETRO	EDDY AND METCALF mg/lt %	ERIK H. NIKOLL %
SÓLIDOS TOTALES	100.0	100.00
SÓLIDOS TOTALES ORGANICOS	44.70	22.00
SÓLIDOS TOTALES FIJOS	55.30	55.00
SÓLIDOS EN SUSPENSION TOTALES	31.00	33.00
SÓLIDOS EN SUSPENSION FIJOS	14.00	11.00
SÓLIDOS EN SUSPENSION ORGANICOS	17.00	22.00
SÓLIDOS EN SOLUCION TOTALES	68.00	67.00
SÓLIDOS EN SOLUCION FIJOS	41.80	44.00
SÓLIDOS EN SOLUCION FIJOS ORGANICOS	27.70	23.00

Fuente: EDDY & METCALF

### Gases disueltos.

Estas aguas contienen variables y reducidas concentraciones de gases disueltos. El oxígeno, que comúnmente se conoce como *oxígeno disuelto*, es un componente sumamente importante de las aguas negras y este se estudiará detalladamente más adelante. Además del oxígeno disuelto, las aguas negras pueden contener otros gases, como el *bióxido de carbono*, resultante de la descomposición de la materia orgánica; el nitrógeno disuelto de la atmósfera; el *ácido sulfhídrico* y el gas metano  $CH_4$  que se forma en la reducción de los compuestos orgánicos y ciertos compuestos inorgánicos del azufre. Estos gases están presentes en pequeñas cantidades, su función es importante en la descomposición y nos permiten estimar el tratamiento en conjunto.

*Líquidos volátiles.* Por lo general se trata de líquidos que hierven a menos de 100 ° C (grados centígrados), como la gasolina.

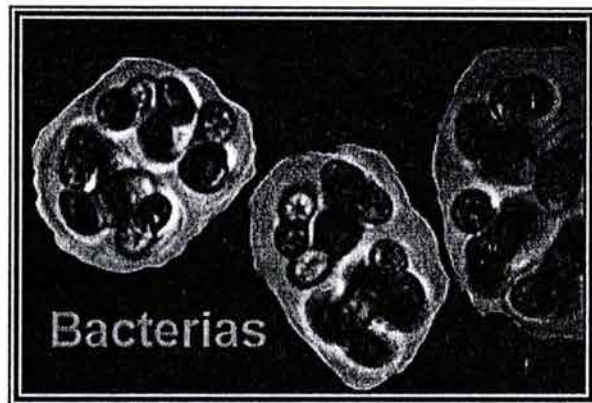
### Composición biológica de las aguas negras.

Estas contienen una gran cantidad de organismos vivos microscópicos. Son la parte viva natural de la materia orgánica de las aguas negras y su presencia es muy importante dado que son uno de los motivos para el tratamiento de estas aguas, y al mismo tiempo el éxito, incluyendo la degradación y descomposición, depende de sus actividades. Ellos son los trabajadores que se emplean en las plantas de tratamiento

de aguas negras y el éxito del sistema puede medirse por su atención y conocimiento de los gustos y aversiones de sus hábitos nutritivos y ambientales.

Estos pertenecen a dos tipos generales: bacterias y otros organismos vivos más complejos.

*Bacterias.* Son organismos vivos, microscópicos, constan de una sola célula y su proceso vital, así como sus funciones, son similares a los vegetales. Algunas son *móviles*, es decir, se pueden mover libremente



por si mismas, y otras son inmóviles. Las bacterias requieren, al igual que los seres vivos, alimentos, oxígeno y agua. Sólo pueden existir cuando el medio ambiente provee estas necesidades. Como resultado de sus procesos vitales, las bacterias dan origen, a su vez a productos de desecho o exudaciones.

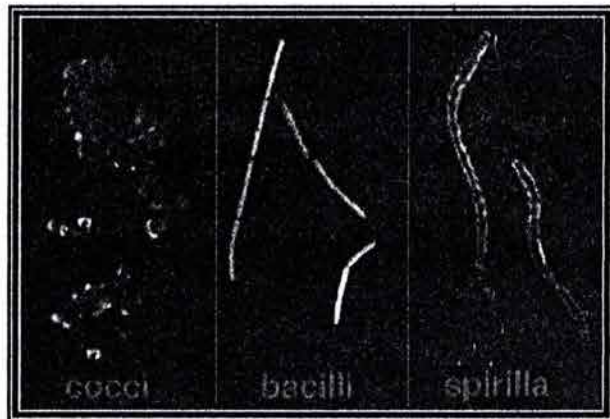
Existen dos grupos principales: bacterias parásitas y bacterias saprófitas.

*Bacterias parásitas.* Estas normalmente viven a expensas de otro organismo vivo, el "huésped", porque necesitan el alimento ya preparado para consumirlo; por lo general fuera del cause o del huésped no se desarrollan. Las bacterias parásitas de importancia en las aguas negras, provienen por lo general del tracto intestinal de las personas y de los animales cuyas defecaciones van a parar a las aguas negras. Entre



estas bacterias parásitas se incluyen ciertos tipos específicos, que durante su desarrollo en el cuerpo del huésped, son venenosos y causan enfermedad como bacterias patógenas. Cuando las aguas negras reciben las defecaciones de enfermedades tales como la fiebre tifoidea e infecciones intestinales, es posible la presencia de estos microorganismos en las aguas negras y es una de las razones por las que deben colectarse cuidadosamente, tratarse en forma adecuada y disponerlas de manera segura, para prevenir cualquier transmisión de estas bacterias patógenas de una a otra persona.

*Bacterias saprófitas.* Estas son las que se alimentan de la materia orgánica muerta, descomponiendo los sólidos orgánicos para sobrevivir, y produciendo a su vez exudaciones que consisten en sólidos orgánicos e inorgánicos. Debido a esto son de



gran importancia en los de tratamientos pueden facilitar o acelerar la descomposición natural de los sólidos orgánicos de las aguas negras. En ausencia de vida bacteriana (esterilidad) no tiene lugar la descomposición. Hay muchas especies de bacterias saprófitas y cada cual desempeña un papel específico en la descomposición de los sólidos orgánicos y cada especie tiende a morir una vez que ha cumplido su misión en el proceso de descomposición.

Todas las bacterias necesitan oxígeno para su respiración, parásitas o saprófitas, además de alimento. Algunas solamente pueden usar el oxígeno disuelto en el agua, el cual se conoce como *oxígeno disuelto* y a veces también como oxígeno libre o molecular. Los organismos que llevan a cabo el proceso de degradación de sólidos orgánicos en presencia de oxígeno se conocen como *bacterias aerobias* y se denomina *descomposición aerobia*. Por otra parte hay bacterias que no pueden existir en presencia de oxígeno disuelto, estas toman el oxígeno de los sólidos orgánicos, aprovechándolo en la descomposición a este tipo se le conoce como *bacterias anaerobias* y efectúan el proceso de *descomposición anaerobia* o putrefacción, la descomposición en ausencia de oxígeno disuelto.

Existen ciertos tipos aeróbios de bacterias que se adaptan por sí mismos a vivir y funcionar en ausencia de oxígeno disuelto y se conocen como *bacterias aerobias facultativas*. Inversamente, algunas variedades de bacterias anaeróbicas pueden llegar a adaptarse a vivir y desarrollarse en presencia del oxígeno disuelto y por esto se conocen como *bacterias anaerobias facultativas*.

Su gran adaptabilidad es muy importante en la descomposición de los sólidos orgánicos de las aguas negras, siendo de un alto valor en los procesos de tratamiento.

Las bacterias además de alimento y oxígeno, requieren humedad para mantenerse vivas, lo cual queda resuelto en las aguas negras por su contenido acuoso.



Una eficiencia máxima en su función, se logra a una temperatura favorable. Son muy delicadas a los cambios de temperatura, impactando su velocidad de desarrollo y reproducción, que es directamente proporcional a la cantidad de trabajo desarrollado que es clara y afectada rápidamente por las variaciones. Las temperaturas óptimas varían de 20 a 40 °C para la mayoría de los tipos saprófito. Estos tipos se conocen como *mesofílicos*. Fuera de este ámbito de temperatura, se limita la actividad de las bacterias mesofílicas, eliminándose prácticamente a temperaturas extremadamente bajas o altas. A 35 ° C la digestión mesofílica se lleva a cabo más rápidamente. A altas temperaturas, dentro del ámbito de 55 a 60 ° C existen bacterias del *tipo termofílico*, trabajan principalmente en el tratamiento de las aguas negras durante la digestión, a altas temperaturas de los sólidos en los lodos. Desde 0 hasta 5 °C Pocos tipos de bacterias encuentran sus condiciones óptimas, a estas se conocen como bacterias *psicrofílicas*. Las temperaturas en la operación de los procesos de tratamiento de aguas negras, son de primordial importancia. (DEGREMONT, 1979: 40) (METCALF & HEDDY, 1991:47-50).

Cuando los parámetros ambientales, se mantienen en forma adecuada y en cantidades suficientes para las bacterias, la descomposición se efectúa con gran agilidad.

*Otros organismos microscópicos.* Aparte de las bacterias, en las aguas negras hay otros organismos microscópicos. Que también se encuentran en gran cantidad, aunque no en densidades tan grandes como las diversas especies de bacterias.

Estos otros microorganismos (animales y vegetales) tienden a ser mayores y de estructura más compleja que las bacterias. Proviene del suelo o de los desechos orgánicos que forman parte de las aguas negras. Al igual que las bacterias son móviles o inmóviles, aerobios, anaerobios o facultativos, todos requieren alimento, oxígeno, humedad y su desarrollo es afectado por la temperatura del medio ambiente casi en el mismo grado que las bacterias. Estos también actúan en la degradación y descomposición de los sólidos orgánicos. Ellos emplean a los sólidos como alimento y producen exudaciones de estructura química más sencilla. Estos productos de desecho, a su vez, sirven frecuentemente como alimento para ciertos tipos de bacterias saprófitas. Muchas de las formas más grandes son predadores por naturaleza y predominan sobre otros organismos, en especial sobre las bacterias.

*Organismos macroscópicos.* También muchos organismos más grandes y más complejos toman parte en la descomposición de la materia orgánica. Aquí se incluyen algunas variedades de gusanos e insectos en sus estados de desarrollo. Algunos aprovechan los recursos del tratamiento de las aguas negras y otros sobreviven en corrientes altamente contaminadas por aguas negras u otros desechos orgánicos.

Por lo anterior es de gran importancia el conocer los parámetros de desarrollo de los organismos para lograr el manejo óptimo de una planta de tratamiento.

*Virus*. Otra forma de vida encontrada en las aguas negras son los *virus*, todavía de menor tamaño para poder ser observados al microscopio ordinario usado en los trabajos de bacteriología. Sin un papel importante en el proceso, su importancia estriba en que, como las bacterias patógenas, son los agentes causales de cierto número de enfermedades en el hombre. Algunos, como el virus de la hepatitis, se desarrollan en los intestinos del hombre y son arrastrados por las materias fecales hasta las aguas negras. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, 1976: 21-25)(WINKLER MICHAEL A., 1994:52)(METCALF & HEDDY, 1991:47-50).

#### Estado de las aguas negras.

Por su grado de descomposición, se ha dado origen a ciertos términos que describen las condiciones o estado de las aguas negras.

**Aguas negras frescas:** Como su nombre lo indica, son las aguas negras en su estado inicial, inmediatamente después de que se han agregado los sólidos al agua. Contienen el oxígeno disuelto presente en el agua del abastecimiento y permanecen frescas mientras haya oxígeno suficiente para mantener la descomposición aeróbica. Tales aguas negras son turbias, con sólidos en suspensión o flotando, de color grisáceo y tienen un olor mohoso no desagradable.

**Aguas negras sépticas.** El término describe a las aguas negras en las que se ha agotado completamente el oxígeno disuelto, de manera que han entrado en descomposición anaeróbica los sólidos con la consiguiente producción de ácido sulfhídrico y de otros gases. Tales aguas negras se caracterizan por su color negruzco, su olor fétido y desagradable, y por tener sólidos suspendidos y flotantes de color negro.

**Aguas negras estabilizadas.** Son las aguas negras en las que los sólidos han sido descompuestos hasta sólidos relativamente inertes que no están sujetos a descomposiciones ulteriores, o que son descompuestos muy lentamente. El oxígeno disuelto está nuevamente presente por haber sido absorbido de la atmósfera; su olor es ligero o nulo, y tienen pocos sólidos suspendidos.

Estado de las aguas negras.



#### **I.4.-Disposición de las aguas negras.**

Como se señalo en el apartado 1.2, las aguas negras son las aguas de desecho originadas por la actividad de una población. Entre sus componentes están sólidos orgánicos disueltos y suspendidos los cuales son putrescibles, sujetos a degradación. Las aguas negras contienen también un número incalculable de organismos vivos, como bacterias y otros microorganismos, cuyas actividades vitales son las que causan el proceso de descomposición. (SOLÍS MORELOS CARLOS, 1990:31) (METCALF & HEDDY, 1991:10-11).

La promoción de la limpieza es de mucha importancia así como la eliminación de las inmundicias y desechos. Sólo con esto podemos mantener el medio ambiente en condiciones aceptables. Entre los detritus de la actividad vital se encuentran las bacterias patógenas y los virus, que pueden ser transmitidos fácilmente de los individuos enfermos a los sanos por medio de las aguas negras. Contar con procedimientos regulados, es necesario para disponer de las aguas negras, para proteger la limpieza del medio ambiente y la salud de la población.

Es necesario establecer una clara distinción entre el término "disposición de las aguas negras", objeto de este apartado, y el término "tratamiento de las aguas negras", que se tratara en seguida. Todas las aguas negras tienen que ser evacuadas o dispuestas. Algunas se sujetan a diferentes tipos de tratamiento antes de su disposición, mientras otras no. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, 1976: 31) (METCALF & HEDDY, 1991:10-11).

### Tratamiento de las aguas negras.

Es un proceso donde los sólidos del líquido son separados parcialmente, haciendo que el resto (sólidos orgánicos complejos) queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos más estables. Del proceso de tratamiento empleado depende la magnitud de este cambio. Es necesario disponer de los líquidos y los sólidos que se hayan separado una vez completado todo proceso de tratamiento.

En la actualidad es posible obtener cualquier calidad de efluente, la tecnología lo permite el principal parámetro sería el costo. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, 1976: 31-32)(COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE MÉXICO A.C., 227-232) (METCALF & HEDDY, 1991:121-125).

### *Disposición de las aguas negras.*

Para llevar a cabo esto hay tres métodos a seguir:

*Disposición por irrigación.-* Este método consiste por lo general en derramar las aguas negras sobre la superficie del terreno, lo cual se hace mediante zanjas de regadío. Una pequeña parte que se evapora, el resto se sumerge en la tierra suministrando humedad, junto con pequeñas cantidades de ingredientes fertilizantes.

Sólo es aplicable a pequeños volúmenes provenientes de poblaciones pequeñas en las que se cuenta con la superficie necesaria y el lugar adecuado. En zonas áridas o

semiáridas tiene especial valor la humedad agregada al suelo. Deben excluirse los drenajes y desechos industriales tóxicos si estas zonas se cultivan, por que estos impiden el desarrollo de la vegetación. De cualquier modo siempre existe la posibilidad de la contaminación por organismos patógenos, por consiguiente la producción de alimentos para consumo humano que hayan de ser ingeridos sin cocimiento no conviene y resultaría peligrosa.

*Disposición subsuperficial.*- Usualmente sólo así pueden eliminarse las aguas negras sedimentadas provenientes de instituciones o residencias en las que su volumen es muy limitado. Este método consiste en hacer llegar las aguas negras a la tierra por debajo de su superficie, a través de excavaciones.

Actualmente estas dos últimas disposiciones han tomado un auge importante ya que es lo que se utiliza en el método de los Humedales Artificiales, con una gran posibilidad de aplicación en el tratamiento de aguas residuales por su simpleza, alto rendimiento, bajo costo (tanto de construcción como en operación) y su capacidad de retirar incluso metales pesados en los efluentes. Estos métodos se analizarán en el apartado correspondiente. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, 1976: 31-32)(CARMEN DURAN-DE-BAZÚA, 2002:5-15).

*Disposición por dilución.* Esto consiste simplemente en descargar las aguas negras en aguas superficiales como las de un río, un lago o un mar, contaminándolo. El volumen de las aguas negras, su composición y el grado de contaminación, en comparación con el volumen de agua con que se mezclan darán los parámetros de



contaminación del agua receptora. Cuando el volumen de las aguas negras y su contenido orgánico es pequeño, en contraste con el volumen del agua receptora, el oxígeno disuelto en esa última es suficiente para dar pie a la descomposición aerobia, no desarrollándose la fase anaerobia. Pero, aunque las aguas receptoras mantengan su condición aerobia, la contaminación bacteriana sigue siendo una amenaza para la salud, y será evidente la contaminación si los sólidos flotantes no se eliminan de las aguas negras.

La descomposición anaerobia y la putrefacción, se dará en los casos en que el oxígeno disuelto del agua receptora no sea suficiente para mantener la descomposición aerobia.

El volumen de aguas negras no es lo que puede considerarse como valor crítico, en todo caso la cantidad de materia orgánica de fácil descomposición que contengan las aguas negras. Por lo anterior es que un cierto volumen de aguas negras ya tratadas para disminuir o eliminar su materia orgánica, al descargarse en una superficie de agua natural no crea condiciones adversas, en tanto el mismo volumen sin tratar produciría molestias. El oxígeno disuelto contenido en el agua receptora es el factor determinante. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, 1976: 32-33) (METCALF & HEDDY, 1991:121-125).

## **I.5.- Oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno.**

### *Función del oxígeno disuelto en las aguas receptoras.*

La degradación y la descomposición tienen lugar debido a las actividades de las bacterias y los microorganismos presentes en las aguas negras y en las aguas receptoras al descargar en el agua los sólidos de las aguas negras. Para que se verifiquen todas esas reacciones biológicas y bioquímicas es necesario el oxígeno, si hay oxígeno presente la descomposición aerobia tiene lugar, de otro modo cuando no hay oxígeno, predominan los organismos anaerobios y resulta la putrefacción. Por lo tanto las reacciones resultantes dependerán del oxígeno disuelto que contenga el agua receptora.

A la temperatura de 0 ° C el punto de saturación del oxígeno disuelto es de 14.6 ppm (partículas por millón). La concentración disminuye al aumentar la temperatura del agua, de manera que a 15° C la concentración de saturación del oxígeno disuelto es de 10.0 ppm. Cuando la concentración de oxígeno disuelto disminuye a menos del punto de saturación, se disuelve más del aire. El flujo turbulento de una corriente sobre las piedras, riscos y rápidos, aumenta la velocidad de disolución del oxígeno, es decir la reaeración. Por medio de la reaeración se consigue oxígeno disponible adicional para la descomposición bioquímica de los sólidos orgánicos putrescibles.

## *Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).*

*DBO* .- Se define como la cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación aerobia biológica de los sólidos orgánicos de las aguas negras o desechos y es determinada mediante una prueba de laboratorio. Como sus parámetros requiere un período grande de tiempo y depende de la temperatura, los valores de la DBO de las pruebas de laboratorio deben especificar el tiempo y la temperatura usados en la prueba y los más generalmente empleados son, 5 días y 20 °C ( $DBO_5$ ) y a no ser que se especifiquen otro tiempo y temperatura, debe suponerse que fueron éstos los empleados. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, 1976: 33).

*DQO* .- La prueba de DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto en las aguas naturales como en las aguas residuales. El equivalente de oxígeno de la materia orgánica, se mide utilizando un fuerte agente químico oxidante en medio ácido, el dicromato de potasio resulta excelente para este fin, la prueba deberá efectuarse a una temperatura elevada y para facilitar la oxidación de ciertas clases de compuestos orgánicos se necesita un catalizador (sulfato de plata).

La prueba de la DQO se utiliza igualmente para medir la materia orgánica en aguas residuales industriales y municipales, que tengan compuestos tóxicos para la vida biológica. La DQO indicará la presencia de sustancias tóxicas y de sustancias orgánicas resistentes a la biooxidación ( sustancias químicas plásticas etc). (SOLÍS MORELOS C., 1994: 31-32).



## **I.6.- Auto purificación.**

Al descargar aguas negras en una corriente, se prosigue la descomposición y la degradación hasta completarse, tendiendo a volver a un estado similar al de antes de la contaminación, como resultado de la descomposición de la materia orgánica contaminante. Dándose así lo que comúnmente conocemos como proceso de *auto purificación*. Las reacciones físicas que se llevan a cabo son esencialmente: la de sedimentación de los sólidos suspendidos, formándose depósitos que se conocen como bancos de lodo; la de clarificación y otros efectos químicos y biológicos de la luz del sol y la reaereación.

Las reacciones químicas y biológicas simbióticas son más complejas. Los organismos vivos se alimentan de sólidos orgánicos, produciendo desechos que pueden destruirlos y que al mismo tiempo sirven como alimento para los tipos que los suceden, los cuales continúan el proceso de descomposición, hasta que los complejos sólidos orgánicos quedan finalmente reducidos a sales inorgánicas estables como son los nitratos, los sulfatos, los fosfatos, etc. Estos sirven a su vez de alimento a otras formas biológicas, como las algas, que durante su proceso de desarrollo y metabolismo producen oxígeno como producto de desecho. Entonces éste se disuelve en el agua, agregándose al que se obtiene por la reaereación. Estas reacciones hacen que el agua vuelva a una condición de relativa limpieza y puede considerarse que se ha completado la auto purificación. El proceso de la auto purificación depende del tiempo, de la temperatura, del abastecimiento de oxígeno y de otros factores ambientales que regulan los desarrollos biológicos.

La auto purificación de una corriente tiene lugar generalmente en cuatro etapas, al dividirse la corriente en cuatro zonas estas sin que se delimite en forma definida cada una de estas. Se conocen como zonas de degradación, de descomposición, de recuperación y de agua limpia. No siempre se puede distinguir la zona de descomposición, como se hará notar en el siguiente cuadro al describirla. (WINKLER MICHAEL A. ,1994: 43)



Oxígeno disuelto	Agua	PECES	INVERTEBRADOS	PLANCTON	Zonas de acción
+	Clara y fresca	Peces comunes  Siluro	Cachipolla 	 Narcisio siliocostri, Lanké, 1988, 100x	<p><b>Zona de degradación.</b> La primera de estas zonas queda inmediatamente abajo del punto de contaminación, y se conoce como zona de degradación. Esta zona se caracteriza por presentar signos visibles de contaminación, pues se presentan sólidos flotantes, como fragmentos de basuras, astillas, papel y a veces algunos sólidos fecales. La turbiedad de la corriente aumenta sensiblemente por la descarga de aguas. El oxígeno disminuye pero no se agota inmediatamente. La fauna acuática disminuye y queda limitada a aquellas especies capaces de sobrevivir en el agua que contiene relativamente poco oxígeno disuelto. Aunque no es visible, abunda la actividad biológica. Las bacterias se presentan en grandes cantidades, incluyéndose las patógenas que estaban en las aguas negras. Los hongos también se presentan y con el tiempo se encontrarán grandes crecimientos filamentosos de éstos adheridos a las rocas y arbustos de las riberas. El activo desarrollo de vida microbiológico absorbe y agota gradualmente el oxígeno disuelto. Si en esta sección de la corriente es lento el flujo, tiene lugar la sedimentación de los sólidos suspendidos, creándose bancos de lodo. Esta acumulación de sólidos de las aguas negras se pudre y contribuye posteriormente a la degradación de la corriente.</p> <p><b>Zona de descomposición.</b> A medida que se va agotando la reserva de oxígeno disuelto, la zona de degradación se convierte en zona de descomposición, en donde se inicia la descomposición anaerobia o putrefacción. Cuando la contaminación es intensa, esto ocurre rápidamente. Con una menor descarga de aguas negras con respecto al volumen de la corriente, la aparición de la segunda zona es más lenta. Cuando el volumen de aguas negras que se descargan es muy pequeño, en comparación con la corriente, de manera que haya siempre el suficiente oxígeno disuelto para mantener la vicia aerobia, no aparece en la corriente la zona de descomposición, y entonces la zona de degradación se va transformando directamente en zona de recuperación.</p> <p><b>La zona de descomposición anaerobia.</b> El oxígeno disuelto está casi o totalmente agotado y ha desaparecido toda fauna acuática. El agua se vuelve negra y se producen olores ofensivos como resultado de la descomposición de los sólidos orgánicos por los organismos anaerobios presentes en grandes cantidades. Continúa la sedimentación de los sólidos suspendidos apareciendo depósitos de lodo similares a los de la primera zona. Al ir progresando la descomposición de la materia orgánica, disminuye la cantidad de sólidos putrescibles y empiezan a disminuir de intensidad las reacciones de putrefacción. El oxígeno de reaeración iguala primero y excede después al que se va necesitando para la descomposición bioquímica, de manera que al final de esta zona hay algo de oxígeno disuelto, presente, originándose así la tercera zona que es la zona de recuperación.</p> <p><b>Zona de recuperación.</b> En esta zona aparece el oxígeno disuelto en cantidades gradualmente mayores, los sólidos orgánicos disminuyen y presenta una apariencia favorable la corriente. Sigue habiendo microorganismos, pero en menor cantidad; se han extinguido las especies anaerobias, quedando solamente las aerobias. Los peces pueden sobrevivir nuevamente y aparecen otras formas superiores de organismos en grandes cantidades. Continúa la sedimentación de los sólidos orgánicos formando bancos de lodo y poblándose de gusanos y larvas que son perfectamente visibles en los depósitos del fondo, contribuyendo a la ulterior descomposición.</p> <p>Como ya se ha hecho notar anteriormente, si en la corriente hay siempre condiciones aerobias, la zona de recuperación es la que inmediatamente sigue a la zona de degradación.</p> <p><b>Zona de agua limpia.</b> En la zona de recuperación se ha consumado casi completamente la descomposición de los sólidos orgánicos y se hallan en mayor concentración sólidos inorgánicos estables. Entonces entra la corriente a su cuarta zona o zona final, que es la Zona de Agua Limpia. En ésta, la apariencia del agua es similar a la que tenía antes de recibir el material contaminante. No hay sólidos flotantes visibles, el agua es clara, libre de materia suspendida, y ha recuperado su transparencia original. La concentración de oxígeno está cercana o está en el punto de saturación. Hay organismos microscópicos vivos, incluyéndose las bacterias, pero en cantidades relativamente pequeñas. Abundan los organismos mayores, especialmente algas y otras formas que encuentran en las aguas limpias su medio ambiente óptimo y que emplean como alimento los compuestos inorgánicos estables que resultaron de la descomposición de las aguas negras que produjeron la contaminación. Los peces son más abundantes que antes de la contaminación debido al aumento de la población de organismos microscópicos que sirven para aumentar el suministro de alimento a los peces.</p>
-	Turbia y Mas Oscura	Peces más tolerantes  Trucha	Simulium 	Paramecio 	
-	Séptica Con Olor y Cieno flotante	Ninguno	Culebra 		
-	Mejoran Sus características	Peces más tolerantes  Barbo	Simulium 	Stentor 	
+	Clara y fresca	Peces comunes  Siluro	Cachipolla 	Dinobrio 	

Fuente: Elaborado por el autor según ELIASSEN y DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK



Para la auto purificación de una corriente se requiere que el tiempo o distancia recorrida den lugar a las cuatro zonas y esto depende de la turbulencia del flujo, fuerza y volúmenes relativos de la contaminación, de la corriente, de la temperatura del agua y principalmente, de si se descarga o no una contaminación adicional durante el progreso de la auto purificación.

*Posibilidad de contaminación residual.* Pueden sobrevivir algunos organismos patógenos y virus ya que el proceso de auto purificación afecta principalmente a la materia putrescible. Otros compuestos metálicos y sustancias contaminantes, provenientes de procesos industriales y de manufactura, no se alteran por los procesos bioquímicos y si estas sustancias están presentes en concentración suficiente, interfieren e inhiben la descomposición biológica y pueden permanecer como contaminación residual en la corriente receptora haciéndola inapropiada para ser usada con fines recreativos o abastecimiento. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, 1976: 37).

## **I.7.- Disposiciones generales de diseño.**

### **I.7.1.-Necesidad del tratamiento.**

Debido al uso del agua para arrastrar los productos de desecho de la actividad del hombre se genero el problema de disponer de las aguas servidas. En cierta época, los volúmenes de desecho, sin que el agua sirviese de vehículo, eran muy pequeños y su eliminación se limitaba a los excrementos familiares o individuales. El primer método consistía en dejar los desechos corporales y las basuras en la superficie de la tierra, en donde eran gradualmente degradados por las bacterias (principalmente del tipo anaerobio), originando olores ofensivos. La experiencia demostró que al

enterrarlos prontamente, se evitaba malos olores. El desarrollo de sanitarios mejoro la eliminación de los desechos y aun se emplea de manera generalizada.

Con el proporcional aumento de desechos orgánicos y aguas negras, los métodos de disposición resultaron insatisfactorios y se tomaron medidas esenciales para remediarlos y se desarrollaron los métodos de tratamiento, antes de su disposición final.

Hay que tomar en consideración en el tratamiento de aguas negras lo siguiente:

- 1) La conservación de las fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico.
- 2) La prevención de enfermedades.
- 3) La prevención de molestias.
- 4) El mantenimiento de aguas limpias para el baño y otros propósitos recreativos.
- 5) Mantener limpias las aguas que se usan para la propagación y supervivencia de los peces.
- 6) Conservación del agua para usos industriales y agrícolas.
- 7) La prevención del azolve de los canales navegables.

Al diseñar una planta de tratamiento de aguas negras se piensa en reducir de las aguas negras cantidades suficientes de sólidos orgánicos e inorgánicos que permiten su disposición, sin que los objetivos anteriores sean transgredidos.

Por lo general todos los procesos usados en el tratamiento de aguas negras siguen los lineamientos de los de auto purificación de una corriente contaminada.

Cada dispositivo para el tratamiento lo único que hace es limitar estos procesos a un área adecuada, restringida y controlada, proporcionando las mejores condiciones para que las reacciones físicas y bioquímicas sean continuas y se efectúen con rapidez.

El grado de un tratamiento determinado varía mucho de un lugar a otro. Existen los siguientes factores básicos determinantes:

- 1) Las características y la cantidad de sólidos acarreados por las aguas negras.
- 2) Los objetivos que se propongan en el tratamiento.
- 3) La capacidad o aptitud que tenga el terreno (para la disposición subsuperficial o por irrigación), o el agua receptora (en la disposición por dilución), para verificar la auto purificación o dilución necesaria de los sólidos de las aguas negras, sin violar los objetivos propuestos.

Una vez de terminado el tratamiento y después de evacuar el efluente de una planta, aún quedan en ella los sólidos y el agua contenida en los lodos, que han sido separados y se tiene que disponer también de ellos en forma segura sin producir efectos negativos o nocivos.

La auto purificación de una corriente puede medirse mediante pruebas adecuadas de laboratorio, las cuales incluyen pruebas físicas, químicas y biológicas.



Similarmente se controla y se mide el avance de los procesos en una planta de tratamiento de aguas negras. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, 1976: 37-38) (METCALF & HEDDY, 1991:927-928).

#### I.7.2.- Aspectos legales en la disposición de las aguas negras.

La alteración de los derechos de los demás debido a la contaminación con aguas residuales, da pie a la reglamentación en dicha materia desde tiempos muy remotos esto dio lugar a que en la antigüedad aparecieran lentamente ciertas costumbres que regulaban la disposición de los desechos de los individuos y de los grupos. Con el paso del tiempo, estas costumbres adquirieron fuerza formándose reglamentos legales y después como leyes.

*“Ley mosaica.* Uno de los más antiguos reglamentos que se registran en la historia, relativos a la disposición de desechos, puede encontrarse en el capítulo 23 del Deuteronomio. Moisés, como guía de su pueblo, consideró necesario establecer reglas para la conducta de sus adeptos. Los versículos 12 al 14 de dicho capítulo contienen aquella parte de la Ley Mosaica que establece una responsabilidad personal para la disposición adecuada de excrementos y exigía que fuesen enterrados. Las investigaciones modernas no han alterado los principios fundamentales en que se apoya esa medida. El mayor conocimiento acerca de la transmisión de enfermedades de una persona a otra, así como la necesidad de la limpieza personal en la vida comunitaria, ha dado lugar a mejores prácticas y reglamentaciones para disponer de estos productos de desecho”.

*La práctica legal moderna.* En estos días la globalización al igual que en el comercio han tocado los temas referentes al deterioro ambiental y los principios generales del derecho común han sido aclarados y modificados por muchas leyes específicas y por los reglamentos relativos a la disposición de las aguas negras en las corrientes y otras masas de agua intentando lograr una ley con alcances globales. Gran número de litigios basados en casos de contaminaciones, han originado que en la mayoría de los estados se legisle reglamentando el tratamiento y la disposición de los desechos de las poblaciones.

Tal legislación se aplica no solamente a la contaminación de los cursos de agua, sino que controla la instalación de medios para el tratamiento, requiriendo la aprobación del diseño y la supervisión de la operación por parte de alguna comisión gubernamental. En la legislación se incluyen la disposición de los desechos industriales así como de las aguas negras domésticas. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, 1976: 38-39)(COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE MÉXICO A.C., 227-232).

LEGISLACION EN MEXICO (NORMAS MEXICANAS).

**“SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS**

**NATURALES Y PESCA**

**NORMA OFICIAL MEXICANA**

**NOM-003-ECOL-1997**

**QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE  
CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE  
REUSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO.**

**(Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de septiembre de 1998)**

**1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN**

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso.

En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reuso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma.



#### 4. ESPECIFICACIONES

4.1 Los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas son los establecidos en la Tabla 1 de esta Norma Oficial Mexicana.

T A B L A 1  
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES

	PROMEDIO MENSUAL				
TIPO DE REUSO	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites mg/l	DBO <sub>5</sub> mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	£ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	£ 5	15	30	30

Fuente: SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA NORMA OFICIAL MEXICANA **NOM-003-ECOL-1997**

4.2 La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana.

4.3 El agua residual tratada reusada en servicios al público no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la columna que corresponde a embalses naturales y

artificiales con uso en riego agrícola de la Tabla 3 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, referida en el punto 2 de esta Norma.

4.4 Las entidades públicas responsables del tratamiento de las aguas residuales que reusen en servicios al público, tienen la obligación de realizar el monitoreo de las aguas tratadas en los términos de la presente Norma Oficial Mexicana y de conservar al menos durante los últimos tres años los registros de la información resultante del muestreo y análisis, al momento en que la información sea requerida por la autoridad competente.” (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997)

### **I.7.3- Descripción de los métodos de tratamiento de las aguas negras.**

Para lograr la disposición satisfactoria de las aguas negras, sea por irrigación, por el método subsuperficial o por el de dilución, es imperativo el tratamiento previo a su disposición. Para poder disponer las aguas servidas por dilución es necesario un tratamiento acorde para prevenir la contaminación de las aguas receptoras en un grado en que pueda interferir con su mejor empleo, presente o futuro. Para evitar que se tengan condiciones ofensivas es necesario algún tratamiento por mínimo que este sea.

Es posible agrupar los métodos para el tratamiento en los cinco procesos siguientes:

- 1.- Tratamiento preliminar.

- 2.- Tratamiento primario.
- 3.- Tratamiento secundario.
- 4.- Cloración.
- 5.- Tratamiento de lodos.

#### Tratamiento preliminar.

Este es un proceso mediante el cual se eliminarán los sólidos mayores o flotantes, orgánicos e inorgánicos pesados y eliminar cantidades en exceso de aceites o grasas.

Los dispositivos para el tratamiento preliminar son:

- 1.- Rejas de barras o cribas finas.
- 2.- Desmenuzadores (molinos, cortadoras o trituradoras)
- 3.- Desarenadores.



### Tratamiento primario.

En este tratamiento se separan o eliminan la mayor parte de los sólidos suspendidos entre el 40% y 60 % por el asentamiento en los tanques de sedimentación.

Usando productos químicos es posible eliminar la mayor parte de sólidos tanto coloidales como sedimentables, con un total de entre 80% y 90 % de sólidos suspendidos, la actividad biológica es escasa.

El principal objetivo en este tratamiento es la sedimentación así que los dispositivos están buscando la disminución de la velocidad para lograr su objetivo.

Existen una gran cantidad de estos llamados tanques de sedimentación y se pueden dividir en cuatro grupos generales:

- 1.- Tanques sépticos.
- 2.- Tanques de doble acción (como el Imhoff).
- 3.- Tanques de sedimentación simple con eliminación mecánica de lodos
- 4.- Clarificadores de flujo ascendente.

Cuando se utilizan productos químicos es necesario emplear otras unidades como:

1.- Unidades alimentadoras de reactivos.

2.- Mezcladoras.

3.- Flocculadores.

Después de este tratamiento y aunado a la digestión anaerobia de los lodos, se puede hacer una analogía con la zona de degradación en la auto purificación de las corrientes. También aquí es posible utilizar cloro.

Es posible que este tratamiento sea suficiente para que el efluente sea descargado en aguas receptoras sin que afecte el uso posterior de las mismas y acorde con las normas establecidas.

Además es en este procedimiento donde es posible la obtención del llamado BIO GAS (gas metano " $\text{CH}_4$ "), resultado de las reacciones bacterianas en condiciones anaerobias (digestión), siendo un residuo de la reacción. Existen más residuos y dentro de este marco es posible el reuso de prácticamente todos los residuos.

Tratamiento secundario.- Si después del tratamiento primario las aguas negras todavía contienen más sólidos orgánicos en suspensión o en solución de los que pueden ser asimilados por las aguas receptoras, debe aplicarse éste tratamiento. Este se basa principalmente en las reducciones que los organismos aerobios efectúan para la descomposición de los sólidos orgánicos hasta transformarlos en sólidos inorgánicos o en solios inorgánicos estables. Este tratamiento es comparable a la zona de recuperación de la autopurificación de una corriente. Entre los dispositivos más comunes están:

- 1) Filtros goteadores con tanques de sedimentación secundaria.
- 2) Tanques de aereación: a) Lodos activados con tanques de sedimentación simple b) aereación por contacto.
- 3) Filtros de arena intermitentes.
- 4) Estanques de estabilización.

### Cloración.

Este es un método de tratamiento que puede emplearse para muy diversos propósitos, en todas las etapas de un tratamiento de aguas negras y aún antes del tratamiento preliminar. Generalmente se aplica el cloro a las aguas negras con los siguientes propósitos:



- 1) Desinfección o destrucción de organismos patógenos.
- 2) Prevención de la descomposición de las aguas negras para: a) controlar el olor, b) protección de las estructuras de la planta.
- 3) Como auxiliar en la operación de la planta para: a) la sedimentación, b) en los filtros goteadores, c) el abultamiento de los lodos activados.
- 4) Ajuste o abatimiento de la demanda bioquímica de oxígeno.

#### Tratamiento de los lodos.

Estos están constituidos por los sólidos que se eliminan en las unidades de tratamiento primario y secundario, en conjunto con el agua que se separa con ellos. En algunos casos es satisfactoria la disposición de ellos sin someterlos a tratamiento, pero generalmente es necesario tratarlos para prepararlos para disponer de ellos sin originar condiciones inconvenientes. Este tratamiento tiene dos objetivos, siendo el primero de éstos eliminar parcial o totalmente el agua que contienen los lodos, para disminuir su volumen en una gran proporción y, en segundo lugar, para que se descompongan todos los sólidos orgánicos putrescibles transformándose en sólidos minerales o sólidos orgánicos relativamente estables.

También en este procedimiento donde es posible obtener el biogás (gas metano  $\text{CH}_4$ ), resultado de las reacciones en condiciones anaeróbicas (digestión), siendo este un residuo de la reacción. Existen más residuos que dentro de este marco es posible el reuso de prácticamente todos.

Esto se logra con la combinación de dos o más de los métodos siguientes:

- 1) Espesamiento.
- 2) Digestión, con o sin aplicación de calor.
- 3) Secado en lechos de arena, cubiertos o descubiertos.
- 4) Acondicionamiento con productos químicos.
- 5) Elutriación. (Lavado y separado por medio de agua abundante.).
- 6) Filtración al vacío.
- 7) Secado aplicando calor.
- 8) Incineración.
- 9) Oxidación húmeda.

10) Flotación con productos químicos y aire.

11) Centrifugación.

### *Unidades compactas.*

Se ha vuelto común el término "Unidades compactas", para denotar a cierto equipo que ha sido lanzado al mercado por muchos fabricantes. No hay una definición de este término que haya sido general.

En algunos casos se refiere a una instalación compacta que incluye tanto a los mecanismos como a los recipientes prefabricados, pero este término se aplica también a instalaciones en las que solamente se adquieren los mecanismos, y los recipientes son construidos por el comprador ajustándose a los planos y especificaciones aconsejados por el fabricante. Este último caso es el que se da más a menudo.

Las limitaciones no han sido establecidas con claridad y las unidades compactas individuales han sido generalmente pequeñas instalaciones que prestan servicio a poblaciones chicas. Pero es posible adecuarlas a las condiciones específicas que se tengan.



Estas unidades se han adaptado a prácticamente todos los procesos de tratamiento, ya sea aisladamente o en diversas combinaciones como las que se mencionan en este capítulo. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, 1976: 41-44) (ARIAS CHÁVEZ JESÚS, 1992:15) (METCALF & HEDDY, 1991:122-137).

Es preciso estudiar más afondo los métodos de tratamiento para poder tener una visión con una base amplia sobre la cual poder observar un criterio adecuado.

### **MÉTODOS ANAEROBIOS.**

En la actualidad estos métodos están siendo una alternativa atractiva y a la vez viable ya que es posible tratar una variedad grande de aguas, teniendo las ventajas siguientes:

- 1).- Son sistemas compactos.
- 2).- Tratan aguas residuales con alta concentración de DBO.
- 3).- Demandan menos cantidad de nutrientes que los requeridos en sistemas convencionales.
- 4).- Es una fuente para obtener energía renovable.
- 5).- El requerimiento de energía eléctrica es mínimo.
- 6).- Se tiene menos producción de lodos.
- 7).- Es una buena alternativa para tratar los lodos de otro sistema.

Hoy en día podemos encontrar en el mercado una gran cantidad de estos sistemas con buenos resultados y costos accesibles. (SOLÍS MORELOS C., 1994:

29-35)(INT. CONF. ANAEROBIC DIGESTIÓN, 1983:14-30) (METCALF & HEDDY, 1991:420-428).

## **HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

En este método se imitan los procesos físicos, químicos y bacteriológicos, que se llevan acabo en un Humedal o pantano natural en donde se degradan los contaminantes de las aguas residuales, sirviendo de alimento a las plantas y demás habitantes del sistema. El humedal Artificial ha sido implementado en una gran cantidad de lugares alrededor del mundo, incluso en lugares muy fríos (como en el caso de Europa) con resultados admirables.

Tiene un potencial muy grande debido a su sencillez y bajo costo (de operación y de construcción), además de poseer una alta eficiencia en la remoción de contaminantes, incluso metales pesados y bacterias nocivas. (CARMEN DURAN-DE-BAZÚA, 2002: 4-15) (METCALF & HEDDY, 1991:992-1002).

## **MÉTODOS COMBINADOS DE TRATAMIENTO.**

Existen una gran cantidad de combinaciones de tratamientos con distintos objetivos y resultados. En particular la combinación de estos dos últimos métodos ha logrado que el tratamiento de aguas residuales sea muy eficiente y se logren obtener calidades muy altas en los efluentes (con operación sencilla y bajos costos) además de recuperar energéticos (gas metano "bio-gas") y fertilizantes con alto contenido de nutrientes. Tal es el caso de la tecnología (mexicana) del Dr. Jesús Arias Chávez y sus sistemas Xochicalli®. (JESÚS ARIAS CHÁVEZ, 1992:1-3).

En el siguiente capítulo se estudiara a fondo estas tecnologías innovadoras y posteriormente su posible aplicación al caso particular motivo de la presente tesis.



# **CAPÍTULO II**

## **MÉTODOS DE TRATAMIENTO**

Foto: Vista de la Espumita  
Tomada por el autor.

## CAPÍTULO II.

### MÉTODOS DE TRATAMIENTO.

A continuación se estudiarán algunos de los métodos que existen en el tratamiento de aguas residuales así como los principios que los rigen.

#### II.1.- PRETRATAMIENTO.

Todas las aguas residuales requieren antes de que sean tratadas en los procesos principales de tratamiento, de un pretratamiento. Con el propósito fundamental de quitar materiales, tales como arenas y otros residuos que pudieran dañar o interferir con el funcionamiento del equipo o de los procesos biológicos de la planta. En primera instancia, deben cribarse las aguas residuales para quitarles todos los objetos tales como troncos o sólidos mayores que pudieran taponar el equipo provocando daños a este; se deben remover también todos los materiales abrasivos tales como arenas, con el objeto de proteger las bombas y prevenir la formación de sólidos pesados en el fondo de los tanques, tuberías, etc. Preferentemente deberá elevarse el agua a una altura suficiente tal que permita, por medio de la fuerza de gravedad, que el flujo pase a lo largo del resto de la planta de tratamiento. Las cribas y sus características serán analizadas continuación.

### II.1.1.-CRIBAS.

#### Generalidades.

Se diseñan con objeto de proteger de taponamientos o daños a las bombas y otros equipos debido a los sólidos mayores que se encuentran en las aguas residuales, estas se deben de instalar antes de las estaciones de bombeo para que detengan estos sólidos.

#### II.1.2.- Tipos de Dispositivos para Cribado.

Hay distintas variedades de dispositivos para este fin que pueden ser aplicados a diseños de plantas municipales.

Entre los distintos tipos podemos encontrar las rejas para basura que son una serie de barras o soleras de metal paralelas, en sentido vertical o con un determinado ángulo de inclinación, que retiene los objetos grandes como los troncos, botellas y envases de plástico que van en las aguas residuales. La separación entre barras de estas rejas es generalmente una mayor a los 5 centímetros. Si por su naturaleza el agua residual esta exenta de sólidos mayores orgánicos e inorgánicos, se puede prescindir de este tipo de dispositivos.

Las rejillas funcionan bajo el mismo principio que las rejas para basura y su uso conviene en las plantas de tratamiento municipal. En estas rejillas los claros entre barras son mas pequeños que los usados en las rejas para basura y normalmente varían entre 2.5 y 5 cms. para unidades de limpieza manual y de 1.5 a 5 cms. en las cribas de limpieza mecánica. Su propósito es el remover ramas, bolsas de plástico y harapos del cause de las aguas negras.



### II.1.3.-Diseño de dispositivos para cribado.

Por su mayor uso y mayor servicio, a continuación se describen las características de diseño de las rejillas.

Estos dispositivos pueden estar precedidos por una reja para basura de limpieza manual con aberturas de 5 a 10 cm., si existe una posibilidad considerable de que objetos grandes puedan entrar al sistema de drenaje. Las aberturas entre barras es uno de los elementos principales en el diseño completo de una rejilla, pues esto determinara tanto el tamaño de los objetos como la cantidad de material que removerá la rejilla del agua residual, además también se tendrá que determinar la frecuencia de limpieza requerida para el caso de rejillas de limpieza manual. La tabla 3.1.2 muestra las cantidades normales de material cribado para diferentes aberturas en las rejillas.

Las aberturas son un factor importante ya que si son demasiado pequeñas, se retendrá una gran cantidad de material, impactando con una gran pérdida de carga y un problema asociado con su manejo y disposición. Se pueden remover adecuadamente en la mayoría de los

<b>TABLA 3.1.2</b>	
CANTIDAD DE MATERIAL CRIBADO POR UNA REJILLA EN FUNCIÓN DE LA ABERTURA ENTRE LAS BARRAS	
ABERTURA (cm)	PROMEDIO DE CRIBADO (m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de Flujo)
6.5	4 X 10 <sup>-6</sup>
5	5 X 10 <sup>-6</sup>
4	8 X 10 <sup>-6</sup>
2.5	22 X 10 <sup>-6</sup>
1.5	47 X 10 <sup>-6</sup>

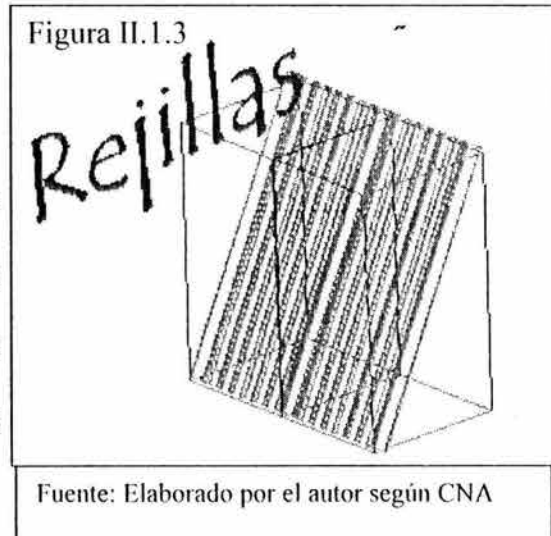
Fuente: Elaborado por el autor según CNA

casos. Por lo tanto, las aberturas deben ser tan grandes como sea posible,

considerando a la vez que se proteja al equipo ubicado posteriormente, como en el caso de los mecanismos de recolección de arenas y de bombeo.

La figura II. 1. 3 se presenta un esquema de rejillas diseñadas para limpieza manual. La velocidad requerida del flujo determina el tamaño del canal donde está la rejilla.

Para prevenir caídas de presión excesivas o la posibilidad de forzar el paso de la materia cribada a través de las barras la velocidad (V) a través de las rejillas deberá mantenerse en ciertos límites. Los valores generalmente aceptados son 60 cm/seg.



flujo normal y 90 cm/seg. en flujo máximo. Esta velocidad está en función del caudal y del área efectiva de paso en la rejilla, determinada por las proyecciones verticales de las aberturas entre barras, medidas desde el fondo del canal hasta la superficie del líquido.

El Área efectiva se calcula con la siguiente fórmula:

$$A = F/V \quad \text{Ecuación 3.1.1}$$

donde V es la velocidad del flujo (m/seg.)

F es el flujo de diseño en (m<sup>3</sup>/seg.)

A es el área proyectada de las aberturas (m<sup>2</sup>)

Para contrarrestar la caída de presión a través de la rejilla, la diferencia de elevación {H} entre el fondo del canal de la rejilla y el fondo del canal de entrada deberá ser de 8 a 15 cm aproximadamente. Con el área efectiva necesaria basada en el flujo y la velocidad, el canal se puede dimensionar para acomodar la rejilla, seleccionando la anchura y profundidad apropiadas. El canal de entrada deberá ser recto para proporcionar una distribución uniforme del flujo a la rejilla, y deberá mantener una velocidad aproximada de 45 cm/seg. a caudal promedio.

En función de la técnica de limpieza prevista se determina el ángulo de inclinación de la rejilla. En ángulos de 30 a 60° (respecto de la horizontal) las rejillas facilitan la limpieza manual. Con ángulos mayores, inclusive en posición vertical se instalan para limpieza mecánica.

Para poder seleccionar el tamaño de las barras se deberán tomar en cuenta las dimensiones necesarias de la rejilla, además de los tipos de materiales que esperamos remover del agua residual. Al diseñar estos dispositivos la longitud debe ser tal que se extiendan por lo menos 25 cm, en proyección vertical, por arriba del nivel máximo del agua; deberán soportar los sólidos que retendrán sin que estos puedan dañar las rejillas. A continuación se presenta en la siguiente tabla las características recomendables de las barras, por lo general soleras de acero en función de la

longitud.

<b>TAMAÑOS NORMALES DE BARRAS</b>		
LONGITUD DE LAS BARRAS	DIMENSIONES APROXIMADAS	
	ESPESOR	ANCHO
Hasta 0.75 metros	0.6 cm	2.5cm
de 0.75 a 2 metros	0.8 cm	5cm
de 2 a 4 metros	1 cm	6.3cm
mayor de 4 metros	1.25 cm	7.75cm

Fuente: Elaborado por el autor según CNA



Es común que por lo general el canal de cribado sea diseñado con un ancho no menor de 0.6 metros, y máximo de 4.25 metros. Pero en sistemas pequeños donde la obra sea superficial se permiten anchos hasta de 0.4 m. El tirante de agua residual debe mantenerse tan bajo como sea posible para minimizar la pérdida de carga. (C.N.A., 1977:21-31)

#### II.1.4.- Mecanismos de Limpieza.

La disposición y el manejo del material cribado es muy importante para asegurar que el equipo de cribado trabaje adecuadamente, para evitar las caídas de presión y taponamientos. Estos dispositivos son muy eficaces siendo los de limpieza manual apropiados para la mayoría de las plantas de tratamiento. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, 1976:47)  
(C.N.A., 1977: 32-33)

#### II.2.- DISPOSITIVOS PARA REMOCION DE ARENAS.

##### Generalidades.

Dentro del termino arenas se denominan a las partículas sólidas pesadas como la arena propiamente dicha, grava, cenizas u otros sólidos más pesados

que la materia orgánica putrescible, que van a dar al sistema de drenaje municipal por las coladeras y resquebrajamientos en las tuberías o a través de los drenajes habitacionales. Es común su presencia en sistemas combinados, por lo que es necesario instalar cámaras desarenadoras para su remoción. Con esta remoción se protegen las bombas y otros equipos del excesivo desgaste por la abrasión y no permite que este material se acumule en los tanques y pueda causar obstrucciones y taponamientos. Normalmente se instalan los dispositivos de remoción de arenas después de las rejillas y antes del equipo de bombeo. En algunas ocasiones, las líneas de drenaje pueden estar demasiado profundas, por lo que no es práctico colocar el dispositivo de remoción de arenas antes de las bombas. Dado el caso anterior, el dispositivo se coloca después de las bombas del influente, requiriéndose bombas resistentes a los abrasivos. (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, 1976:48-49) (C.N.A., 1977: 33-34)

#### II.2.1. - Tipos de Unidades para Remoción de Arenas.

Esencialmente hay dos tipos de unidades para remover arenas: cámaras simples de flujo horizontal y tanques aireados.

Cámaras Simples: Son canales rectangulares en donde se mantiene una velocidad controlada, sedimentando las arenas hasta el fondo del canal y los sólidos orgánicos putrescibles ligeros pasen a las subsecuentes unidades de tratamiento.

Tanques aereados: Estas unidades mantienen en suspensión la materia orgánica con un dispositivo de aereación que permite se sedimenten las arenas hasta el fondo del tanque, mediante el control de la cantidad de aire inducido. Este tipo de unidades desarenadoras requieren de compresores de aire y equipo asociado, por lo que por lo general se prefieren las cámaras simples en los sistemas de tratamiento primario. Por esto, en seguida se discuten solamente los principios del diseño de las cámaras simples de desarenación.

### II.2.3.- Fundamentos de la Remoción de Arenas.

El principio de la sedimentación diferencial es utilizado en las cámaras desarenadoras para sedimentar las partículas de arena en tanto que permiten que el material orgánico ligero continúe suspendido. Lo anterior se logra por medio del control de la velocidad del flujo de las aguas residuales y es posible controlar tamaño y densidad de las partículas por remover. Comúnmente la practica nos indica que la remoción de todas las partículas de 0.2 mm de diámetro o mayores, a la gravedad especifica de 2.65, dan una adecuada protección al equipo.

<b>CUADRO II.2.1 VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN CONTRA TEMPERATURA</b>	
<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>Velocidad (cm/seg)</b>
0	1.4
10	2.1
20	2.7
30	3.2
Partícula de 0.2mm, grab. Especif. 2.65	

Fuente: Elaborado por el autor según CNA

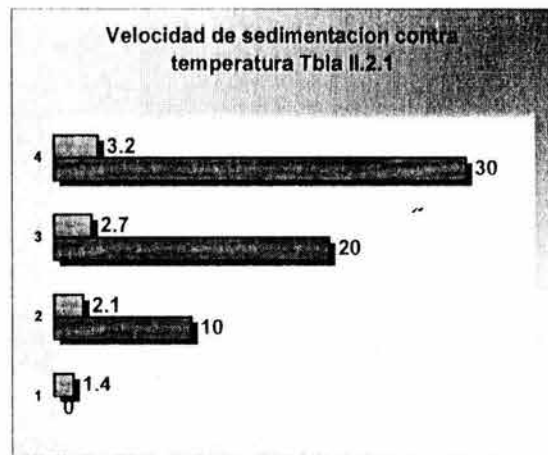
Es necesario proporcionar suficiente tiempo de retención para lograr su remoción y para que las partículas se asienten desde la superficie hasta el fondo del tanque. En el cuadro II.2.1 se muestra la velocidad de sedimentación



contra la temperatura observando la tendencia siguiente: a mayor temperatura la velocidad de sedimentación es más grande.

### II. 2.3. - Control de la Velocidad.

Es necesario mantener una velocidad de flujo aproximadamente constante, para lograr esto se debe equipar a la cámara desarenadora con una sección de control que proporciona básicamente una nueva Área en la sección transversal del canal, relacionada a la velocidad del flujo. Este control es posible usando un vertedor proporcional o un canal Parshall instalados en el lado corriente abajo de la cámara.



Fuente: Elaborado por el autor según CNA

De estos mecanismos los vertedores proporcionales son los que mejor favorecen el control de la velocidad, siempre y cuando las características nos proporcionen de carga hidráulica suficiente que permita que el borde del vertedero este lo suficientemente arriba de la superficie del agua corriente abajo. Con este tipo de vertedero se logra un buen control en un amplio rango de flujos.

En sentido opuesto el canal Parshall no requiere de mucha carga, pero da un buen control de velocidad a un rango de flujos más limitado. Esta unidad también requiere de más espacio en su instalación e impacta con un mayor costo.

El uso de varias cámaras desarenadoras es apropiado cuando el caudal es grande, para el control de la velocidad se puede lograr variando el número de cámaras en operación.

El vertedor proporcional Fig. II. 2.3 funciona con el principio básico de que el gasto a través de el, varia directamente con la carga; esto es que el control de flujo va directamente relacionado con la forma del vertedor.

Debe mantener una velocidad constante de 30 cm/seg. aproximadamente en el canal desarenador. Las ecuaciones de diseño son:

$$F = 2b \sqrt{2ag} (h+2/3 a) \text{----- EC. 3. 2. 1}$$

$$F_1 = 4/3 b \sqrt{2g} (h+a)^{3/2} - h^{3/2} \text{----- EC, 3. 2. 2}$$

$$X = b [ 1 - 2/\pi \tan^{-1} ( \sqrt{Y/a} ) ] \text{----- EC. 3.2.3}$$

donde:

F = flujo de agua residual m /seg.

b = mitad del ancho del vertedor (m)

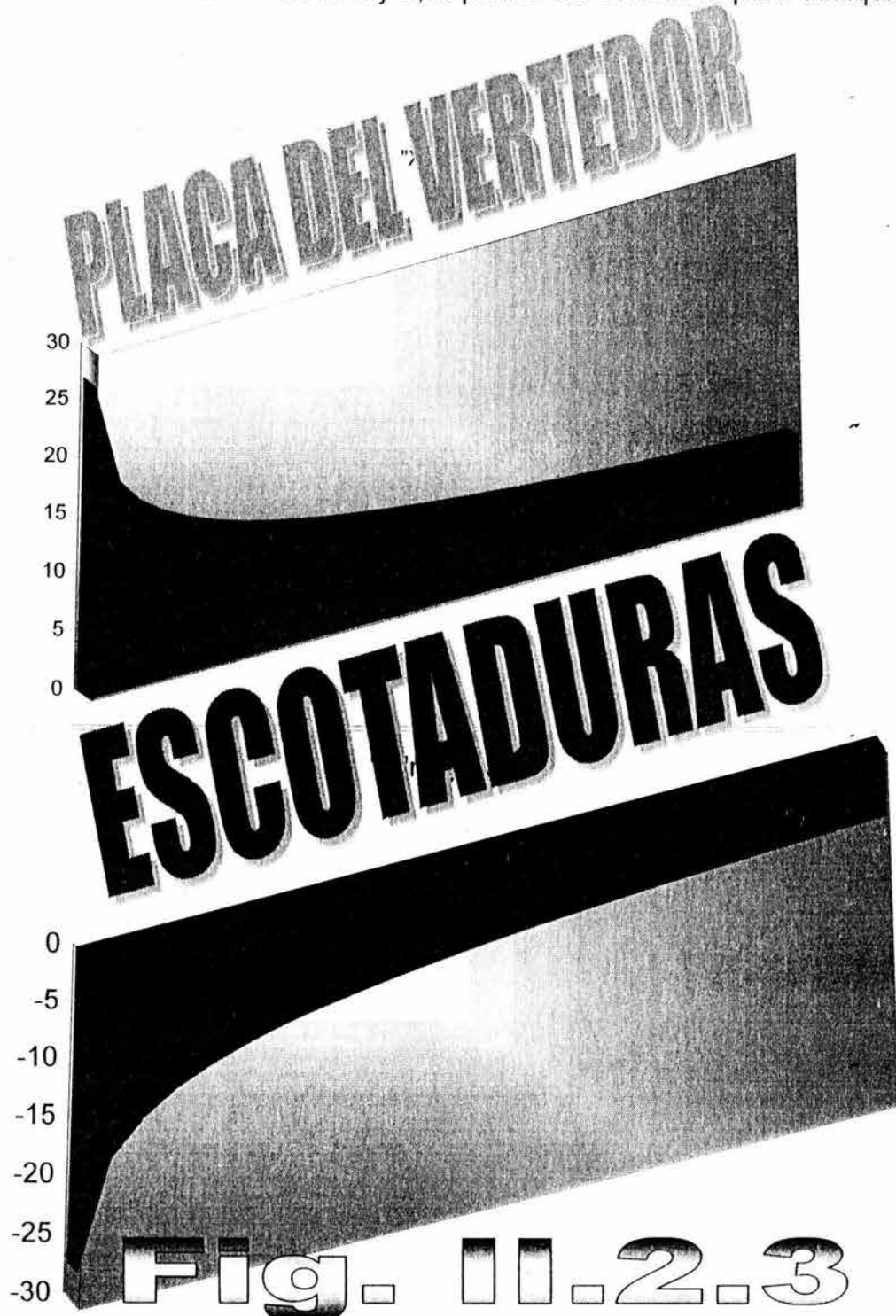
a = altura de la parte rectangular del vertedor (m)

h = altura del vertedor (m)

F<sub>1</sub>= flujo de agua residual de la parte rectangular del vertedor m /seg.

En la ecuación 3. 2. 1 la incógnita a resolver, es "b", ya que, "a" se asume con un valor mínimo de 2. 5 cm ( 1 pulgada ) y se puede ajustar a que se obtenga un valor adecuado de "b" de acuerdo a las dimensiones del canal; "h" se calcula

considerando que el tirante máximo "H" en el canal desarenador es igual a la altura del vertedor "h" mas "2/3 a". Aplicando la ecuación 3. 2. 3, se obtiene la curva del vertedor. Determinadas a y b, X puede ser calculada para cualquier valor de Y.



**Fig. 11.2.3**

Fuente: Elaborado por el autor según CNA



En el vertedor la máxima altura de la sección rectangular puede ser proporcionada por el ancho permitido del vertedor. Por lo general en la práctica, cuando la superficie del flujo permanece dentro de la sección rectangular del vertedor, el control de la velocidad no se logra.

Para estos vertedores otra limitación a la exactitud se da por la necesidad de un área para el almacenamiento de arena. En muchos casos la cresta del vertedor estará a un mínimo de 10 cm y usualmente al rededor de 30 cm, encima del fondo de la cámara para fines de almacenamiento. Es ajustar la cresta del vertedor para obtener el mejor resultado bajo las condiciones observadas. (METCALF & EDDY, 1991:193-200) (C.N.A., 1977: 33-34)

#### II. 2. 4. - Diseño de las Cámaras Desarenadoras.

Por la experiencia se ha mostrado que la velocidad horizontal de 30 cm/seg. del flujo en la cámara desarenadora o lo mas próximo posible, permitirá la sedimentación de las arenas y también mantendrá en suspensión a la mayor parte de la materia orgánica (figura II. 2. 4). Para el mantenimiento de esta velocidad se deberá equipar a la cámara desarenadora con un dispositivo de control de velocidad. (METCALF & EDDY, 1991:220-240)(C.N.A., 1977: 39)

El área de la sección transversal (  $A$  ) del canal desarenador se basa en el flujo de diseño (  $F$  ) y la velocidad horizontal (  $V$  ) :

$$A = F V \quad \text{Ecuación 3. 2.4}$$

donde A es el área de la sección transversal del canal desarenador ( $m^2$ ).

F es el flujo del agua residual (m /seg )

V es la velocidad del flujo ( 0.3 m /seg )

Por otra parte:

$$A = W (H) \quad \text{Ecuación 3.2.5}$$

donde; W es el ancho de la cámara ( m ) y H es el tirante o profundidad del agua en el canal ( m ) para caudal máximo.

El ancho mínimo ( W ) recomendable es de 0.6 m para facilidad de limpieza; sin embargo en sistemas pequeños se permite hasta 0.4 m. Por lo tanto:

$$H = \frac{(F)}{(V)} \quad X \quad \frac{1}{(W)} \quad \text{Ecuación 3.2.6}$$

$$Y L = (H) /u \quad (V) \quad \text{Ecuación 3.2.7}$$

Donde  $L$  es el largo de la cámara ( m )

y  $u$  es la velocidad de sedimentación de la arena ( m /seg )

utilizando los datos del cuadro II.2.2.

A causa de los efectos producidos por las turbulencias y alteraciones de entrada y salida, la longitud de la cámara deberá incrementarse un 40% sobre el valor teórico obtenido anteriormente. También se debe proveer un espacio dentro de la cámara con el fin del almacenamiento de las arenas y la acumulación al igual que la remoción de estas. Por lo general la cantidad de arenas residuales varía en un rango de 0.01 a 0.06 m<sup>3</sup> por cada 1000 m<sup>3</sup> de agua residual.

La variación del volumen para almacenar las arenas depende de la frecuencia de limpieza prevista. En la práctica las cámaras desarenadoras son construidas en paralelo logrando facilitar la limpieza, en tanto la otra continúa en operación sin interrumpir el flujo. (C.N.A., 1977: 39-41).



Figura II. 2. 4 (a)

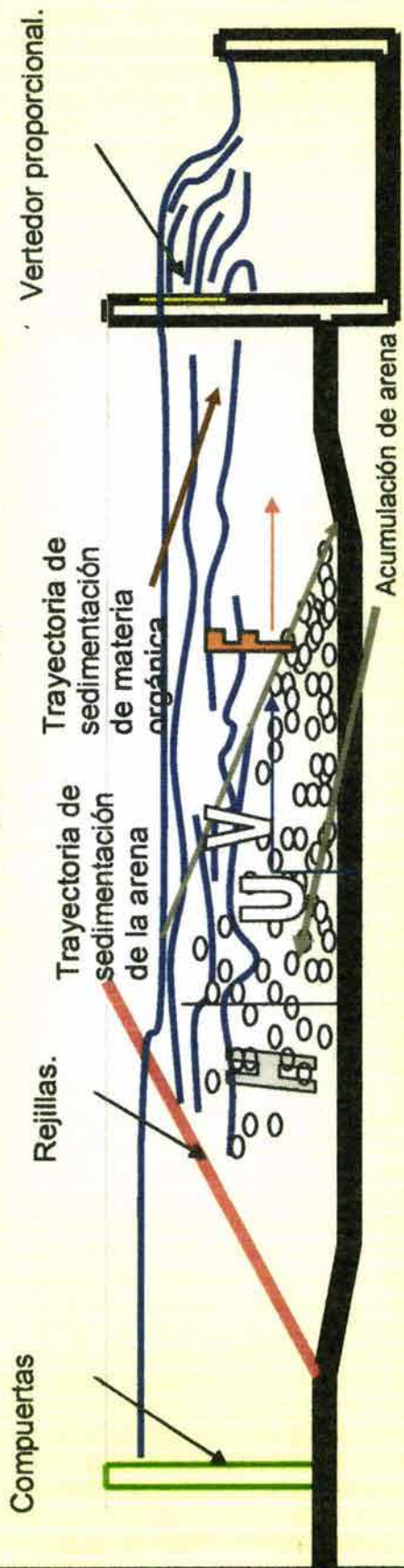
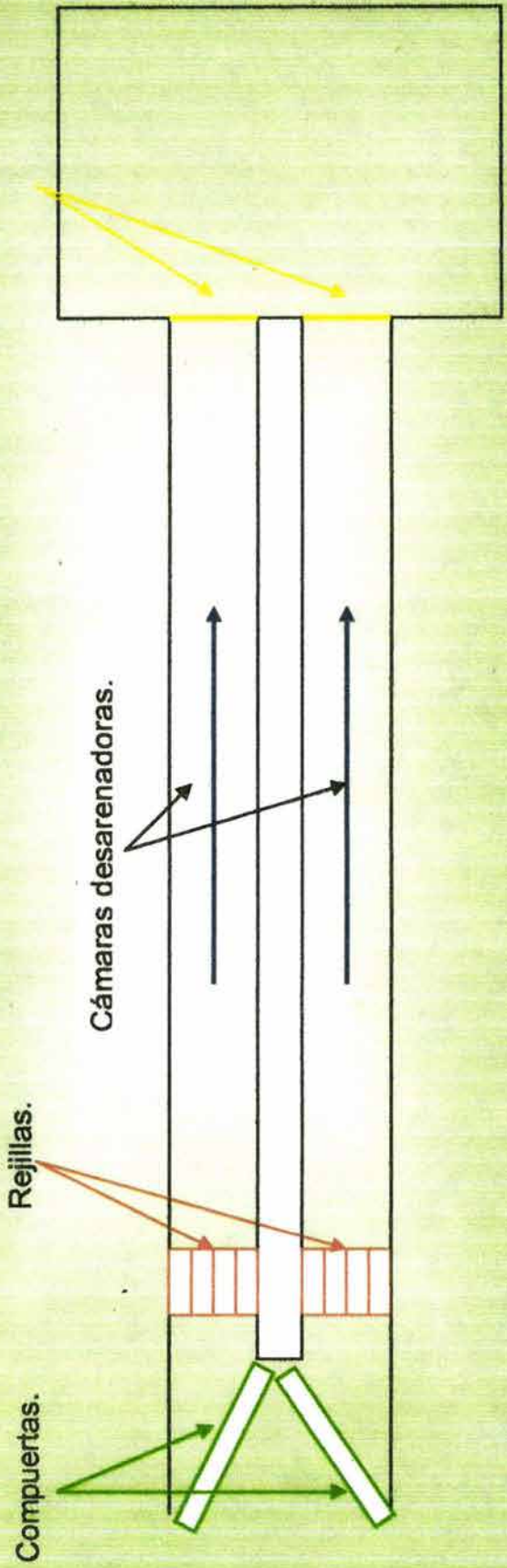


Figura II.2.4 (b) INSTALACIÓN DE DOBLE CAMARA DESARENADORA.



### II.3.- DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA.

Desde hace tiempo el proceso de digestión anaerobia a dejado de ser un concepto exclusivamente aplicado al tratamiento de lodos procedentes de depuradoras de aguas urbanas, el actual conocimiento de este proceso en los últimos años, a permitido el diseño de equipos, que pueden competir con otras técnicas alternativas, tanto en el tratamiento de aguas residuales urbanas como en aguas residuales industriales.

La digestión anaerobia es un proceso microbiológico que en condiciones anaerobias (en ausencia de oxígeno), permite transformar la materia orgánica en metano, esta conversión se produce en diversos ambientes, ya sean naturales como los sistemas gastrointestinales (rumen), los sedimentos marinos de ríos y lagos, las fuentes termales, los volcanes, o bien en sistemas controlados como los fermentadores o digestores anaerobios.

Este proceso se caracteriza, por un conjunto de reacciones asociadas al metabolismo de numerosos microorganismos que son los intermediarios necesarios para transformar la materia orgánica compleja, en sustratos simples fermentables por las bacterias metanógenas.

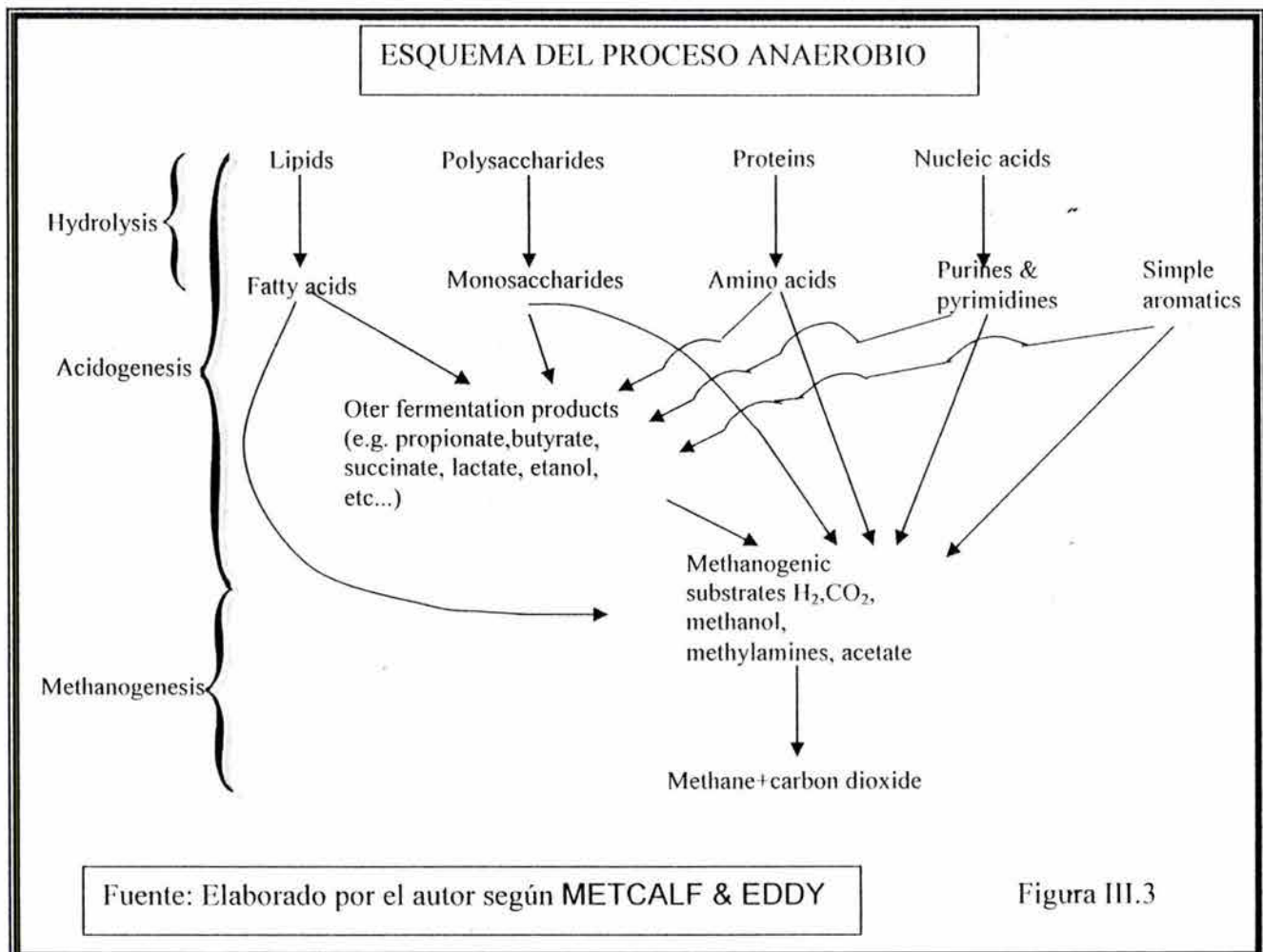
Durante este proceso las bacterias destinan el 90% de la energía contenida en la materia orgánica ( expresada como demanda química de oxígeno, DQO) hacia la

producción de un biogás con alto contenido de metano y solamente aprovechan para síntesis celular y funciones vitales el 10%.

En resumen la materia orgánica es transformada por la acción de microorganismos en:

- Biogás (mezcla de  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ).
- Materias orgánicas degradadas que continúan en disolución.
- Nuevos microorganismos.

En la práctica la degradación de la materia se realiza a través de una serie





compleja de reacciones bioquímicas, un esquema del proceso anaerobio ampliamente usado es el representado en la figura No. III.3.

Básicamente la degradación anaerobia de los digestores anaerobios se realiza en las tres etapas siguientes.

1.- ETAPA DE HIDRÓLISIS Y FERMENTACIÓN.

2.- ETAPA DE ACETOGÉNESIS.

3.- ETAPA DE METANOGÉNESIS.

II.3.1.- HIDRÓLISIS Y FERMENTACIÓN.

Es una etapa previa indispensable, dado que los microorganismos encargados de realizar el proceso de depuración sólo son capaces de actuar sobre materia orgánica disuelta. Esta etapa es limitante en efluentes con gran cantidad de sólidos, cuya hidrólisis previa es necesaria y donde puede considerarse que la velocidad de producción de biogás es proporcional a la velocidad de solubilización de la materia orgánica.

Las bacterias acidificantes transforman la materia orgánica disuelta, preferentemente en  $\text{CO}_2 + \text{H}_2$  y ácidos grasos volátiles, la cinética del proceso es

relativamente rápida y el pH óptimo bajo, las bacterias responsables de esta etapa pertenecen a diferentes grupos y pueden ser anaerobias facultativas o anaerobias estrictas.

Esta primera etapa es muy compleja, ya que cuando se trata de fermentar moléculas solubles fácilmente hidrolizables, como algunos compuestos naturales que se encuentran en efluentes de la industria agro-alimenticia, la hidrólisis y la fermentación ocurren rápidamente sin presentar ningún problema y habrá que controlar esta etapa para evitar una acidificación rápida del reactor, en caso de que el reactor no se controle puede ocurrir una desestabilización del proceso entero, dado que en caso de una sobrecarga, la hidrólisis de la materia orgánica provoca una sobreproducción de ácidos, que acidifica exageradamente al medio y baja el pH hasta alcanzar valores inhibitorios, además se provoca un exceso de hidrógeno que inhibe también la metanogénesis.

### II.3.2.- ACETOGÉNESIS.

Durante esta etapa se metabolizan los productos terminales de la etapa acidogénica, es decir alcoholes, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos, los cuales son convertidos en acetato, CO<sub>2</sub> e hidrógeno, por un grupo de bacterias denominadas "BACTERIAS ACETOGENICAS PRODUCTORAS OBLIGADAS DE HIDRÓGENO", o OHPA (obligate hydrogen producing acetogen). Estas bacterias presentan la particularidad de que en las reacciones que realizan son

inhibidas por el hidrógeno que producen. Por lo que mantienen una estrecha relación con bacterias que remueven el hidrógeno ó hidrogenófilas, las cuales son generalmente metanógenas.

Así el metabolismo acetogénico se caracteriza por una absoluta dependencia de la eliminación de hidrógeno, por las bacterias que lo utilizan, como pueden ser las bacterias metanógenas o las sulfatoreductoras (BSR) en presencia de sulfatos.

Las BSR son un grupo constituido por bacterias muy diversas con características metabólicas interesantes. La mayoría no utilizan los azúcares, pero sus sustratos van desde los ácidos grasos hasta los compuestos aromáticos homocíclicos o heterocíclicos. Muchas pueden utilizar el hidrógeno, estas bacterias son descritas tradicionalmente como anaerobias estrictas, pero recientemente se ha descubierto que algunas pueden utilizar al oxígeno como receptor final del electrón con producción de energía. Básicamente las bacterias BSR pueden ser divididas en dos grupos metabólicos principalmente:

1).- Las BSR del grupo "a" .- Estas bacterias son capaces de oxidar incompletamente su sustrato en acetato. La mayoría pueden utilizar el acetato y el etanol.

2).- Las BSR del grupo "b".- Son capaces de realizar en presencia de sulfatos la oxidación completa de sus sustratos, inclusive el acetato, en bióxido de carbono.



### II.3.3.- METANOGÉNESIS.

Esta etapa es la última del proceso de la degradación anaerobia de la materia orgánica y es llevada a cabo por el grupo de bacterias metanogénicas. Todas estas bacterias producen metano.

Este tipo de bacterias son anaerobias estrictas y es necesario tener potenciales de óxido-reducción inferiores a  $-330$  mv. Para que pueda realizarse la metanogénesis, deben existir las siguientes condiciones:

a).- Anaerobiosis estricta.

b).- Condiciones reductoras rigurosas.

c).- Ausencia de aceptores finales de electrones que favorezcan otras vías que compitan con la metanogénesis, esta última etapa es llevada a cabo por bacterias metanógenas, las cuales son las únicas que pueden transformar anaeróbicamente acetato e hidrógeno en metano.

Por lo tanto el funcionamiento correcto de un reactor anaerobio, depende del equilibrio complejo que se establece entre los diversos grupos microbianos, en relación con los parámetros de operación en los reactores. Como parámetro de control del proceso, el hidrógeno aparece como un factor importante, por que su acción se ubica al nivel de las tres etapas de la digestión anaerobia.

A pesar de que esta digestión es un proceso ampliamente atractivo para el tratamiento de aguas residuales, no se puede olvidar que como cualquier tratamiento

biológico hay que tomar en cuenta las exigencias y limitaciones de las bacterias responsables del proceso.

#### II.3.4.- REACTORES ANAEROBIOS, TIPOS Y DESCRIPCIÓN.

En la práctica se utilizan distintos tipos de digestores anaerobios que pueden agruparse con arreglo a diferentes criterios.

Los principales factores que inciden en un proceso anaerobio, se encuentran relacionados con los parámetros cuyo control permite una mayor actividad a la biomasa, entre ellos el pH, alcalinidad, temperatura y presencia de micronutrientes. El tratamiento anaerobio puede desarrollarse adecuadamente en intervalos de pH entre 6.2-7.8 con un valor óptimo en el rango de 7.0-7.2, los valores por debajo de la neutralidad pueden ser debidos a la acumulación de ácidos grasos volátiles, mientras que para valores por encima indican la formación en exceso de amoníaco.

Los sistemas anaerobios son sensibles al pH debido a la alcalinidad, el cual es el sistema amortiguador. Durante la etapa acidógena de la digestión anaerobia se producen grandes cantidades de ácidos grasos volátiles, los cuales podrán ser resistidos sin un excesivo descenso en el pH si el sistema cuenta con una buena capacidad amortiguadora.

La temperatura es otro factor importante, debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas son afectadas directamente, la temperatura óptima para las

bacterias metanógenas es de 37 °C con un rango entre 30-40°C, es posible llevarse a cabo el proceso a otras temperaturas pero no con la misma eficiencia.

Como todo proceso biológico el tratamiento anaerobio requiere nutrientes inorgánicos para un buen desarrollo bacteriano. Las bacterias metanógenas contienen algunos micronutrientes como Ni, Fe, Co, en concentraciones más altas que en otros organismos, lo cual indica un requerimiento particular de estos elementos, además de azufre, molibdeno, tungsteno, (wolframio) y selenio. Los cuales son esenciales para la actividad bacteriana, ya que forman parte estructural de las enzimas involucradas.

Se han propuesto varios modelos cinéticos, los cuales pueden ser agrupados en dos tipos: secuenciales e integrales.

Secuenciales.- Describen la cinética por cada una de las etapas de la degradación, han sido de utilidad para determinar las etapas limitantes para la degradación.

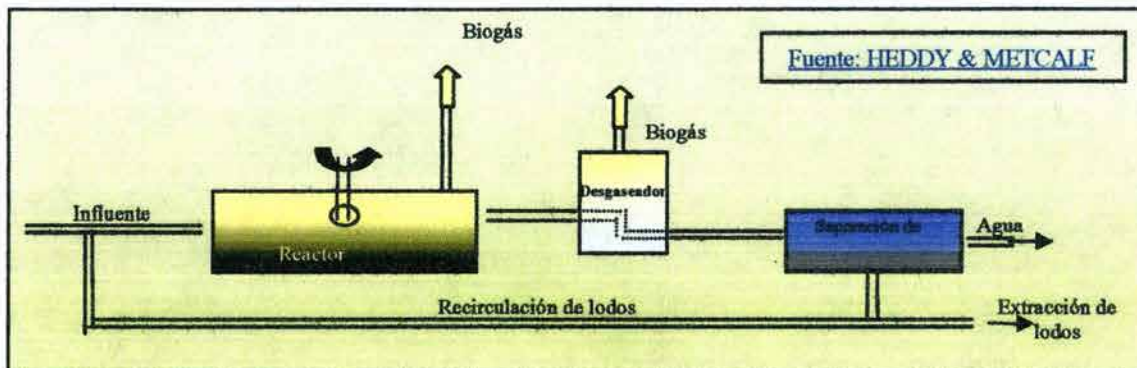
Modelos Integrales.- Describen el proceso anaerobio como una caja, considerando solamente los substratos iniciales y finales, este enfoque permite predecir la concentración de materia orgánica en el efluente en función de su concentración en el influente. Prácticamente todos los modelos reportados incluyen el término de respiración endógena que es la autodestrucción celular, este aspecto es importante en sistemas anaerobios debido a las bajas velocidades específicas de crecimientos observados. (INT. CONF. ANAEROBIC DIGESTIÓN, 1983:50) (C.N.A., 1977:149,89) (METCALF & EDDY, 1991:420-429) (DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, 1976:115-151)



## II.3.5.- TIPOS DE DIGESTORES ANAEROBIOS MÁS UTILIZADOS.

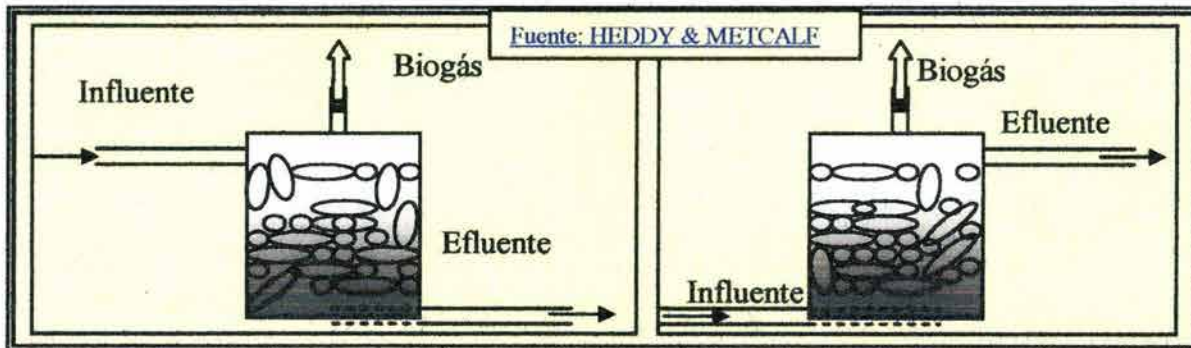
Dependiendo de la forma del reactor y la biomasa dentro del filtro anaerobio, los reactores se clasifican en:

1).- Reactores de biomasa suspendida con recirculación de células (contacto anaerobio). Este proceso es conceptualmente similar al tratamiento aerobio con lodos activados y permite operar con tiempos de residencia de los sólidos mucho más altos que los tiempos de residencia hidráulicos y en consecuencia tratar aguas residuales bastantes diluidas (hasta 2 kg DQO / m<sup>3</sup>).



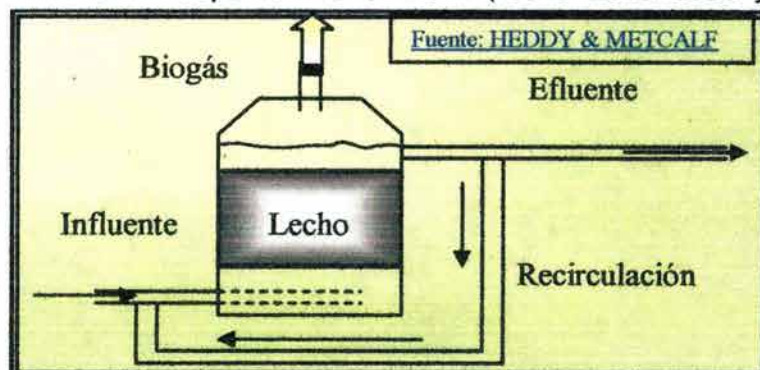
2).- Reactores de biomasa adherido a un soporte inerte fijo (filtros anaerobios). El filtro anaerobio es particularmente aconsejable para aguas residuales con carga orgánica soluble moderada, para influentes muy cargados, la disolución mediante recirculación del efluente tratado puede resultar conveniente. La presencia en la alimentación de concentración apreciable de sólidos suspendidos no degradables, puede provocar la colmatación del lecho poroso, y los consiguientes problemas hidráulicos.

La principal limitación del reactor está originada por la acumulación de sólidos, y la distribución inadecuada de líquido, que puede provocar canalizaciones, cortos circuitos y zonas inactivas.



3).- Reactores de biomasa adherida a un soporte inerte móvil (lecho fluidificado y expandido). Ambos tipos de reactores tienen el mismo fundamento, bacterias inmobilizadas sobre pequeñas partículas de soporte sólido, variando únicamente el grado de expansión del lecho.

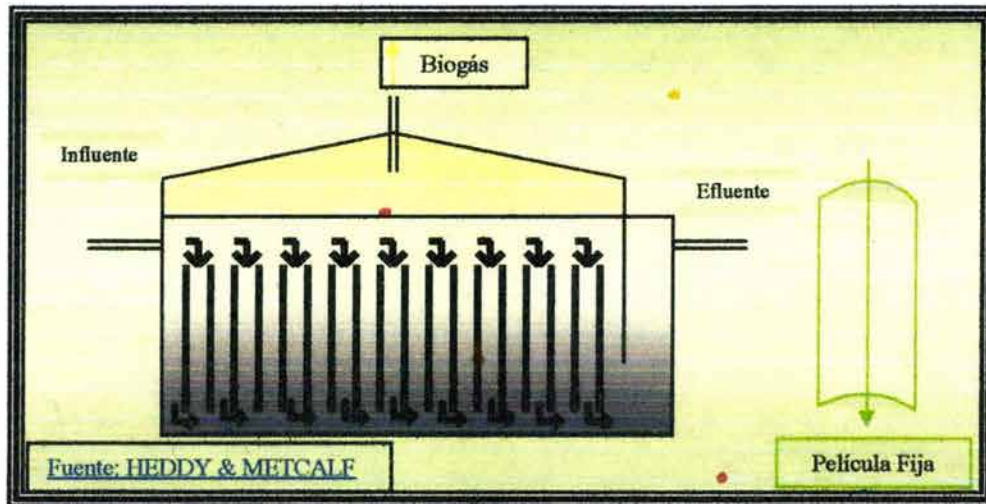
Si se parte de un lecho poroso, aumentando la velocidad superficial del fluido, se alcanza una situación inicial característica, por el alargamiento del lecho, aunque sigue existiendo contacto físico entre partículas, la porosidad a aumentado y el lecho se ha esponjado, llegando al lecho expandido. Si la velocidad superficial del fluido continúa



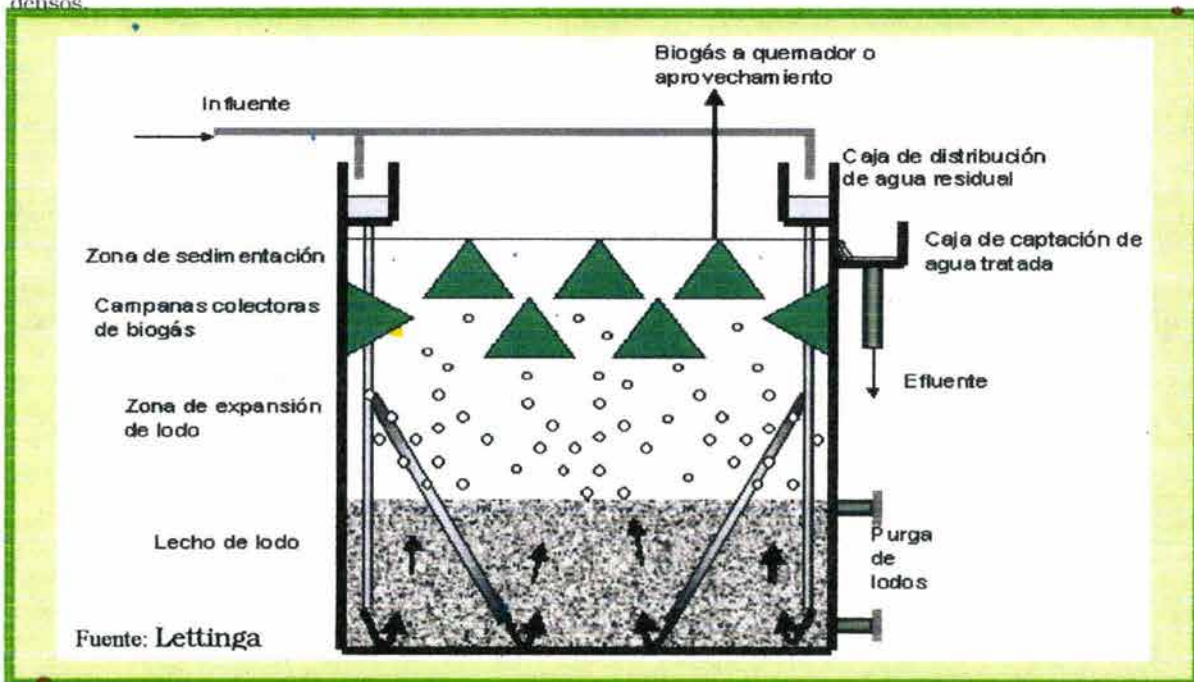
aumentando, el grado de expansión del lecho es tal que las partículas dejan de estar en contacto entre sí, desplazándose arriba y abajo en un movimiento típico del llamado lecho fluidizado.

**4).-REACTORES DE PELICULA FIJA.** Es un tipo de reactor moderno (1975), desarrollado fundamentalmente en Canadá y que sólo muy recientemente ha sido aplicado a escala industrial.

Este tipo de reactor se desarrolló partiendo del filtro anaerobio, buscando eliminar los problemas de colmatación del relleno, para conseguirlo, el relleno distribuido al azar, se transforma en un tubo vertical de sección circular sobre cuya pared interna se adhiere y desarrolla una película de microorganismos. El fluido que circula por el interior del tubo se depura en contacto con la película de microorganismos.



**5).-Reactor de lecho de biomasa (lodos) de flujo ascendente (UASB).** Este tipo de reactor fue desarrollado en Holanda por Lettinga y sus colaboradores (1975). La primera característica de este tipo de digester, se basa en conseguir unos fangos cuya buena sedimentabilidad impida que sean arrastrados fuera del reactor, la etapa de arranque es de gran importancia, pues la futura buena marcha del reactor depende fundamentalmente de que en el arranque se consigan buenos flocos bacterianos, suficientemente grandes y densos.





## II.4.-HUMEDALES ARTIFICIALES.

Los humedales artificiales o construidos (HC), son sistemas de tratamiento con gran potencial, especialmente por su sencillez de operación y su bondad con el ambiente y representan, desde el punto de vista económico y técnico, una opción viable para ser utilizados como tratamiento de aguas residuales en zonas rurales, suburbanas y urbanas que cuenten con áreas amplias. Para que operen adecuadamente y sin problemas requieren de una participación multidisciplinaria en la fase de diseño. En los humedales artificiales se llevan a cabo procesos físicos y bioquímicos para la transformación de compuestos orgánicos disueltos. Básicamente, la idea general es imitar las **propiedades filtradoras** de los pantanos o humedales naturales. Dicho proceso inicia con la descarga de aguas contaminadas a los cauces de los ríos, en donde parte importante de este flujo va a parar a lagunas y pantanos. De ahí en adelante los agentes contaminantes de las aguas residuales se depositan en el fondo y son nulificados por la flora del lugar, principalmente hidrófitas como el carrizo y otras especies pantanosas a través de procesos bioquímicos. De esta forma se logra que el agua contaminada que ha pasado por este filtro natural reduzca considerablemente sus niveles de polución. Las plantas crecen "hidropónicamente" en el medio de cultivo, mientras el residuo pase lentamente a través del sistema. Con este método un (HC) teóricamente podría producir "agua para bebida". Gran parte de esta tecnología ha sido desarrollada por la NASA, para el mantenimiento de los astronautas en las estaciones espaciales. En



muchos casos las plantas de los Pantanos Secos Artificiales sirven de alimento para animales, probando que cabras y chivos pueden alimentarse con el "pasto alemán" que crece en el sistema de tratamiento de aguas residuales del Camal (rastros) Municipal de Shushufindi. Ecuador, en la Amazonía. (NEWS ECUADOR R.L. LAVINGNE & J. JANKIEWICZ, 2002:7-8) (DURAN-DE-BAZÚA CARMEN, 2002:1-3)

#### **II.4.1.-Macrófitas.**

Las macrofitas usadas son carrizos (*Phragmites* sp.) y *Echinochloa polystachya* "German Grass" o pasto alemán y *Panicum maximum* "Saboya" corrientemente dominan los pantanos naturales, y su anatomía (p. e. Aerenchyma) hacen de ellas especies excelentes para el tratamiento de las aguas. El soporte es escoria volcánica de diversos tamaños de partícula. La eficiencia de remoción de materia orgánica, medida como demanda química y bioquímica de oxígeno soluble, es de 74 y 75%, respectivamente. Remueve más del 80% del nitrógeno amoniacal y el 20% del fósforo total presente. De los organismos indicadores de calidad microbiológica analizados (coliformes totales, fecales, *Shigella*, *Salmonella*) aunque hay una reducción en su número que excede del 99.5 al 99.997% entre julio de 1998 y febrero de 1999, de acuerdo con la normatividad mexicana, pueden todavía representar un peligro para la salud, especialmente si se tiene contacto directo con las aguas tratadas. (DURAN-DE-BAZÚA CARMEN, 2002:3-5)(NEWS ECUADOR R.L. LAVINGNE & J. JANKIEWICZ, 2002:1-3)

#### II.4.2.-Enfoque.

De manera particular, los humedales artificiales (HA) han sido enfocados a la depuración de aguas residuales de tipo doméstico, generadas por pequeñas y medianas comunidades rurales. No obstante, esto no quiere decir que quede excluida su aplicación tanto para tratar aguas industriales no tóxicas, como para las generadas en zonas suburbanas y urbanas, siempre y cuando se cuente con el espacio disponible para tal efecto. Asimismo, este tipo de tecnología puede ser empleada como un sistema complementario en aquellas plantas de tratamiento ya existentes en operación, a fin de mejorar la calidad del agua obtenida, pudiendo usarse para otros fines o descargarse con menor cantidad de contaminantes. No obstante las ventajas mencionadas, para su correcto diseño y operación se requiere de la participación de diversos tipos de profesionistas, entre los cuales se encuentran ingenieros civiles, ingenieros químicos, químicos y biólogos. Para el estudio y diseño de un humedal artificial es de suma importancia la participación del ingeniero civil, el cual tendrá que realizar las actividades necesarias para permitir que el agua dentro del sistema fluya por gravedad, a fin de evitar el uso de equipos de bombeo, permitiendo así el ahorro de energía. Corresponde al biólogo la selección, siembra de las plantas vasculares y la evaluación de la capacidad de retención de microorganismos patógenos presentes en el agua. La evaluación funcional depurativa global del sistema es realizada por el ingeniero químico, el cual puede, al conceptualizarlo como un reactor químico, definir los fenómenos fisicoquímicos que

ocurren, detectar las deficiencias y dar los requerimientos para su operación adecuada.(DURAN-DE-BAZÚA CARMEN, 2002:1-15)(LUNA PABELLO,2002:1-15)

#### **II.4.3.- Fundamentos.**

Los humedales artificiales (HA) se fundamentan en tres principios básicos siguientes: La actividad bioquímica de los microorganismos; el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte, tanto para los microorganismos como para los vegetales, además de servir como material filtrante. En conjunto, estos elementos eliminan materiales disueltos y suspendidos en el agua residual y biodegradan materia orgánica hasta mineralizarla y formar nuevos organismos. En términos generales, los HC pueden clasificarse en tres tipos, de acuerdo con la forma de vida de las plantas vasculares dominantes: Sistemas de libre flotación; sistemas de raíces emergentes y sistemas subemergentes. En particular, los sistemas de raíces emergentes y subemergentes, se clasifican en dos grupos, considerando la forma de alimentación, de flujo horizontal, los cuales tienen la característica de que el influente se introduce al sistema de forma lateral y de flujo vertical, en donde el influente es alimentado por la parte superior. En función de la concentración y características de los contaminantes presentes en el agua que se pretenda tratar, así como los requerimientos de descarga que se deseen obtener, se elegirá uno u otro diseño. De cualquier forma, es necesaria la implementación de un pretratamiento que facilite la remoción de los sólidos suspendidos de fácil sedimentación ya que esta práctica prolonga la vida útil



del humedal artificial (previniendo su rápido asolvamiento). Un esquema de ambos tipos de humedales puede observarse en las Figuras III.4.-a y III.4.-b. El funcionamiento del sistema se basa en que un lecho de raíces de carrizo (*Phragmites* spp.) o de tule (*Typha* spp.) o de otras macrofitas con características similares, aporta una vía o ruta hidráulica por donde fluye el agua a tratar. Esta zona, llamada rizosfera, es el espacio entre los rizomas, las raíces y el suelo circundante. El movimiento de la trama radicular en crecimiento (raíces y rizomas) abriéndose espacio en el suelo, previene la obstrucción del flujo de agua. Los carrizos y los tules aportan oxígeno a la rizosfera a través de las hojas, tallos y rizomas de los vegetales. Para la construcción de los humedales artificiales el suelo de la zona se remueve del sitio que ocupará el lecho con una profundidad de entre 0.6 y 1.5 m por debajo de donde se alimenta el agua. El suelo de esta excavación se impermeabiliza con arcilla, tierra-cemento, plástico sintético o asfalto, para retener el agua e impedir la infiltración al subsuelo y/o a los mantos acuíferos, al mismo tiempo que se construyen los muros de contención, que pueden hacerse con material procedente de la zona, con concreto o con ladrillo recubierto por cemento. Después de la impermeabilización, el espacio se llena con grava de un solo tamaño, o combinando suelo, arena y grava de diferentes tamaños, que varían con el tipo de sistema elegido y con la calidad de agua residual a tratar. En general, los lechos tienen una altura de entre 0.4 y 0.6, para los de flujo horizontal y de mayor profundidad para los de flujo vertical. Se debe evitar compactar el lecho, o apisonar la superficie con cualquier tipo

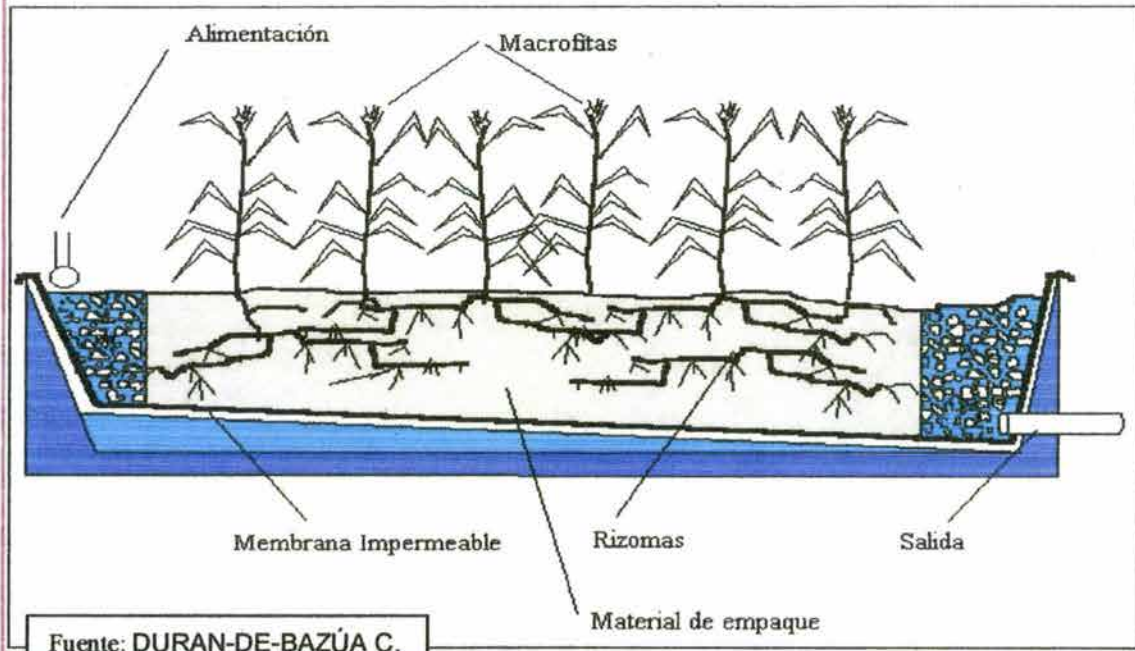
de maquinaria pesada, ya que esto alteraría la conductividad hidráulica del mismo.

(REED, 1992:20-40) (HU, 1991:10-15) (HABERL, 1997:5-8) (CONLEY, 1991:50-65)

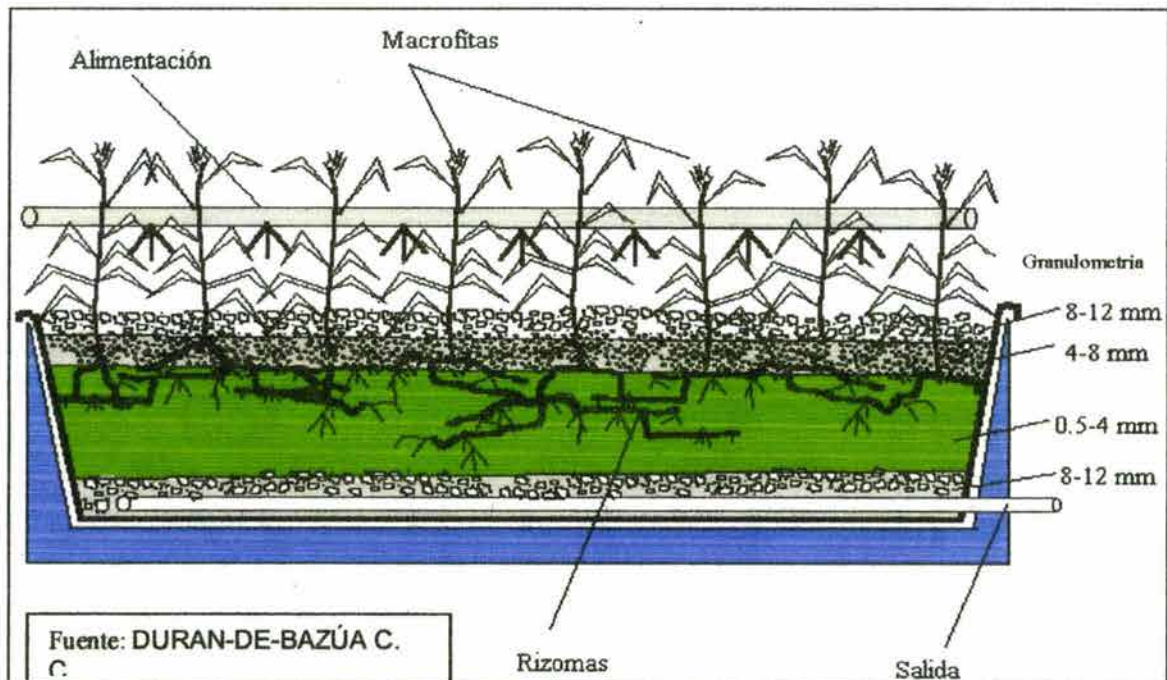
La captación del efluente se realiza mediante una tubería, construida de tal forma que regula el nivel de agua en el medio. Es recomendable que el sistema se encuentre permanentemente húmedo, para que los carrizos y los tules crezcan adecuadamente. Los rizomas de carrizos y de tules (o de las macrofitas seleccionadas) se plantan en un nuevo lecho y toman, por lo general, en el caso de Europa, cerca de tres años, mientras que en México, por ejemplo, lo hacen en un tiempo bastante menor, debido a la existencia de condiciones climáticas más favorables. Al inicio es posible regar el humedal con agua corriente, pero a medida que las raíces de los vegetales crecen y maduran, se procede a la irrigación con agua residual hasta que ésta constituye el único aporte. La importancia y trascendencia de los humedales artificiales, radica fundamentalmente en que son más baratos, tanto en obra civil y requerimientos de equipos como en su operación y mantenimiento y se adaptan mejor a las condiciones de México que los sistemas de tratamiento convencional actualmente utilizados. Una opción viable es que también pueden combinarse con otros sistemas de tratamiento ya existentes, a fin de mejorar su operación. Adicionalmente, este sistema ha resultado ser eficiente para eliminar organismos patógenos de las aguas residuales y ofrece un aspecto agradable a la vista, constituyendo por sí mismo una reserva para la vida silvestre. (DURAN-DE-BAZÚA CARMEN, 2002:10-15)



**Figura II.4-a. Esquema no a escala de un humedal artificial diseñado para ser operado con flujo de agua horizontal**

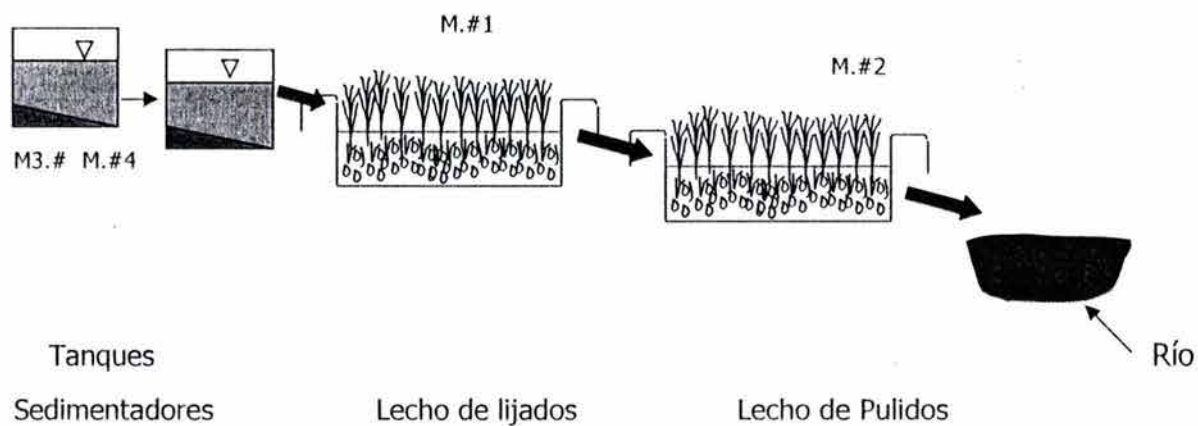


**Figura II.4-b. Esquema no a escala de un humedal artificial diseñado para ser operado con flujo de agua vertical**





**Figura 1-b. Sistema de Tratamiento de Pantanos Secos Artificiales, Sección Transversal con ubicación de los puntos de muestreo (M).**

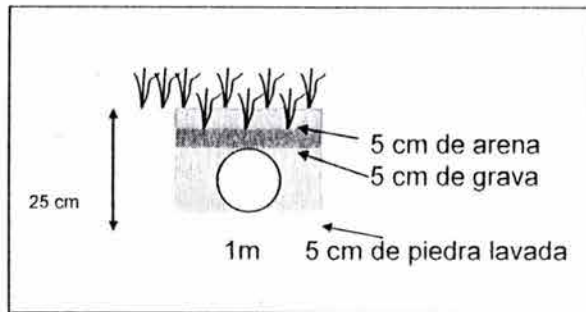


Descarga a:

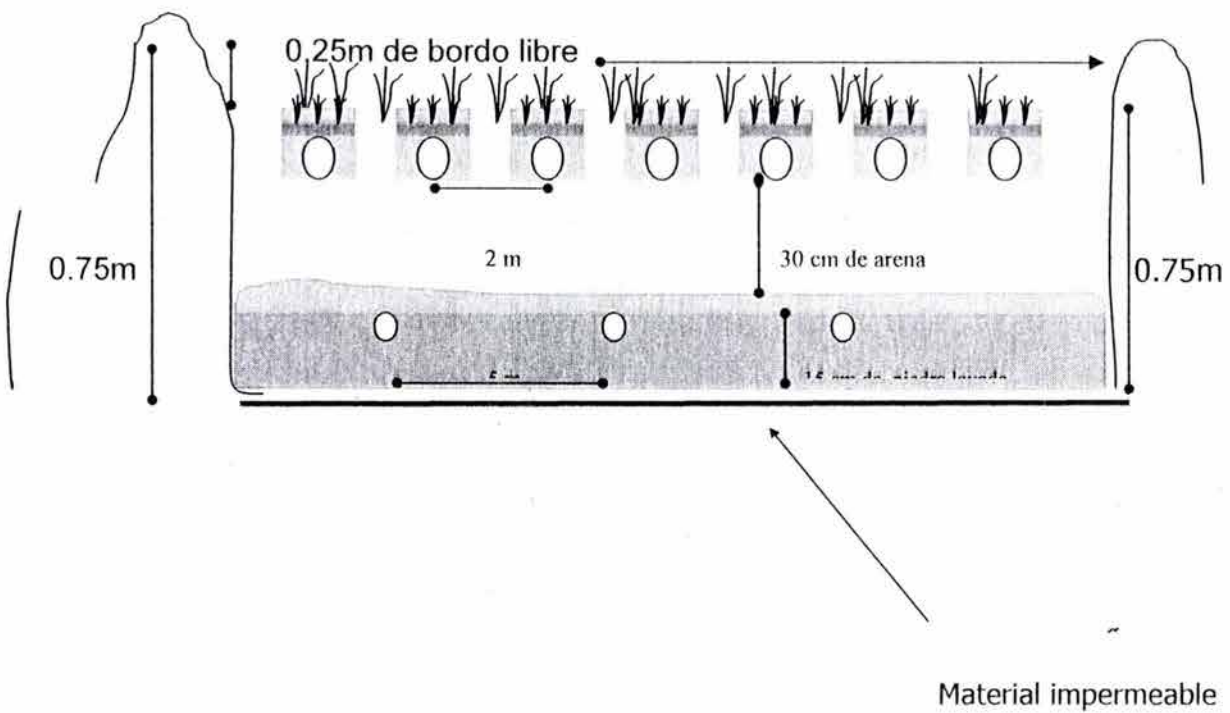
- - Laguna de infiltración
- - Ríos receptores
- - Aplicación en el terreno
- - Reuso

Fuente: NEWS ECUADOR R.L. LAVINGNE & J. JANKIEWICZ

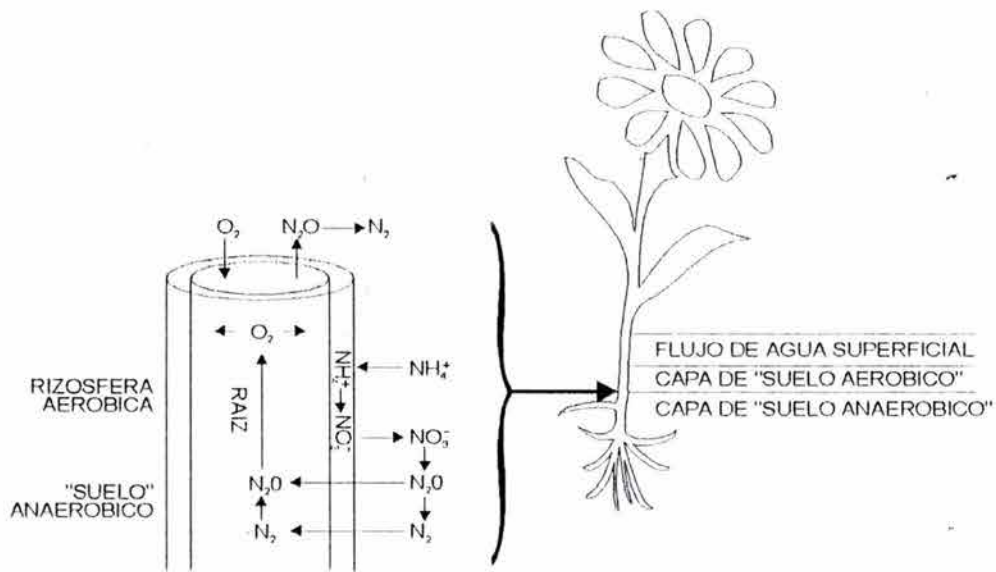
Figura 2-b. Detalles del lecho



Dique

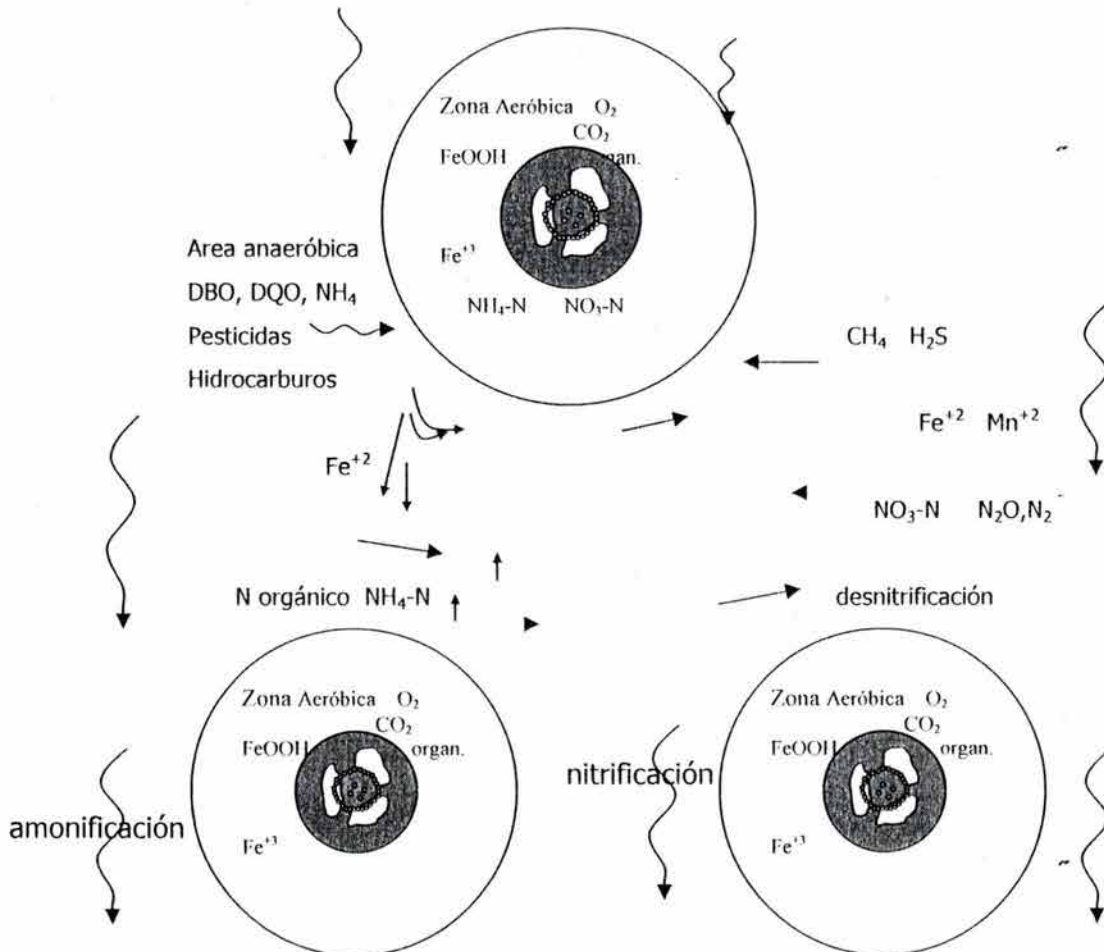


Fuente: NEWS ECUADOR R.L. LAVINGNE & J. JANKIEWICZ



© Fundación de Ecodesarrollo Xochicalli, A.C.

**Figura 4-b. Dinámica de la Interfase Raíz – Crecimiento de la "Media"**  
(Adaptado de Good y Patrick)





#### II.4.4.-Diseño.

Estos sistemas de tratamiento pueden ser diseñados para varios niveles de tratamiento, pudiendo ser el secundario o avanzado para remover, DBO, Sólidos Suspendidos, patógenos, metales y otras sustancias.

Para el dimensionamiento de la cama mediante la ecuación de Kikuth. Para agua cruda o agua residual sedimentada, el Área se calcula:

$$A = \frac{Qd}{Ct} \left( \frac{LrCo}{LrCo - LrCt} \right)$$

Donde:

A = área de la superficie de la cama. (m<sup>2</sup>)

Qd= flujo promedio diario del agua residual. (m<sup>3</sup>/d)

Co= DBO<sub>5</sub> promedio diario del alimento. (mg/d)

Ct= DBO<sub>5</sub> promedio diario del efluente. (mg/d)

Esta ecuación depende directamente de la aportación por habitante y de la DBO<sub>5</sub> del alimento (en el influente), ya que la DBO<sub>5</sub> en el efluente se asume según la normatividad.

Para un agua residual cruda basada en 569 DBO<sub>5</sub>/pers/dia. y 170 Lts/per/ dia. se genera un área de 2.2 m<sup>2</sup>/per.

Para reducir esta área podemos disminuir la  $DBO_5$  en la entrada mediante un tratamiento previo y también ser mas precisos en la aportación por Habitante. Pudiendo obtener de este modo áreas menores que podrían ajustarse en sitios mas variados. (METCALF & EDDY, 1991:920-930) (DONALD A. HAMMER & LEWIS PUBLISHERS, 1988:51-56)

#### II.4.5.- Eficiencia.

Remueve más del 80% del nitrógeno amoniacal y del 20% del fósforo total presentes. De los organismos indicadores de calidad microbiológica analizados (coliformes totales, fecales, *Shigella*, *Salmonella*) aunque hay una reducción en su número que excede del 99.5 al 99.997% entre julio de 1998 y febrero de 1999, de acuerdo con la normatividad mexicana, pueden todavía representar un peligro para la salud, especialmente si se tiene contacto directo con las aguas tratadas (Tabla II.4.5). (METCALF & EDDY, 1991:920-930)

El sistema de tratamiento de aguas residuales "domésticas" (en realidad mixtas, ya que contienen no solamente residuos de casas habitación sino también de talleres y pequeñas industrias, clínicas hospitalarias cuando existen, expendios, etc), a base de humedales artificiales representa una opción con alta viabilidad para ser implementada en las comunidades rurales, suburbanas y urbanas. En la construcción de las mismas se tiene como ventaja el uso de materiales típicos de la zona. Las plantas vasculares empleadas en el sistema depurador pueden ser colectadas de los alrededores en donde se construirá, pudiendo ser cosechadas

para realizar trabajos artesanales y demás fines. Este sistema de tratamiento tiene una vida media estimada en 25 a 30 años (debido a la acumulación de los sólidos sedimentables pudiéndose alargar tomando medidas) y una eficiencia global de 90% en la eliminación de los contaminantes presentes en las aguas residuales, la cual es mayor que la del resto de los sistemas biológicos convencionales, especialmente considerando los costos de construcción, infraestructura y operación asociados. (DONALD A. HAMMER & LEWIS PUBLISHERS, 1988:50-60)

**Tabla II.4.5. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas (NOM-003-ECOL-1997) y datos obtenidos en un humedal artificial de flujo horizontal con *Phragmites* a nivel prototipo o demostración (5.6 m<sup>3</sup>/d, 75 m<sup>2</sup>, TRH = 1.8 días) en el lapso de julio 1998 a febrero de 1999**

Promedio mensual					
Tipo de reuso	Coliformes fecales, NMP/100 mL	Huevos de helminto, h/L	Grasas y aceites, mg/L	DBO5 (soluble), mg/L	SST, mg/L
Servicio público con contacto directo (NOM)	240	≤ 1	15	20	20
Servicio público con contacto indirecto u ocasional (NOM)	1000	≤ 5	15	30	30
Efluente del humedal en temporada de lluvias	120,000	0	No determinado	29	No determinado
Efluente del humedal en época de estiaje ("secas")	5,100	0	No determinado	52	No determinado

Fuente: Luna Pabello, Duran-de-Basura, Donald A. Hammer



## Descripción del proceso de T. A. R. en HUMEDALES ARTIFICIALES.

1.- Calidad del agua al inicio del tratamiento



2.- Tanque Sedimentador



3.- Primera etapa del humedal (Lijado)



4.- Hidrófitas utilizadas en los humedales artificiales



5.- Bombeo de agua a la siguiente cama de hidrófitas



6.- Distribución del agua mediante sistema de riego

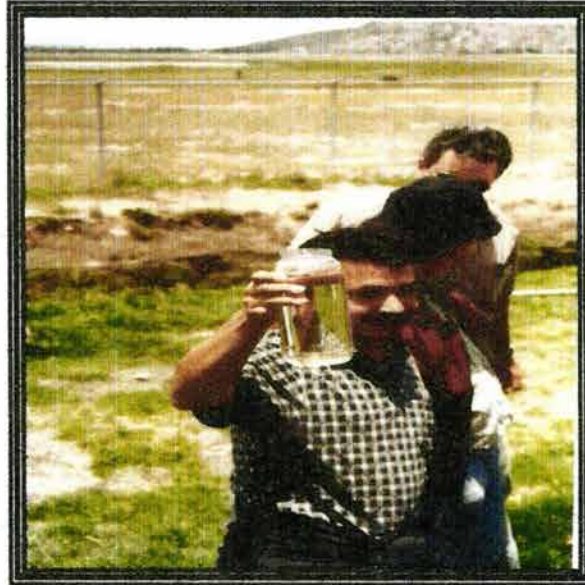




7.- Calidad del agua al final del tratamiento



8.- Aspecto del agua al final del tratamiento



9.- Alguno de sus usos finales (Granja de Peces)



Fuente: Duran-de-Basua C.

## II.5.-SISTEMA XOCHICALLI ®.

SISTEMA UNITARIO DE TRATAMIENTO Y REUSO, DE AGUA, NUTRIENTES Y ENERGÍA.

(SUTRANE®, *tecnología y nombre registrados por Jesús Arias Chávez*).

### II.5.1.-JUSTIFICACIÓN DEL SISTEMA COMBINADO.

En incontables ocasiones se escuchan o leen artículos polémicos que pretenden apologizar uno de ambos tratamientos sobre otro, es ignorancia y/o conveniencia para poder vender sus fórmulas mágicas, equipos o sistemas, la base de cualquier manera es el desconocimiento de la naturaleza, de la ecología, aunque muchos de los que intervienen en dicha polémica son incluso biólogos.

Razonemos: cuando vamos poco a poco (demasiado lento por desgracia) conociendo la enorme (eco) lógica y a la vez "sencillez de la complejidad" (hoy reconocida biodiversidad) de la trama de la vida y todas las características de los elementos, sustancias, ambientes, etc., que nos rodean, empezamos a entender que cada especie, cada nicho, cada sustancia, etc., tiene múltiples razones de ser, de haber sido "diseñado". El problema se transforma en nuestro reconocimiento y entendimiento de todo ello.

En el caso de los mecanismos de reintegración de recursos que decaen para dar lugar a nueva vida, **todos los participantes son importantes**, si no lo entendemos así estamos causando desequilibrios ignorados. Cada parte del proceso de desagregación de formas complejas para llevarlas a sus componentes esenciales tiene una función complementaria, no es absoluta aunque así lo pretendamos.



Pensemos en un suelo de un ecosistema complejo: al caer una hoja por si sola o al ser comida por algún ser vivo, ocasiona que otros de ellos abajo continúen su desagregación (desintegración), sea por masticación, por intervención de hongos, mohos, levaduras, bacterias aerobias e incluso, con ayuda de todas y cada una de tales intervenciones; por algas, otras plantas y animales, y ..... vuelta y vuelta.

A ello estamos acostumbrados por vivir en el aire. Sin embargo en el suelo, muchas "partes" de tal proceso, desde fracciones de dicha hoja, animalitos que se la estaban comiendo, plantas que medraron de ella, hongos, mohos, levaduras, bacterias, etc., así como sus propios "excrementos", exudaciones, etc., continúan a su vez el proceso de desagregación de todas esas formas complejas, infiltrándose hacia capas inferiores, sean del propio suelo (subsuelo) y/o del agua en el mismo, rápidamente dando lugar a otros "desagregadores" mas abajo en la pirámide de la vida, interviniendo ahora ya los llamados facultativos (anteriormente explicados), facultados a tomar oxígeno para su metabolismo sea del aire (si existe en el medio) o sea del propio sustrato que están desintegrando (catabolizando). Estos micro organismos, a su vez, ayudan a continuar la desagregación de fases semicomplejas, intermedias, logrando sustancias que ya pueden ser aprovechadas por las bacterias llamadas anaerobias, que solo pueden vivir en ausencia de aire y que toman el oxígeno para efectuar sus procesos metabólicos, de las sustancias que desagregan. Esta sucesión en cadenas simbióticas es la base de la descomposición de la materia y a la vez constituye un delicado sistema ecológico.

Obviamente tales bacterias anaerobias están mas abajo de la dicha pirámide de la vida, formando una serie de colonias de diversas especies y familias, bajando cada vez mas hacia la base de tal pirámide: las bacteria "más anaerobias", las llamadas metanogénicas (que generan metano), consideradas por algunos investigadores una tercera forma de vida, por otros arcobacterias (arcaicas) y, todos coincidimos, siendo el origen de la vida en el planeta, recordando que nuestra atmósfera no contenía oxígeno y si una serie de sustancias que les sirvieron para empezar esta genial maravilla que hoy tenemos por casa: nuestra nave espacial única, la tierra.

En resumen, se necesita y forma una verdadera sucesión ecológica para llegar a los nutrientes esenciales que alimenten a la nueva vida, a partir de la muerte, lo que necesitamos es proporcionar a **todos y cada uno de los participantes las mejores condiciones para facilitar su acción y hacerlo sin provocar desequilibrios**, nuevamente recordemos, la parte de aerobiosis en un suelo virgen o en el agua de una laguna, un pantano, etc., es solo en la superficie, al principio del proceso; mas abajo se dan las fases facultativas y al final las anaerobias, particularmente las últimas, las metanogénicas. Tal efecto sucesivo no solo desagrega sustancias, también a los demás seres vivos que estaban "arriba" en la cadena y pirámide citadas. De particular interés es remarcar el hecho de que ninguna de las bacterias metanogénicas es patógena, **todos los organismos que nos pueden enfermar se deshacen como productos de la catálisis intermedia**. De ahí la importancia adicional del **proceso completo**; éste solo se da mediante diseños adecuados de **digestores anaerobios**, donde se apoye y fomente cada fase, desde la aerobia

inicial a la metanogénica final. Todo sirve pero en cada nicho y etapa, no perturbemos o bloqueemos el proceso completo. **Seamos complementarios ..... viva la diversidad.**( ARIAS CHÁVEZ JESÚS, OCTUBRE1992:1-3)

## II.5.2- DESCRIPCION ESPECÍFICA DEL SISTEMA.

### II.5.3.- *Pretratamiento en Plantas.*

En general este consiste en un canal de doble vía con desarenador, cribas, 2 a 4 compuertas de controles para las anteriores, vertedor de flujo controlado máximo y/o de demasias, canales de separación y, de solicitarlo, de medida, automática o visual-manual, de flujo a cada lado.

En algún caso de aguas residuales industriales puede incluirse un sistema de mezcla rápida y dosificadores operados manualmente o por computadora para control de pH (agregando neutralizadores ácido o alcalino según proceso de descarga industrial), adición de productos requeridos periódica o muy distanciadamente, como nutrientes necesarios para el sistema biológico, enzimas, etc.

### II.5.4.-Homogeneizador (caso de ciertas aguas industriales).

De añadirse neutralizadores y otros productos en el pretratamiento -caso industrial-, ello implica un inicio de ataque biofísico-químico, antes de la fase



anaerobia, motivo por el cual se diseña un tanque para homogeneización inducida por el flujo rápido en ellos, con sistema de control automático para verificar el estado de la mezcla al final. Dado que son aguas con altas concentraciones, es muy importante que se homogenice tanto la calidad como el gasto. Para ello se calcula un tiempo de residencia, interconectando asimismo zonas de muestreo y control. Ahí se llevará de hecho hidrólisis bioquímica y nueva neutralización.

#### ***II.5.4.-Fase anaerobia.***

Se proyectó en base a la experiencia de ingeniería sanitaria avanzada y a la de manejo de plantas previas, procurando dar los mejores nichos (geometría-arquitectura-diseño y agregados) y alimentación a los microorganismos específicos que cultivamos para los reactores. Intención aparte de obtener tiempos de retención de sólidos -TRS- en la fermentación, **lo más diferenciados** del tiempo de detención hidráulica -TDH.

Se hace uso de fases de contacto, de lechos fluidizados, de cama con soportes de colonias de adecuada porosidad, número de nichos y capacidad de intercambio iónico, etc.

Se trata de lograr un efecto de "membrana-filtro" pero fermentando hasta sus componentes esenciales a la fracción de sedimentos -lo que usualmente generaría lodos que se extraen- reintegrándolos a microorganismos, así desintegrando los lodos casi por completo estimándose se extraigan cada 15 a veinte años,

perfectamente estabilizados e inocuos. De esta manera no tenemos el problema de lodos separados de la fase líquida, típico de los procesos de densificación y de separación por membranas, alta presión, etc.

#### **II.5.6.-Descripción del sistema microbiológico anaerobio.**

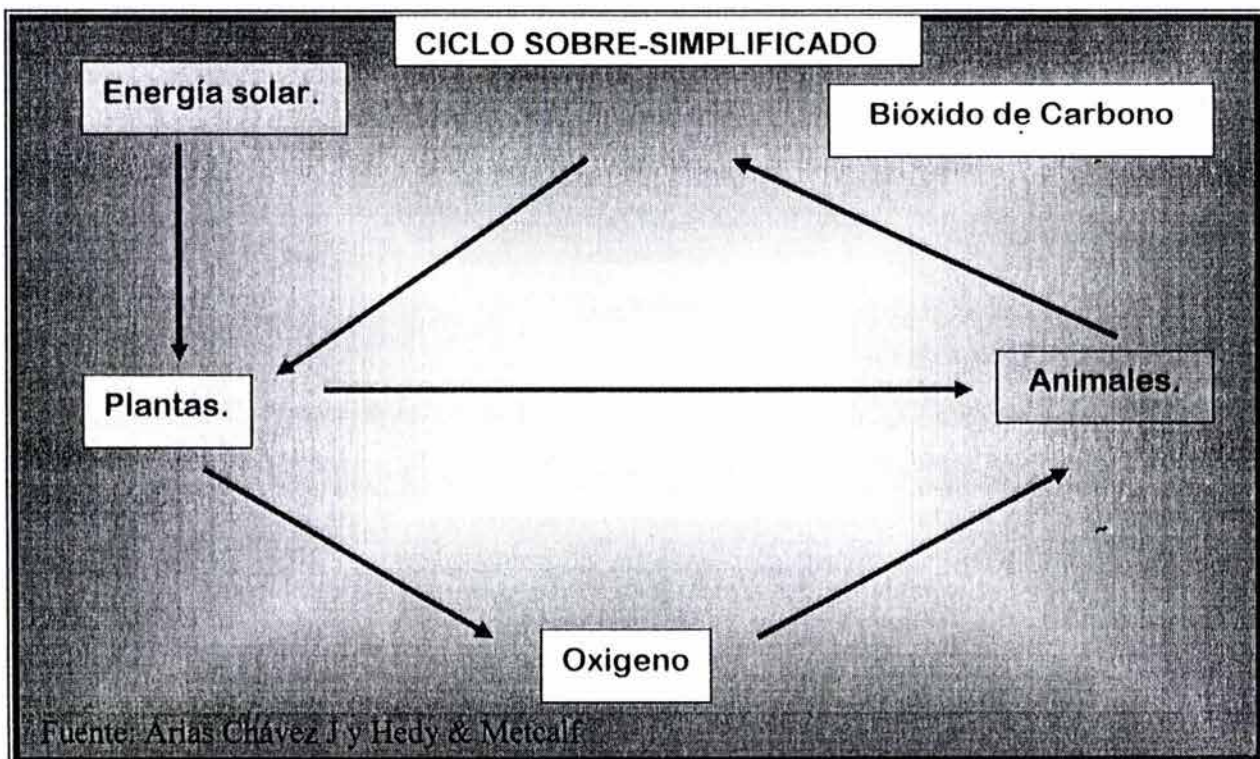
Se inicia con participantes aerobios y facultativos encargados de la solubilización de polímeros -complejos- hasta dar monómeros -simples-, ingresando al sistema de reactores (dos en paralelo). Continúa con la fase de acidificación en que es fundamental el equilibrio del sistema de generación de ácido acético y de  $\text{CO}_2$ , dependiendo tanto de la concentración de microorganismos, de su tipo, del sustrato nutriente inicial, del tiempo de retención de sólidos y del de detención hidráulica. Al final se aprovecha este sustrato para transformarse en un biogas rico en  $\text{CH}_4$ . Sin embargo podemos privilegiar el que asociaciones de microorganismos degraden el producto de la anterior fase obteniendo más gas. Para evitar la presencia de bacterias sulfuríferas, productoras de  $\text{H}_2\text{S}$ , en aguas industriales con presencia excesiva de sulfatos, se diseña un sistema de reacción para precipitar una fracción adecuada de acuerdo con lo que se desee obtener, del sustrato, la alimentación adicional, etc., monitoreados permanentemente. Siempre se acompañará del sistema de postratamiento aerobio de los tanques de oxigenación solar que se describen mas adelante. **(ARIAS CHÁVEZ JESÚS, 1992:1-10)**

## II.5.7.-PROCESOS QUE OCURREN EN LOS TANQUES DE OXIGENACION SOLAR.

Luego de la fase anaeróbica el efluente debe acondicionarse mediante filtración y oxigenación. La 1a. es para reducir los parámetros que aún pueden estar arriba de la NOM deseada, la 2a. para poder usar el agua tratada, bajo control automatizable, en un sistema acuícola demostrativo antes de disponerse por riego de áreas verdes, lavado de pisos y vehículos, etc.

### II.5.7.1.-1a.FASE, ACUATICOS.

En los procesos biológicos la respiración está directamente ligada al metabolismo a través de la vida. Se integran  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , plantas, animales y energía del sol, en presencia de agua. El ciclo sobre-simplificado y parcial es como sigue:

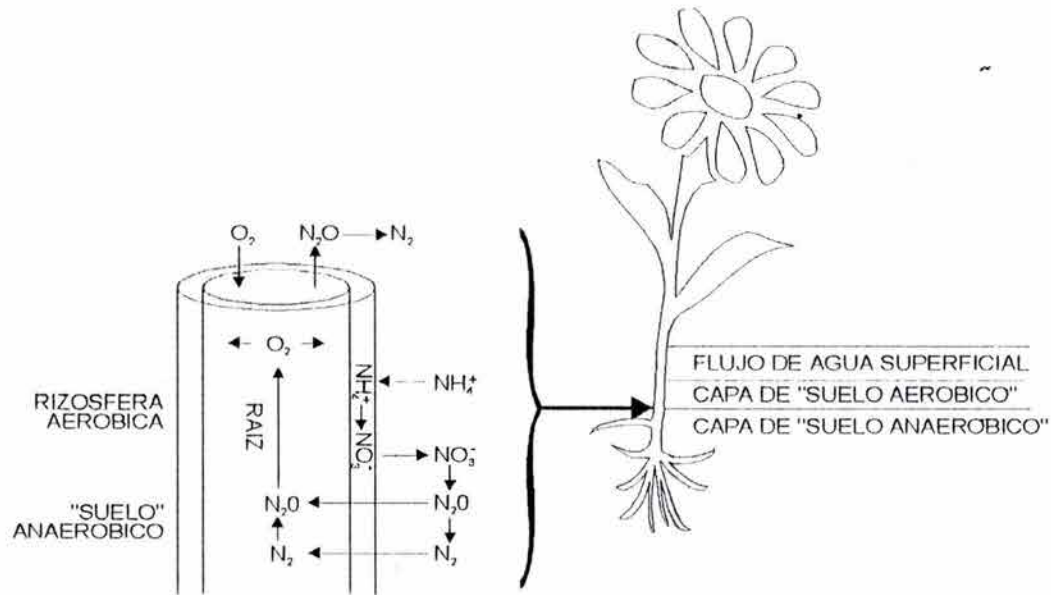




Dentro del filtro se dan otros intercambios y redistribuciones de elementos (y sus compuestos) como el H, C, N, P, S, Ca, Mg, etc. A través de éstos existen multitud de otros intercambios, acumulaciones, etc., con muchos otros participantes. Veamos:

Existen dos zonas involucradas en el filtro, una superficial y otra sub-superficial. Dependiendo del tipo de planta y su acción (su "diseño ecológico" para manejar situaciones especiales en las que otras plantas mueren), del ecosistema diseñado y sus condiciones de operación, y de las características del agua que alimenta al filtro, es que se va a hacer correr el agua sobre y bajo la superficie o solo bajo ella, obviamente que en el filtro se desarrollan (o se orienta y promueve este mediante inoculaciones y siembras) ecosistemas complejos, desde microorganismos hasta diversas plantas superiores, buscando precisamente simbiosis de acuerdo a lo que se busca.

Por ejemplo, sea una planta del tipo que se desarrolla en pantanos. Se generan tres zonas, la superior aerobia, la aeróbico-facultativa y la anaeróbica. Ahí se dan los intercambios entre N y O indicados; para aguas efluentes de digestores con cero  $O_2$ , usamos inicialmente algunas plantas capaces de inyectar  $O_2$  a su micro-entorno radicular, haciéndolo aerobio.



© Fundación de Ecodesarrollo Xochicalli, A.C.

A su vez durante el ciclo del fósforo se tienen las varias relaciones y procesos con intervención del calcio, magnesio, fierro, aluminio, los nitratos, sulfatos, el oxígeno atmosférico, las plantas citadas, el plankton, el agua y el sol:

En los filtros existen una gran cantidad de reacciones y procesos mucho muy complejos.

Contamos con una amplia colección de plantas, gracias tanto a nuestra diversidad como a climas más benignos, así como a mayor facilidad de implementación de microclimas mediante invernaderos climatizadores como el citado.

#### II.5.7.2.- 2a. FASE, BIOFÍSICO SEMIACUATICO.

Se diseña para pulir el agua de la 1a. Fase, formándose con material pétreo, de gravas y/o zeolitas de diferentes granulometrías, sustrato que se inocula con microorganismos de suelo -de hecho se diseña y opera como tal- y se siembra con plantas emergentes semiacuáticas o que soporten un medio con alto nivel freático (construido). Tal material pétreo debe estar limpio y ser recién producido, teniendo suficiente porosidad para formar nichos a las colonias de microorganismos que se fijarán de modo biofísico. Dicha porosidad será tal que provoque una permeabilidad adecuada, confinándose con piedras de zeolitas en los extremos donde se pondrán las otras plantas citadas en el párrafo anterior del tipo de pantano, junto con plantas vasculares flotantes.

Las plantas que se siembren serán una colección de las que tenemos probadas, mismas que se controlarán ya que, aún siendo de las que se encuentren regionalmente se trata de impedir absolutamente su salida. La densidad depende de las características de su sistema radicular.

Se puede añadir un piscicultivo para control de protozoos, larvas y otros insectos en las plantas, así como más plantas acuáticas y de pantano para bajar de nueva cuenta los parámetros de ciertos contaminantes que se elevarán otra vez por la presencia de aquéllos.



De usarse, para el caso de plantas, el sistema de invernadero especial, termalizador, prácticamente cerrado de forma controlada, permitiendo la recirculación de calor hacia el reactor, de humedad hacia el ambiente, se logrará la máxima oxigenación estimulada por un flujo laminar externo de agua tratada a fin de obtener efectos múltiples. Otro uso del invernadero es para recircular CO<sub>2</sub> de la 1a. Etapa de fermentación estimulando la fotosíntesis y así la optimización del filtro vivo.

Al salir del reactor, al ingresar al acuacultivo y al final del proceso se puede utilizar un sistema de desinfección con microdosis de cloro u ozono, controlado automáticamente o por análisis.

En plantas industriales o de más de 8 lps se sugiere el diseño de un laboratorio. También debe existir un almacén para productos, herramientas y materiales de manejo. (**ARIAS CHAVEZ JESÚS Y XOCHICALLI** ®©,1999:1-5)

## **II.5.8-SUTRANE®.**

### **II.5.8.1.-Fundamentos ecológicos, bacteriológicos y físico- químicos.**

El sistema se compones de varias partes, que por conveniencia se agrupan en "tratamiento primario" y "tratamiento secundario". Dadas las características propias de cada una de ellas, primero se separan las aguas jabonosas (grises), de las aguas negras (W.C.), tratándose por separado: del excusado pasan de inmediato al digester anaerobio, un tanque alargado donde se desarrolla el proceso biológico citado, que tiene por objeto deshacer, fermentando, toda la materia orgánica

compleja que entra a él, es un "sistema de muerte" que además permite verdaderamente matar todas las formas complejas de organismos dañinos. Dado que lo que más contiene la materia orgánica es agua, el principal efluente del digestor es agua... pero no "pura", sino con muchos de los nutrientes que tiramos por el drenaje, ahora ya en forma no contaminante, por lo tanto, resulta de gran utilidad como alimento para plantas, peces y animales mayores.

A su vez, las aguas jabonosas pasan a varios subsistemas: las del lavadero, y ocasionalmente las del fregadero, van al preoxigenador, pequeña caja con piedra y grava que, al caerle el agua por el caño, se "rompe" en muchas gotitas que pasan rodando al citado material pétreo, así absorbiendo gran cantidad de oxígeno del aire, absolutamente necesario para contrarrestar el altamente peligroso y nocivo efecto de los detergentes, utilizados con abuso (el halo que se observa en la ropa al darle el sol, es producido por una sustancia química que nada tiene que ver con que esté limpia; la gran cantidad de espuma que se forma es porque le agregan otras sustancias), consiste en evitar que se formen gotitas y así se oxigene el agua. Por ello casi todos nuestros ríos están muertos en grandes tramos de su recorrido.

Luego de lo anterior, las aguas jabonosas pasan a un remanso provocado por un aumento del área de sección del tubo, hecha mediante una caja-registro. Ahí se provoca una gran reducción de la velocidad de flujo, lo que permite que las partículas más livianas de grasas y aceites tienden a flotar sobre el agua, formando una nata. Esta tiene cerca del 70% de ácidos grasos y puede así reutilizarse para fabricar jabón, alimentos para animales, etc. Dicha caja se llama "trampa de grasas". Junto a

ella y en el camino de las aguas jabonosas, se encuentra otra caja-registro similar a la anterior, sólo que ésta se encuentra destapada, o bajo una tapa transparente, permitiendo el paso del sol, en ella se siembran plantas acuáticas del tipo de lirio acuático y muchas otras, las que se encargan de disminuir sensiblemente las concentraciones de varios productos químicos peligrosos al medio ambiente y así a nuestra vida: fosfatos, fluidizantes, abrillantadores, germicidas, enzimas, etc., de los detergentes, cloro y otros biocidas (bactericidas, germicidas, etc.) presentes en "limpiadores" de verduras y jabones muy anunciados en la televisión.

A partir de este momento, ambos efluentes de los sistemas primarios, el de las aguas negras y el de las aguas jabonosas, se juntan pasando al emisor, ahora un canal múltiple lleno de plantas acuáticas que colaboran en la toma de exceso de nutrientes y posibles contaminantes que aún subsistieran. Señalemos que al hacerlo, crecen aprovechando lo que estaba en exceso o nocivamente en el agua. Del emisor, pasan por huecos bajo el nivel del agua a subirrigar el "campo secundario", gran cuerpo filtrante hecho con material pétreo, piedra, grava, gravilla y arena sobre una lámina impermeabilizante, acomodado adecuadamente para optimizar la oxidación, la proliferación de microorganismos del suelo, la mayor distancia del recorrido del agua, motivo por el cual se siembra con plantas superiores que a su vez continúan la toma de nutrientes que contaminaban el agua. Es decir, al cosechar periódicamente, estamos no sólo recuperando los nutrientes que tiramos (que son del orden del 80% de lo que comemos), sino la energía bioquímica, el agua y nuestro medio ambiente, salud, etc. Finalmente, si así se diseña, el agua excedente luego de los tratamientos, se recupera en el tanque recolector, donde se puedan hacer



acuacultivos. Para terminar, mencionemos que este sistema se construye con facilidad y bajo costo, es incluso autoconstruible luego de capacitarse, existe en muchos sitios desde 1972 (el primero fue en Xochicalli) y actualmente se está multiplicando en muchas partes incluso urbanas, donde se puede instalar en patios, ventanas, azoteas, jardines, etc., es decir se adapta y se adopta.

### **II.5.8.2.-Construcción del Sutrane y sus elementos.**

#### **II.5.8.2.1.- El digestor**

El digestor, como su nombre lo sugiere, es un depósito construido a modo de estómago e intestino para continuar la "digestión" (fermentación y desintegración) de la excreta, orín y otros elementos orgánicos que le metemos. Su diseño y construcción crea en su interior un ambiente óptimo para multitud de bacterias anaerobias a la vez que impide la supervivencia de organismos aerobios y otros que nos pueden enfermar. Sedimenta la materia, separando partículas según su tamaño y peso, formando así diferentes capas o estratos. Digiere la materia mediante la descomposición anaerobia, transformándola en agua con nutrientes (N, P, K, B, Ca, Fe, Mg, Zn, Cu, etc.) y biogas (metano) en pequeñas cantidades.

**II.5.8.2.2.- Preoxigenador:** Caja rellena de piedra o grava, que desintegra todas las partículas de los detergentes, oxigenando mediante la caída del agua que golpea sobre las piedras, así como también sirve para atrapar basuras en una rejilla.

**II.5.8.2.3.-Trampa de grasas:** Debe tener tapa aislante para que impida el paso de luz y calor, y así las grasas se enfríen y solidifiquen.

**II.5.8.2.4.-Filtro bioquímico:** Filtrará el agua por medio bioquímico (lirio acuático) y físico (oxigenación y acción solar). Entonces su tapa debe dejar pasar los rayos solares.

**II.5.8.2.5.-Filtro biofísico:** El filtro biofísico requiere tener siempre sembradas plantas (verduras, hortalizas o flores), con carga intensiva. Porque estos cultivos proporcionan y aceleran los procesos biofísicos de este proceso de filtrado, aunando fenómenos de capilaridad, evaporación, condensación y la tensión superficial. En todo el proceso juega un papel muy importante el sol.

**II.5.8.2.6.-Tanque recolector:** Las aguas que fueron servidas, cuando hay un Sutrane bien manejado, salen enriquecidas y sin contaminantes, como se ha comentado en otro lugar, esta agua se recolecta y se usa para ferti-irrigación, para lavar pisos, consumo animal, etc... **(ARIAS CHÁVEZ JESÚS, 2000:1-15)**

### **OBSERVACIONES.**

Como vemos, todo el contexto de este sistema permite la captación de la energía y nutrientes que contienen los desechos, así como parte del agua de consumo doméstico y el medio ambiente, evitando así los drenajes al exterior, altamente costosos y contaminantes.

El Sutrane es un sistema abierto que se integra a otros sistemas como la captación de agua de lluvia, el gallinero - conejera o el establo - porqueriza, aprovechando y reciclando productivamente, integrando elementos de la casa ecológica y propiciando una mejor alimentación de la familia y del contexto agropecuario.

Puede quedar dentro de un invernadero de climatización para casas de zonas frías, lo que además permitirá la recolección de agua destilada.

#### **II.5.8.2.7.-Descripción de la forma de acomodar el material pétreo en el campo secundario - filtro biofísico - químico del Sutrane.**

La parte inferior de todos los campos secundarios de Sutrane se deben impermeabilizar para que el filtrado biológico sea eficaz a todo lo largo y ancho de él, a diferencia de pozos o campos de infiltración al subsuelo, donde solo trabaja biológicamente una pequeña parte de él, alrededor de 30 cm. Tal impermeabilización puede hacerse desde con polietileno, de no haber ratas ni tuzas, hasta con mallacemento /metal desplegado o aún ferrocemento AR (electromalla 66/88).

En dicha parte inferior se da una ligera pendiente de entre 1.5 y 2.5% y se coloca una cama de arena de unos 5 cm. de espesor, sobre de la cual se introducen con cuidado las piedras (de preferencia bola, sobre todo si se usa plástico y pudiera romperse con las aristas) girando y encajando hacia abajo para que no queden huecos bajo de ellas. La capa de piedra es de unos 15 cm., sobre la cual se coloca, entres secciones a lo largo del campo o zanjas: gravilla o granzón en el primer tercio,



gravilla con arena común en el segundo tercio y sólo arena en el tercer tercio. Toda esta capa tiene unos 15 cm. de profundidad. A continuación se coloca otra capa pareja de 15 cm. de grava arneada (para arneros de 1 a 5 cm. en ambos extremos), misma donde descarga en su medio superior el agua proveniente del emisor, mediante 5 a 8 huecos perfectamente nivelados, de alrededor de 3 cm. de diámetro. Hacia arriba de la anterior capa se coloca otra de gravilla, pareja de 10 a 15 cm, de acuerdo a la profundidad total del filtro que diseñemos. En la parte superior se coloca otra capa de arena común (sin arnear, de preferencia de río), también de 10 a 15 cm, que es donde se siembra.

Al ir haciendo las capas, debe ir rociando un poco de inóculo aeróbico, tomado de un buen suelo vegetal o de cultivos en laboratorio (NOCON tel. 015 9537972), para finalmente sembrar en la parte superior con plantas útiles que se cosechan para descontaminar, impidiendo que el filtro se bloquee en muchos años. De acuerdo con los dibujos, el anterior filtro está confinado entre el emisor las paredes laterales y el retén de piedra acomodada hacia donde fluye el agua tratada, juntándose al final en el recolector, infiltrándose y/o bombeándose para varios reusos. Existen variantes a la anterior descripción para ajustarse a pequeñas áreas urbanas, por ejemplo en macetones, jardineras, invernaderos de ventana, etc., curvando en varios niveles (por ejemplo en una escalera), etc., Podrían usarse botellas plásticas y/o de vidrio, recuperadas de la basura perfectamente llenas de tierra compactada y tapadas firmemente, usándose en lugar de piedras, aunque es raro no tener piedra para hacerlo como se describió.

#### **II.5.8.8.-Inoculación y operación del Sutrane Xochicalli.**

Los inóculos deben mantenerse vivos o en refrigeración. Se agregan 250 gr. del anaerobio al digestor de una familia, 500 gr. si es de dos familias, y así sucesivamente. Hay que esperar a que se llene hasta el tubo de ingreso y agregarle agua con estiércol de res, borrego o chivo, colándolo para que no entre paja, más o menos dos cubetas. A los 15 días de esto, agregar las bacterias anaerobias directo al fondo del tubo, abriendo la bolsa hasta que esté la boca dentro del agua para que no les dé el aire. Si debe agregarlo a través del excusado, ya tiene que estar con su tapa fija y el tubo de respiración con su aceite de comer en la gaza-césped que se hace.

El inóculo aeróbico se aplica también en 250 gr. por familia, al campo secundario. Para ello hay que disolverlo en agua fría y rociarlo cuando ya esté empezando a salir agua del emisor hacia el campo secundario.

Haga almácigos de hortalizas, flores, forrajes e incluso plantas de raíces no mayores a 70 cm (medicinales, de olor, frutas) y trasplante cuando empieza a salir el agua del emisor al filtro. La inoculación se hace al irse el sol, mojando bien la superficie del campo para que penetre el agua con inóculos, la que se pone al final, sembrando por líneas. Para trabajar sobre del filtro, cosechar, sembrar, deshierbar, etc, hay que poner una tabla para pisar y/o hincarse sobre ella y no se apriete el filtro por pisarlo. Debe ponerse una cerca de piedras o botellas para que no le entre tierra,

lluvia o basura que cuiden que exista una zanja que impida que entre agua al sistema cuando llueva, debe desviarse. Conviene cercarla si tiene aves de corral.

Insistimos en que use jabón de pan y no le eche cloro, lejía, creolina u otros productos químicos a su drenaje. No tire pañales ni toallas sanitarias; si se usa papel de baño o periódico (no papel de estraza), pueden juntarlo en el día y en la noche meterlo al tubo del digestor con algo de agua para que no se tape, o irlo usando con moderación a través de excusado con agua (el que tenga) sin hacer bolas grandes, de preferencia de 6 litros; si no tiene excusado de agua lave al fin del día con agua reciclada y talle con cepillo de excusado y polvo abrasivo solo.

El digestor se destapa una vez entre cada 5 a 10 años para extraerle alrededor de 100 lt de lodos del fondo (lo más denso).

**¡Cuidado con el gas, es inflamable!** Para ello se abre la tapa, se deja que salga el gas un rato y le meten una cubeta con un palo largo para alcanzar el fondo, sacando con cuidado de no revolver, muy despacio. El lodo se aplica a la cepa de cualquier árbol, Será entre 5 a 8 cubetas de 18 lts. como máximo.

Se debe tapar la trampa de grasas con madera, bien hecha y puesta, a la medida. Se desgrasa más o menos una vez al mes, pudiendo echar la nata que se saca a pollos y puercos o en su caso meterla al digestor. El filtro con plantas acuáticas (aún cuando sean algas, poniéndose verde el agua) y el emisor del campo secundario o filtro biofísico, deben estar perfectamente cubiertos con un pequeño



invernadero de plástico polietileno o cristal, cuidando que no se rompa y cambiándolo periódica-mente. También puede cubrirse con malla plástica transparente de mosquitero, teniendo el mismo cuidado de que no esté rota y cubra perfectamente, cambiándola si se rompiera.

Así se protegen contra mosquitos, que de otra forma proliferarían ¡Hay que insistir mucho en que se tenga cuidado con esto!

En el colector pueden ponerse peces (de agua dulce y que coman larvas) y/o ranas o sapos, logrando también que se controlen los moscos y sus larvas. De lo contrario habría que poner también el invernadero o el mosquitero, sólo que como es más grande cuesta más. Conviene que se tengan (¡y cuiden!) ranas alrededor del campo secundario, incluso pueden cultivarlas si ponen un cercado y le prenden un foco en la noche cerca del recolector, protegido de la lluvia, así ellas comen palomillas y mosquitos de noche, controlándolos (los que nos pican y los que se comen las hortalizas, frutas, etc.) y alimentándose gratis. No se debe dejar que entren gallinas y guajolotes u otras aves de corral al campo secundario, pues acabarían con las raíces y las plantas chicas. Por ello, el cercado tiene doble utilidad: evitan que entren gallinas y evita que se salgan las ranas. Estas ranas las tiene la SAGARPA; preferentemente pueden utilizarse las ranas toro (catesbiana). Es muy conveniente solicitar un manual de cómo cuidarlas, sobre todo al reproducirse (depositan la hueva en el agua) y un recetario para que las aprecien también por lo delicioso y nutritivo. Guardar unas copias de cada uno.

El sistema es muy noble, una vez que se aprenden estas instrucciones y cuidados. Lo que debe hacerse siempre es sembrar lo más densamente posible con plantas jóvenes en el campo secundario. Así jamás tendrán que deshacerlo para limpiarlo porque se tape. No se debe tirar aguas de nejayote (del nixtamal) ni otros productos gruesos al caño de las aguas jabonosas. Si es materia orgánica se puede introducir al digestor, a condición de que no sea demasiada. Pueden pasar al baño más gente durante las fiestas, a condición de que no sean cientos ni diariamente, ya que habría que diseñar un sistema para tal uso. No se debe dejar que le entre basura, hierbas, árboles y sus ramas y hojas al campo secundario. Mientras mejor se maneje, se podrá asegurar un funcionamiento perfecto durante un periodo de 10 a 20 años. (ARIAS CHÁVEZ JESÚS, 1998:1-15)

### **II.5.8.3.-Memoria de cálculo de un Sutrane:**

El Sutrane, como se menciona antes, tiene por objeto el uso balanceado y la recuperación de nutrientes y del agua de consumo doméstico, de desechos orgánicos de los lavaderos, lavabos y W.C., aprovechando la energía natural.

#### **II.5.8.3.1.-Dimencionamiento Sutrane.**

Componentes:

Tratamiento primario: Biodigestor, pre-oxigenador, trampa de grasas/Filtro Bioquímico

Tratamiento secundario. Emisor, filtro biofísico, recolector

1. Primero se calcula el gasto total por día de todos los aparatos (W.C., mingitorios, lavabo, regaderas, lavaderos, otros.), Qt.

Recordemos que el gasto varía según el número de personas que usan los aparatos.

En caso de tener animales, también se debe incluir su gasto.

Datos Básicos en el campo:

**Gasto típico por día de cada persona y frecuencia.**

Aparato	Gasto (lts.)	Frecuencia (veces/día)
W.C.	6.0	2
Mingitorio	0.5	4
Lavabo	0.5	6
Fregadero	3.0	2
Lavadero	3.0	1
Lavado de pisos, patios, etc.	7.0	1
Regadera	5.0	promedio/semana

Fuente: Arias Chávez Jesús

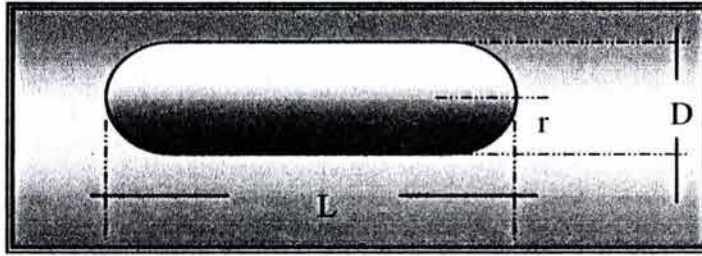
**Aguas negras.**

**II.5.8.3.1.1.- Digestor**

El gasto del digestor (Qd) es la suma de los gastos de los W.C. y mingitorio, únicamente. El Biodigestor original tiene una forma cilíndrica; para gastos mayores, se recomienda construir varios biodigestores, por ejemplo cuando se trate de varias familias con animales.



El volumen de un cilindro es:  $V = [\pi(r)^2 \times L] + [3/4(\pi) \times (r)^3]$



Fuente: Elaborado por el autor en base a: Arias Chávez Jesús

Para dimensionar el Biodigestor, se procede de la siguiente manera:

$$V_d = Q_d \times T$$

Dando un tiempo de biodegradación de las heces fecales largo, por seguridad, de entre 30 a 40 días, obtenemos tomando el promedio

$$V_d = Q_d \times 35 \text{ días.}$$

Por diseño de sedimentación, se da una relación:  $L = 10 \times r$ .

A partir de estas fórmulas, se despeja L, considerando un diámetro que permita el trabajo en el interior, usualmente de un mínimo de 1.40 m.

## Aguas jabonosas.

**II.5.8.3.1.2.-Preoxigenador:** Este recibirá las aguas del lavadero, únicamente, por lo que se hará una pequeña caja con medidas mínimas de 0.30 m de ancho x 0.30 m de largo x 0.30 m de alto y 10 cm de base de concreto pobre con un codo de PVC de 4" ahogado.

Arriba de él se pone un colador de malla de arpillera y se rellena con piedras de unos 10 cm. de diámetro, poniendo una coladera de piso en el fondo, sobre de la boca del tubo de PVC citado.

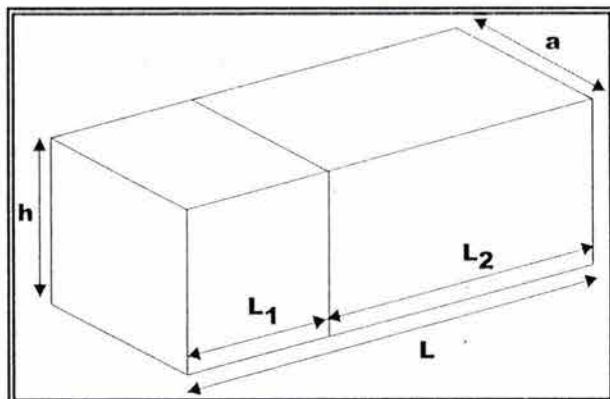
### **II.5.8.3.1.3.-Trampa de grasas y filtro bioquímico:**

El tiempo de residencia es de entre 2 ½ y 3 días entre la trampa de grasas y el filtro bioquímico. Las medidas son:

0.45 m de ancho x 0.60 m de hondo y 1.50 de largo total

$$V = h \times a \times L = 0.405 \text{ m}^3$$

con  $L = L_1 + L_2$ , siendo  $L_1 = 0.60 \text{ m}$  y  $L_2 = 0.90 \text{ m}$



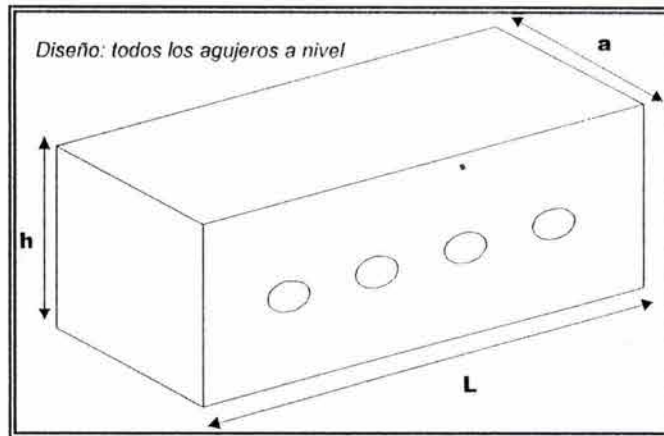
Fuente: Arias Chávez Jesús

Pero el volumen útil es de 337.5 lt pues  $h \text{ agua} = 0.50 \text{ m}$

## Aguas mezcladas, efluentes de los dos sistemas primarios.

### II.5.8.3.1.4.- Canal emisor

Este ya colecta tanto las aguas negras como las jabonosas tratadas en los sistemas primarios.



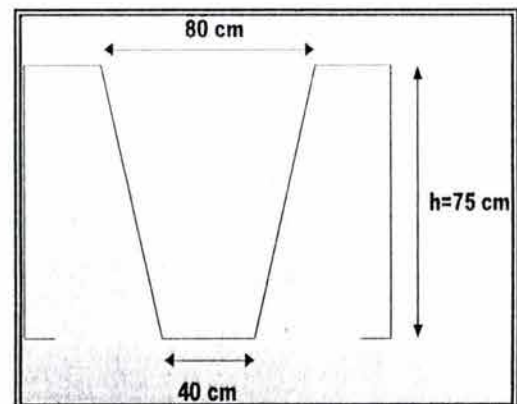
Fuente: Arias Chávez Jesús

Usualmente el ancho del canal es de 0.45 m ó 0.60 m, en tanto que su profundidad total es de 0.60 m a 0.75 m, aunque la altura de agua es solo de 0.30 m en cualquier caso. Su largo depende del ancho del campo secundario o filtro biofísico, que a su vez depende de la calidad del agua que se desea recolectar: menor área de filtración implica menor calidad del agua; mayor área implica mejor calidad, incluso pudiendo obtener agua dentro de la NOM 001 ECOL 1996 agua para riego agrícola rodado, o dentro de la NOM 003 ECOL 1997, agua para contacto humano.

Enseguida se recomiendan las áreas del filtro biofísico.

### II.5.8.3.1.5.- Campo secundario o filtro biofísico.

Se considera un promedio mínimo de 3 m<sup>2</sup> por usuario en climas templados y 2 m<sup>2</sup> en climas cálidos, para el filtro (no considerando



Fuente: Arias Chávez Jesús



los andadores en el caso de zanjas) con una profundidad y diseño como se indica adelante. Si el clima es definitivamente frío, se recomiendan 4 m<sup>2</sup> por usuario. El campo puede ser de un solo cuerpo o de varias zanjas filtrantes, tan solo cambiando la anchura en cada caso. Tomando el ejemplo del de zanjas.

#### **II.5.8.3.1.6.-Tanque Recolector.**

El tanque tiene que ser más profundo que el campo secundario para que no se vaya a 'represar' el agua dentro del filtro, provocando fermentaciones. Una medida conveniente es tener unos 0.15 m a 0.30 m mas profundo.

Existe libertad en el diseño y ambientación del tanque, pudiendo ser un paralelepípedo, una amiba, etc., a condición de que esté más abajo del fondo y cubra todo el ancho del campo secundario o filtro biofísico.

Para detallar todo se debe tomar un curso de capacitación que reafirme estos conocimientos y los relacione con experiencias reales. Solo así podrán diseñarse apegados a muy diversas condiciones, terrenos, etc. JACH/Xochicalli. **(ARIAS CHÁVEZ JESÚS, 2000:1-20)**



**Tabla del desempeño del SUTRANE® en la Universidad Iberoamericana de  
Puebla**

Parámetro	Entrada (mg/L)	Efluente (mg/L)
DBO <sub>5</sub>	260	20
Aceites y grasas	430	1
Nitrógeno Orgánico	84	0.5
SST	223	48

***Estos son promedios representativos del desempeño de 10 años de los  
sistemas Xochicalli®.***

Fuente: Xochicalli®
---------------------

Una cantidad limitada de datos sobre metales pesados y bacteriológicos están disponibles. Los resultados indican que la calidad es comparable al efluente de un proceso de lodos activados o tratamiento convencional secundario.

Los datos limitados hacen dificultoso llevar una estadística y comparación válida con otras tecnologías. Sin embargo, la calidad del efluente parece ser mucho mejor que el que se obtiene generalmente mediante otras tecnologías similares en cuanto a lo bajo de su costo. También es posible, sobre pedido, agregar pre o post-tratamiento en estos sistemas para conseguir resultados necesarios de acuerdo a normas específicas.



#### II.5.8.5.-EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA TECNOLOGÍA SUTRANE®

La tecnología de Xochicalli, A.C. es, definitivamente, la de más bajo costo en capital y gastos de mantenimiento en relación a otras tecnologías que generan una calidad similar de efluente.

Tanto los sistemas SUTRANE® como la MICROPLANTA DUAL ® se han diseñado para que los propietarios, los condominios, o las comunidades, puedan construir las plantas con sus propios recursos y trabajo. El costo de inversión en la construcción es el costo de materiales del edificio y han hecho esfuerzos para reducir este costo mediante el diseño óptimo de proceso. La estimación de costos de operación de 0.06 - 0.12 N \$/ m<sup>3</sup> ha sido proveída por el M.C. J. Arias Chávez para comunidades de 10,000 habitantes. Los datos de la Comisión Nacional del Agua indican que los costos comparables para tecnologías convencionales que proveen efluentes de similar calidad oscilan desde 0.30 a 0.60 N \$/ m<sup>3</sup> (mediados de 1995), en este caso para plantas cientos de veces mas grandes, impactando así la economía de escala. **En los Sistemas de Xochicalli, A.C., sus costos operacionales son una pequeña fracción del costo de los sistemas mecánicos convencionales. (ARIAS CHÁVEZ JESÚS, 2000:1-20)**

En el siguiente capítulo se aplicaran las tecnologías estudiadas anteriormente tomando en consideración los aspectos locales que se presentan en el sitio, así como la descripción específica de cada aspecto relevante para el diseño conceptual del tratamiento de las aguas residuales vertidas en el canal la camelina del Barrio de Santo Santiago en Uruapan.

# **CAPÍTULO III**

## **ANÁLISIS DE CAMPO**

Foto: Vertedor de la Camelina  
Tomada por el autor



## CAPITULO III.

### ANÁLISIS DE CAMPO.

#### III.1.- Ubicación.

El lugar en que se sitúa el proyecto es en El Barrio de Santiago, Uruapan, Mich. México. A  $102^{\circ}04'00''$  Longitud W del meridiano de Greenwich,  $19^{\circ}26'00''$  Latitud N. Entre las cotas 1660 y 1640 sobre el nivel medio del mar (ver plano de la pagina 122).

En cuanto al clima en el sitio, se encuentra entre las isotermas de  $18^{\circ}$  y  $20^{\circ}$  (temperatura media anual), y dentro de la isoyeta de 1500mm (precipitación media anual) (ver pagina 123). Para poder tener mas datos podemos referirnos a las Normales Climatologicas 1951- 1980 (ver pagina 124).

El tipo de suelo según la carta edafológica de CETENAL es Andosol Ocrico +Regosol Euritico+Litosol GRUESO (Ver pagina 125).

#### III.2.-Topografía.

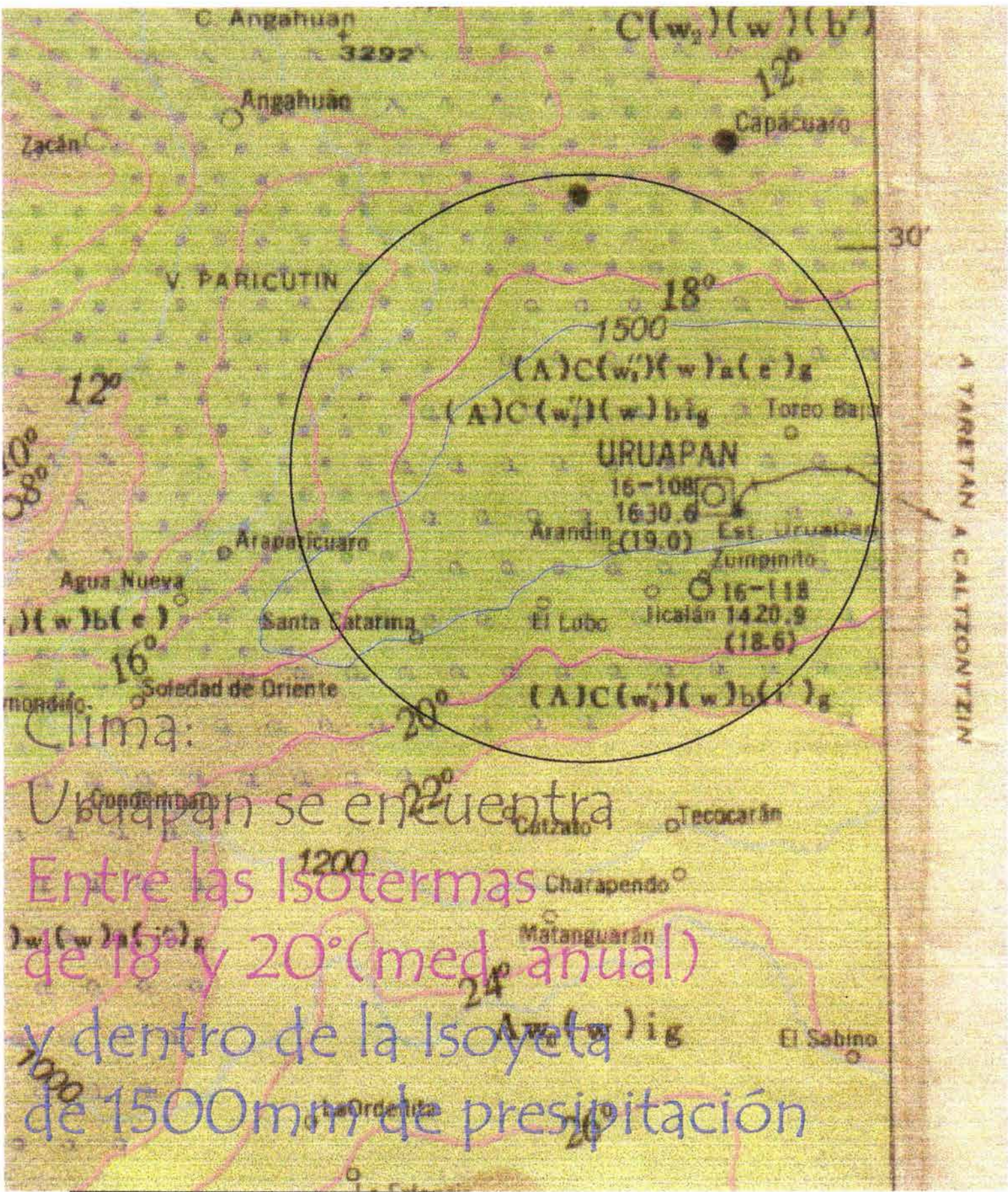
De la topografía (levantamiento cedido por CAPASU) y visita de campo se obtuvo el área propicia para el proyecto y se detectaron las descargas y de estas las que son susceptibles de ser separadas (W.C. y lavadero) y las que están combinadas ya que las primeras se trataran con el sistema de Xochicalli (Sutrane) y las segundas con el método de Humedales Construidos (Ver pagina 126 y 127).





Fuente: CETENAI.





Fuente: CETENAI.



# NORMALES CLIMATOLÓGICAS 1951-1980

LATITUD 19-25 LONGITU 102-04 URUAPAN, URUAPAN, MICH. ALTITUD 1634 MSNM

EST. CLIMATOLÓGICA ORG.  
SGAD-SMN

PARAMETROS	Años	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
--- TEMPERATURAS ---														
MAXIMA EXTREMA	8	28.5	28.5	31.0	31.0	31.5	31.0	29.0	28.0	26.5	28.5	34.5	34.0	34.5
-FECHA (DIA/AÑO)		17/564	16/53	23/54	VS/VS	VSA/S	VSA/S	01/60	VSA/S	VS/53	01/53	30/58	09/58	30/11/58
PROMEDIO DE MAXIMA	8	24.0	25.3	27.3	28.7	28.8	26.1	24.5	24.9	24.5	24.7	24.7	23.6	25.6
MEDIA	8	15.2	16.1	17.5	19.2	20.1	20.0	19.2	19.2	18.7	18.2	17.1	15.6	18.0
PROMEDIO DE MINIMA	8	6.5	7.0	7.8	9.8	11.5	14.0	14.0	13.5	13.0	11.7	9.6	7.7	10.5
MINIMA EXTREMA	8	1.0	2.0	2.5	3.5	7.0	9.5	9.0	9.0	7.5	4.0	3.0	-0.5	-0.5
-FECHA (DIA/AÑO)		VSA/S	23/55	03/57	04/57	VS/60	30/59	VSA/S	23/53	23/53	22/52	VS/53	06/60	06/12/60
OSCILACION	8	17.5	18.3	19.5	18.9	17.3	12.1	10.5	11.4	11.5	13.0	15.1	15.9	15.1
--- HUMEDAD ---														
EVAPORACION	13	64.4	84.3	108.2	1194	123.5	102.1	94.3	97.5	81.0	80.4	63.7	58.5	1077.3
--- PRECIPITACION ---														
MEDIA	26	40.8	11.6	32	11.7	41.0	284.0	379.0	359.4	391.1	182.0	44.9	14.5	1768.2
MAXIMA	26	3790	67.5	31.0	181.5	207.6	521.0	615.0	581.5	633.0	393.4	188.5	51.0	633.0
FECHA (AÑO)		67	65	69	73	56	59	78	70	55	55	76	63	09/55
MAXIMA I L MES EN 24 HRS.	26	140.0	31.0	31.0	150.0	54.5	123.0	1550	88.0	114.0	172.5	83.0	47.5	172.5
FECHA (DIA/AÑO)		11/17	15/65	17/69	05/73	31/56	14/74	23/78	VSA/S	08/58	08/78	18/76	15/63	08/10/76
MINIMA	26	0.7	0.1	1.0	1.0	0.5	82.8	234.0	225.0	152.2	0.5	0.5	2.0	0.1
FECHA (Año)		54	60	74	VS	80	60	68	60	53	79	VS	VS	02/60
FRECUENCIA DE ELEMENTOS Y FENOMENOS ESPECIALES														
NUM. DIAS CON LLUVIAS APREC	26	2.24	1.53	0.80	1.34	4.48	16.66	23.96	22.77	22.73	13.96	4.44	2.12	117.03
NUM. DIAS CON LLUVIAS INAP.	26	2.15	1.76	1.34	1.15	1.84	2.48	3.14	2.81	2.42	3.96	3.07	2.25	28.37
NUM. DIAS DESPEJADOS.	26	10.76	13.03	16.73	14.76	12.92	2.85	1.00	1.11	1.50	5.96	8.44	10.75	99.81
NUM. DIAS MEDIO NUBLADOS.	26	6.61	5.46	7.61	7.30	6.64	4.81	3.22	4.11	3.30	5.22	7.70	8.16	70.14
NUM. DIAS NUBLADO/CERRADO.	26	13.61	9.76	6.65	8.07	11.44	22.33	26.77	25.77	25.19	19.81	13.81	12.08	195.29
NUM. DIAS CON ROCIO.	26	24.38	21.00	23.69	20.96	19.80	20.22	22.00	20.22	19.11	22.37	20.18	22.00	255.93
NUM. DIA CON GRANIZO.	26	0.03	0.23	0.03	0.03	0.16	0.40	0.70	0.70	0.34	0.48	0.14	0.04	3.28
NUM. DIA CON HELADAS.	26	1.38	1.03	0.19	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.87	3.64
NUM. DIA CON TORM. ELEC.	26	0.23	0.34	0.19	0.46	1.08	4.81	6.33	6.11	4.76	2.96	0.70	0.25	28.22
NUM. DIA CON NIEBLA.	26	0.19	0.42	0.23	0.42	0.28	0.74	0.70	0.88	1.65	1.48	0.48	0.41	7.88
NUM. DIAS CON NEVADA.	26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

UNIDADES TEMPERATURA (°C), HUMEDAD RELATIVA (%), EVAPORACION PRECIPITACION (mm) y PRESION (hPa).

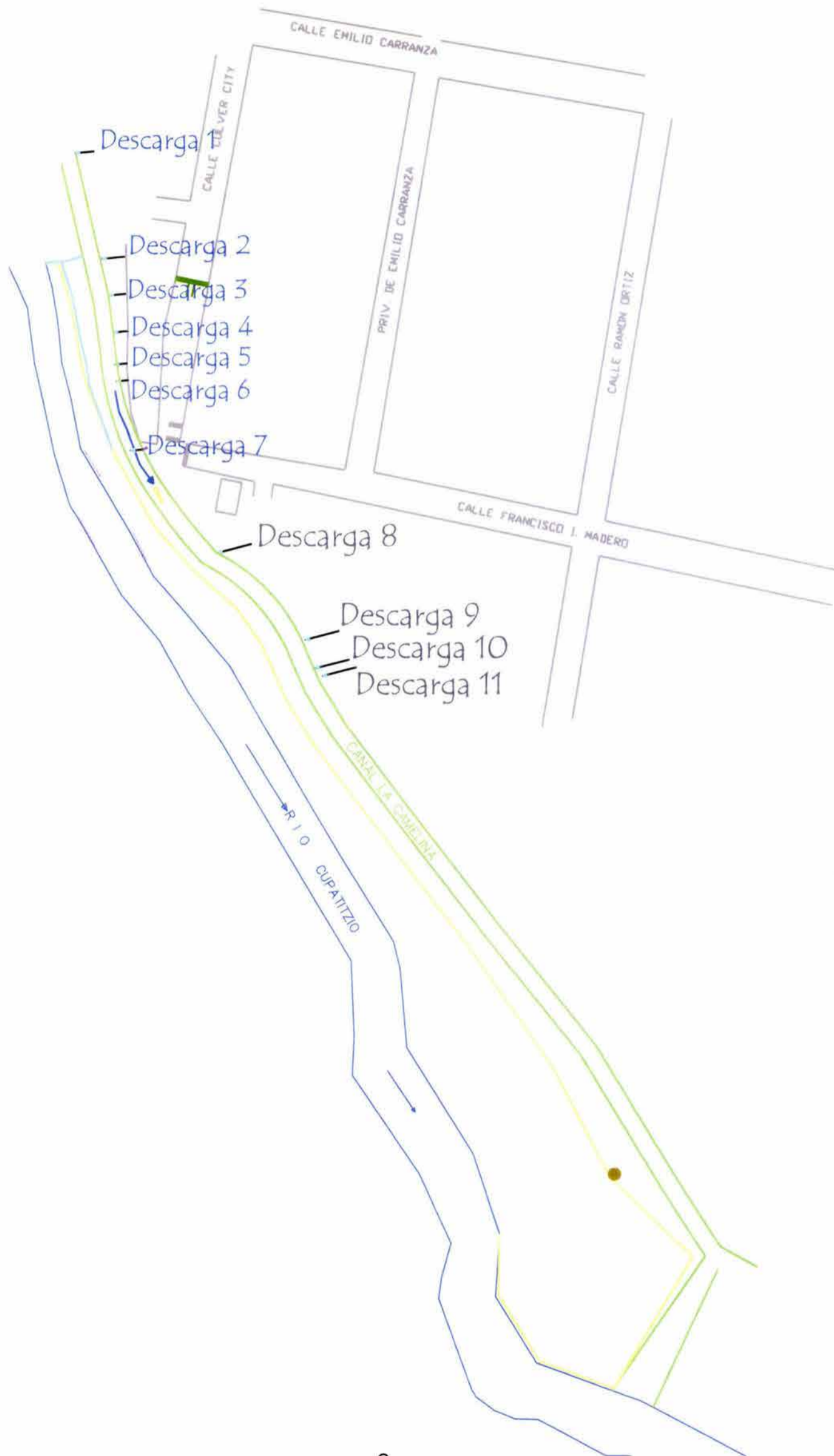
Fuente: U.A.C.H.







# TOPOGRAFIA DEL SITIO




**STEAP & Co. ALVAREZ APAN**  
 arquitectura e ingeniería civil  
 jesus garcia no. 67 barrio san pedro tel. 52.3.09.82 cel. 044 452 50 5 61 53 Uruapan, Michoacan, México.

género de la obra	PROYECTO DE SANEAMIENTO
contenido	ÁREA PROPICIA PARA EL PROYECTO
propietario	STEAP & Co. ALVAREZ APAN
ubicación	URUAPAN MICH.

lugar	uruapan
fecha	agosto 2004
clave	A-001
aprobó	ING. C. PEREZ

plano	01
-------	----

Fuente: CAPASU

diseño  
 BY STEAP ESTUDIO MEXICO  
 THE ALVAREZ APAN

elaboró  
 ING. ALVAREZ APAN  
 ced prof. en trámite

# Ubicación y Area Propicia para los Proyectos



49 Habitantes  
Para  $4m^2/hab.$   
se requieren  
 $196m^2$

50.4965

Descargas susceptibles de ser separadas:  
Tratamiento por medio del Sistema Xochicalli

Descargas combinadas

Tratamiento por medio del Sistema Humedales  
602 Habitantes  
Para  $4m^2/hab.$   
se requieren  
 $2408 m^2$

Total de Descargas	Habitantes Servidos	Tipo de descarga	
		Separable	Combinada
1	7	✓	
2	7	✓	
3	7	✓	
4	7	✓	
5	7	✓	
6	7	✓	
7	7	✓	
8	150		✓
9	151		✓
10	151		✓
11	150		✓

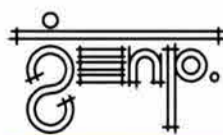
Cuadro de Construcción para el Calculo del Area Propicia para el desarrollo de los proyectos

Constant width: 0.0000  
area: 7858.0323  
Perimeter: 227.2475

at point X=2378.4467 Y=2266.0292 Z= 0.0000  
at point X=2381.2404 Y=2550.7007 Z= 0.0000  
at point X=2408.4735 Y=2565.5566 Z= 0.0000  
at point X=2400.0914 Y=2669.9867 Z= 0.0000  
at point X=2398.1510 Y=2576.1956 Z= 0.0000  
at point X=2296.1543 Y=2579.0754 Z= 0.0000  
at point X=2334.8351 Y=2581.2522 Z= 0.0000  
at point X=2292.9760 Y=2384.5208 Z= 0.0000  
at point X=2289.6598 Y=2387.6901 Z= 0.0000  
at point X=2386.7189 Y=2590.1918 Z= 0.0000  
at point X=2384.4259 Y=2392.0680 Z= 0.0000  
at point X=2381.7116 Y=2395.9442 Z= 0.0000

Area Propicia para el desarrollo de los proyectos

$7858.0323m^2$



**STEAP & Co. ALVAREZ APAN**  
arquitectura e ingeniería civil

jesus garcia no. 67 barrio san pedro tel. 52.5.09.82 cel. 044 452 50 5 61 55 Uruapan, Michoacan, México.

género de la obra	PROYECTO DE SANEAMIENTO
contenido	AREA PROPICIA PARA EL PROYECTO
propietario	STEAP & Co. ALVAREZ APAN
ubicación	URUAPAN MICH.

lugar	uruapan
fecha	agosto 2004
clave	A-001
aprobó	ING. C. PEREZ

plano	02
-------	----



### III.3.- DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE LAS DESCARGAS SEPARABLES POR MEDIO DEL SISTEMA XOCHICALLI®.

Estas descargas por su característica de poder separar las aguas del W.C. del resto de las aguas servidas en las actividades diarias, se pueden tratar con el sistema Sutrane de Xochicalli. La población para desarrollar el dimensionamiento de este sistema, se obtuvo realizando el censo de la población que aporta las descargas, tanto en estas descargas como en las que son combinadas. A continuación se presenta la memoria de cálculo de este tratamiento.

#### ESQUEMA GENERAL DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA XOCHICALLI



## DIMENSIONAMIENTO DEL SUREANE

Haciendo un promedio de Habitantes, podemos calcular este tratamiento para 7 Habitantes y repetirlo 7 veces, quedando de la siguiente forma el diseño "patron".

### DIGESTOR

Es de forma cilíndrica y solo recibe el gasto del W.C y del Migitorio.

Considerando un gasto diario en el W.C de 24 lts. Por persona. No. De personas 7

El volumen de un cilindro es

$$V = [\pi(r^2)XL] + [3/4\pi(r^3)]$$

Dando un tiempo de retención de 35 días.  
 el volumen requerido sera 5880 lts.  
5.88 m<sup>3</sup>

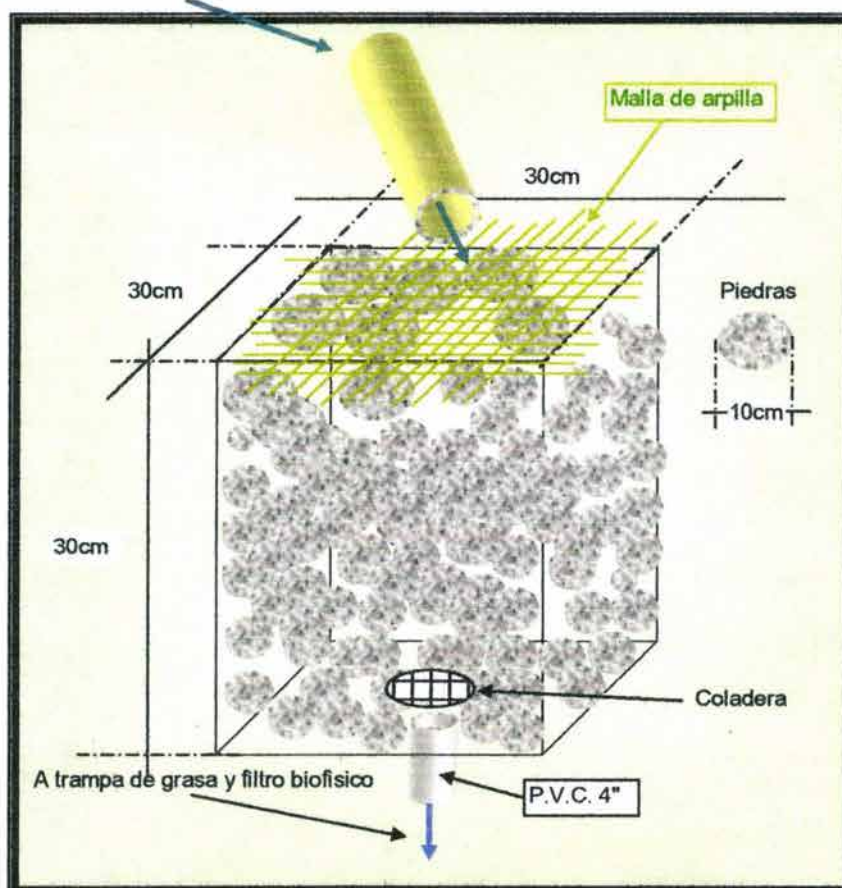


Por sedimentación se da una relación L=10r  
 el D = 1.40m como mínimo.

r = 0.7 m.      1.5393804  
 L = 3.29471863 m.      0.525

### PRE OXIGENADOR

Este solo recibirá las aguas del lavadero.  
 Sus medidas son:



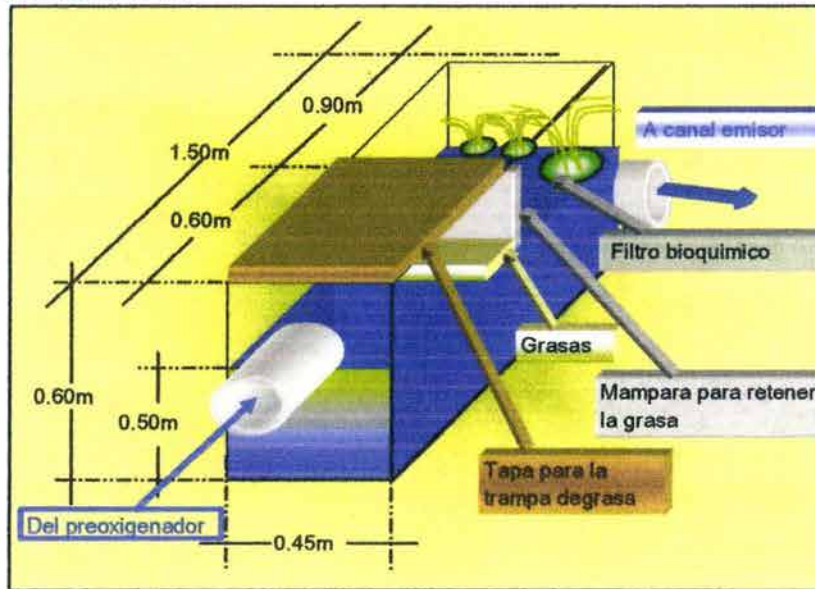
ESTE DISEÑO SE APLICARA EN CADADA DESCARGA

## TRAMPA DE GRASA Y FILTRO BIOQUIMICO

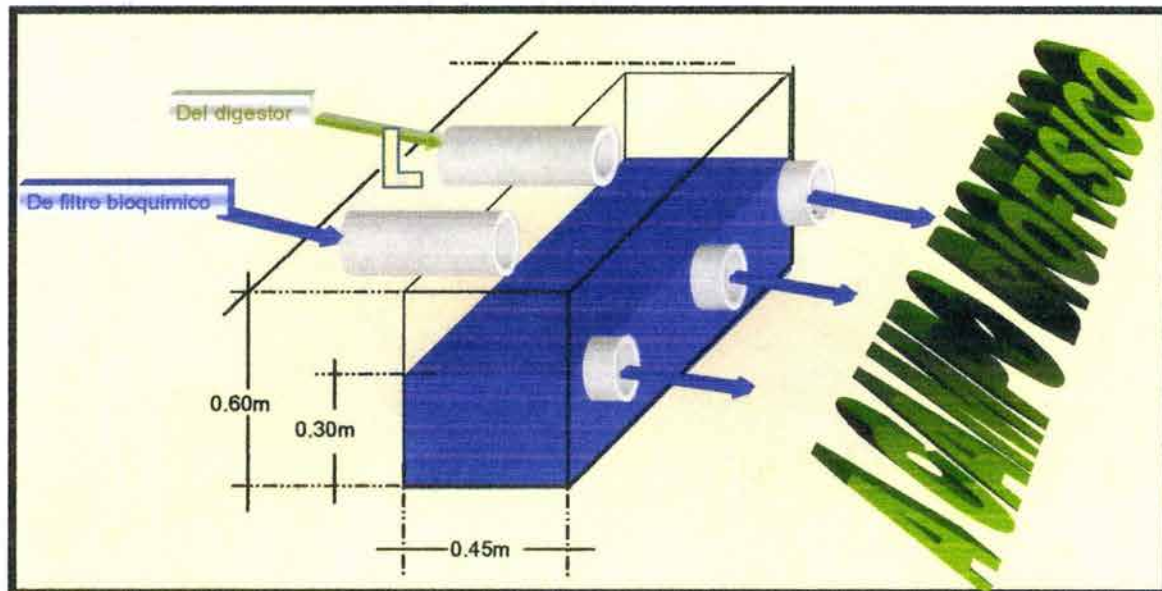
Sus medidas son:

El tiempo total de residencia es de 2 1/2 a 3 dias

El volumen de agua es (m<sup>3</sup>) 0.3375

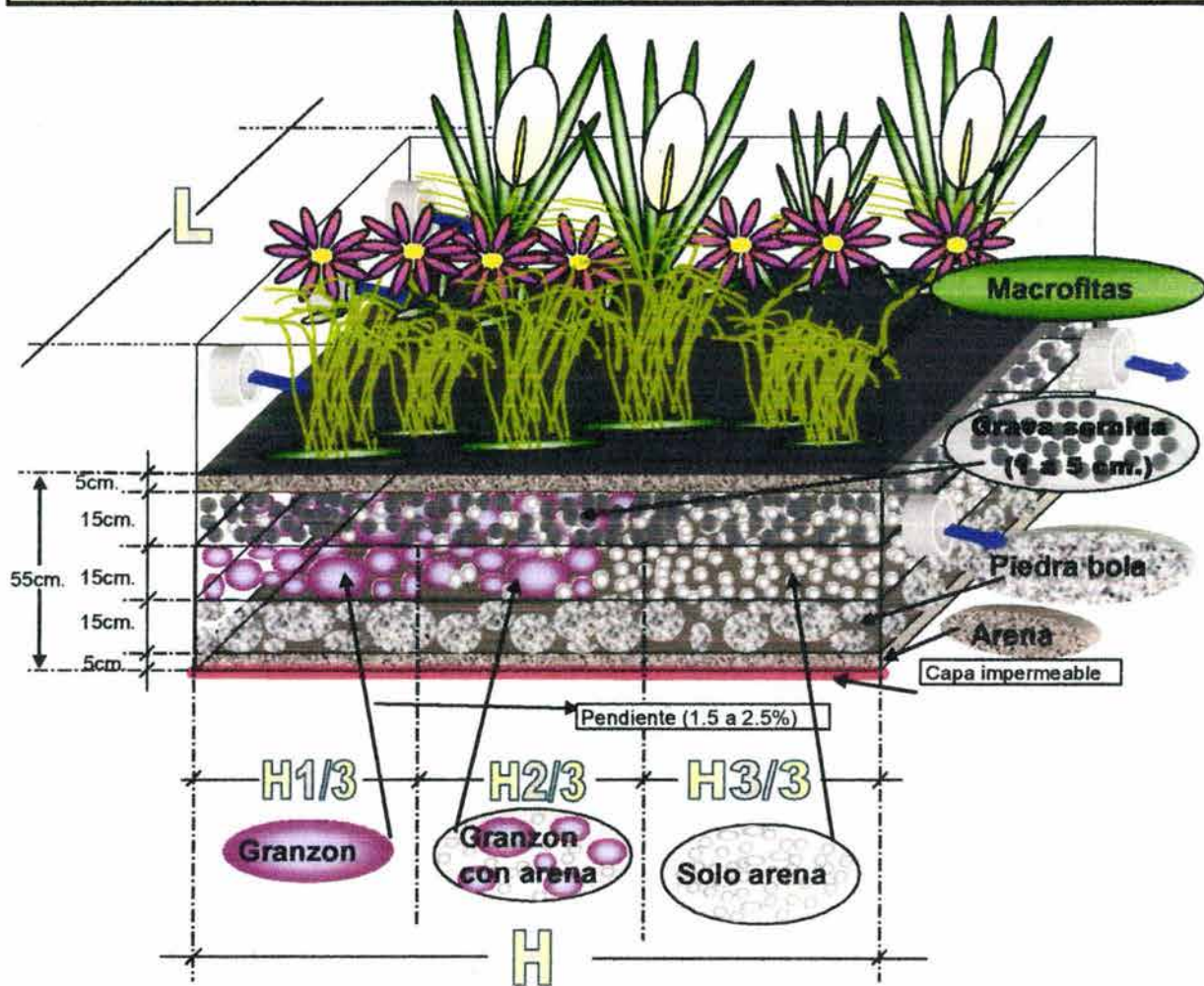


## CANAL EMISOR





**Campo secundario o Filtro Biofisico**



Para tener  $4 \text{ m}^2$  por Habitante se requieren  $28 \text{ m}^2$

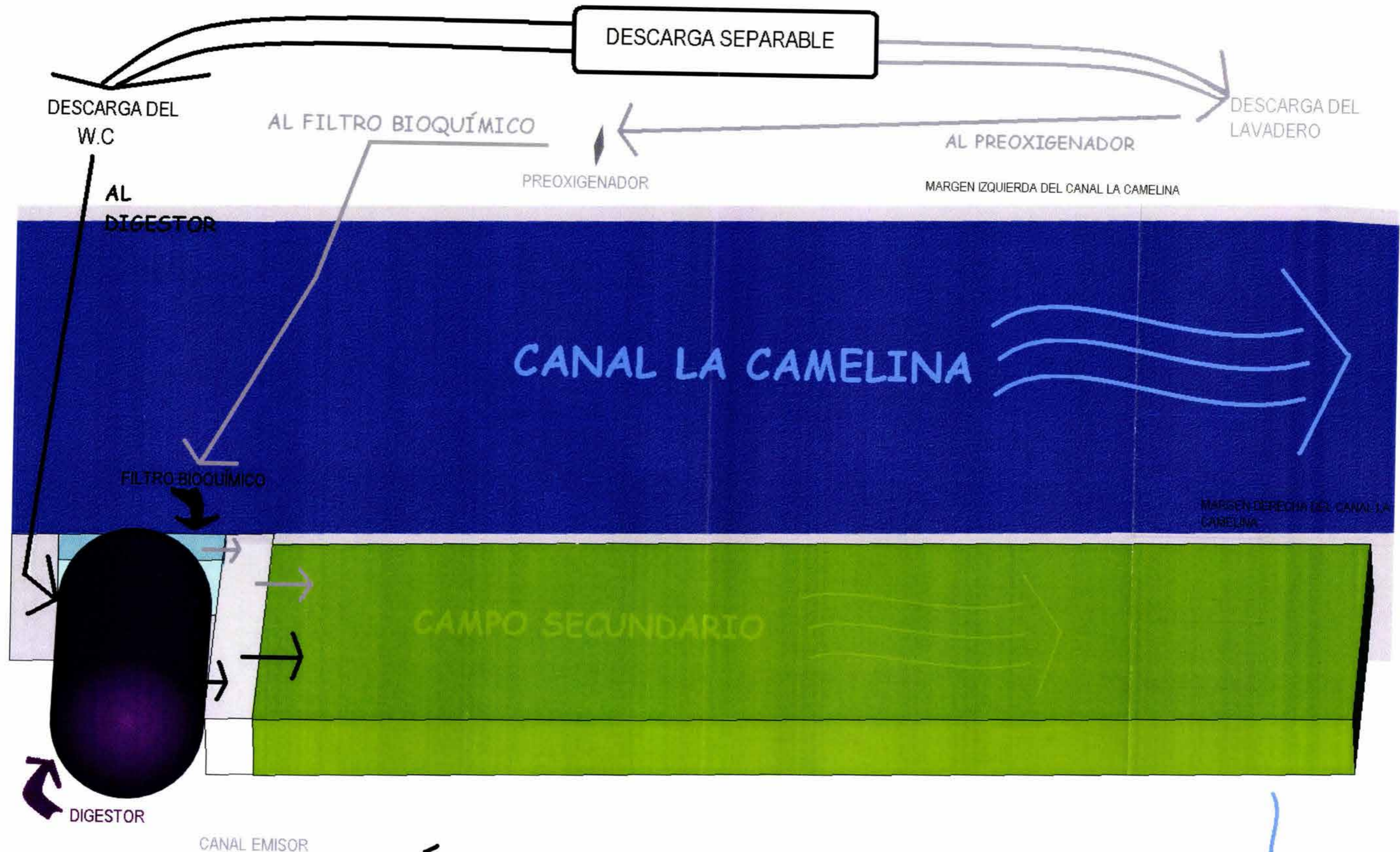
Por lo tanto

$$L = 3 \text{ m.} \quad H = 10$$

$$H = 9.33333333 \text{ m.}$$

Con estas medidas se puede esperar una calidad en el efluente muy alta.  
 El agua efluente de esta etapa se puede utilizar para riego, captarlo en un tanque y cultivar peces o vertirlas retornandola al Rio Cupalitziio.  
 Acontunación se mostrara el sitio en el lugar.



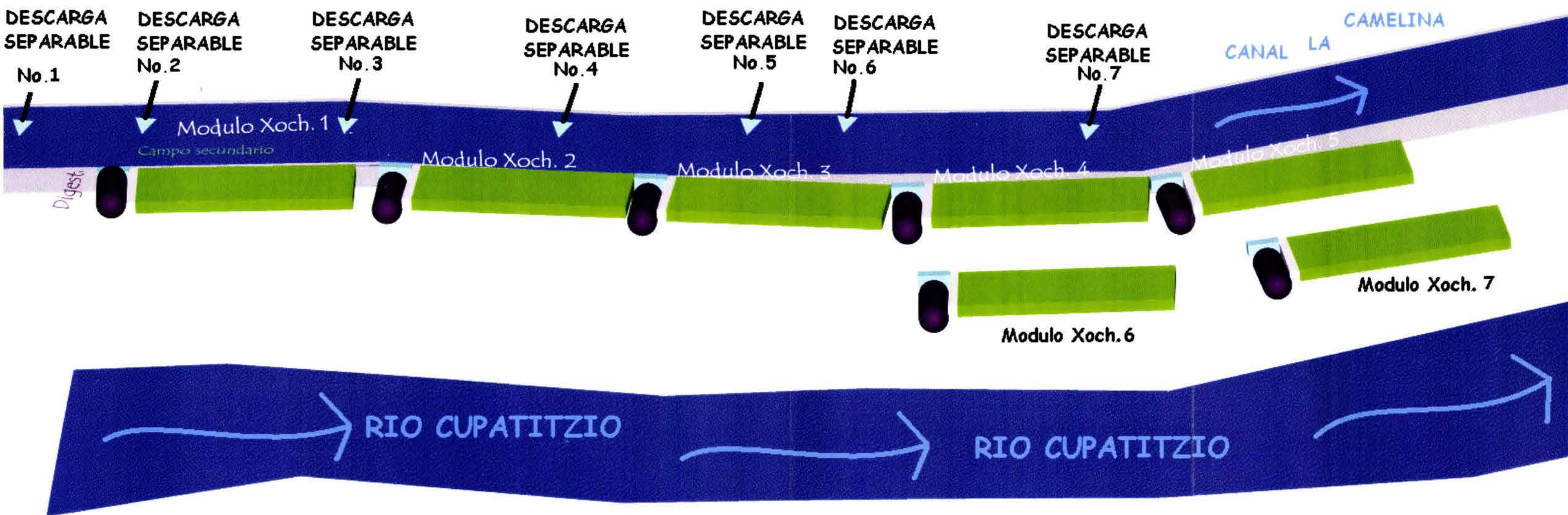


## MÓDULO XOCHICALLI TIPO

AGUA TRATADA



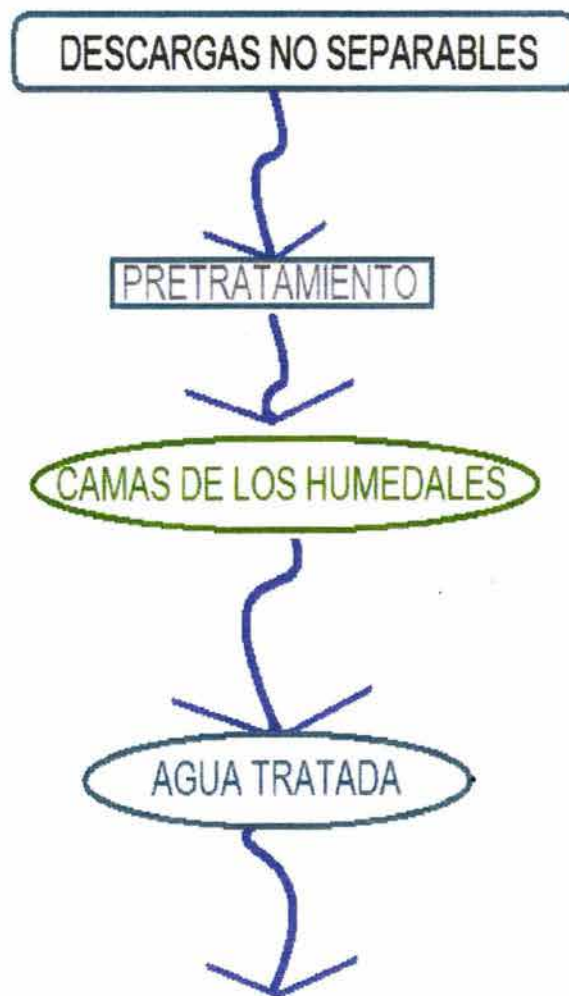
# VISTA DE CONJUNTO DEL TRATAMIENTO POR MEDIO DEL SISTEMA XOCHICALLI





# HUMEDALES CONSTRUIDOS

ESQUEMA DEL TRATAMIENTO POR MEDIO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS



### III.4.- DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE LAS DESCARGAS COMBINADAS POR EL METODO DE LOS HUMEDALES CONSTRUIDOS.

Estas por sus características se tratarán por medio de Humedales Construidos, para esto se requiere del tratamiento preliminar (pretratamiento), y el Humedal.

La población para este tratamiento es de 602 Habitantes. En seguida se presenta el calculo del pretratamiento.

#### DATOS DE ENTRADA PARA CALCULAR EL PRETRATAMIENTO

Población actual	602	
Aportación por habitante	210	lts/día

#### Determinación de la población futura y el caudal de agua residual

basandose en un indice de crecimiento de  $\frac{1}{20}$  % por año y un periodo de diseño de años

Población Futura = Pobl. Actual X (crecimiento)<sup>(No. De años)</sup> = 734.554404 habitantes  
 Caudal Promedio diario:  $Q_{prom}$   
 Presente = (Poblac. Actual) X (Aportac.) = 126420 lts/día = 126.42 m<sup>3</sup>/día  $Q_{med\ pres}$   
 Futuro = (Poblac. Futura) X (Aportac.) = 154256.425 lts/día = 154.2564249 m<sup>3</sup>/día  $Q_{med\ fut}$

Caudal Máximo según Harmon es =  $Q_{prom} \left( 1 + \frac{14}{4 + (Poblac\ en\ miles)^{0.5}} \right) = Q_{max}$   
 $Q_{max\ fut} = 598.8853328\ m^3/día = 0.00693154\ m^3/seg.$

El caudal minimo futuro se calcula =  $\frac{Q_{max\ fut}}{Q_{med\ fut}} = \frac{Q_{med\ fut}}{Q_{min\ fut}} = 39.73222135\ m^3/día$

El crecimiento se considera tan bajo debido a las condiciones urbanas de esta comunidad, que no permiten un crecimiento mayor. En lo que se refiere a la aportación por habitante también se considero que el dato utilizado es el que más refleja la realidad.

## Calculo de rejillas y canal de entrada:

### DATOS DE ENTRADA PARA CALCULAR EL PRETRATAMIENTO

Aportación por habitante = 210 lts/día

#### Determinación de la población futura y el caudal de agua residual

basandose en un indice de crecimiento de 1 % por año y un periodo de diseño de 20 años

Población Futura = Pobl. Actual X (crecimiento)^(No. De años) = 734.554404 habitantes  
 Caudal Promedio diario: Qprom  
 Presente = (Poblac. Actual) X (Aportac.) = 126420 lts/día = 126.42 m³/día Qmed pres  
 Futuro = (Poblac. Futura) X (Aportac.) = 154256.425 lts/día = 154.2564249 m³/día Qmed fut

Caudal Máximo según Harmon es = Qprom ( 1 +  $\frac{14}{4 + (Poblac \text{ en miles})^{0.5}}$  ) = Qmax  
 Qmax ful = 598.8853328 m³/día = 0.00693154 m³/seg.

El caudal mínimo futuro se calcula =  $\frac{Qmax \text{ ful}}{Qmed \text{ fut}} = \frac{Qmed \text{ fut}}{Qmin \text{ fut}} = 39.73222135 \text{ m}^3/\text{día}$

### REJILLAS Y CANAL DE ENTRADA

VELOCIDAD EN EL CANAL "V": a flujo normal (med) 60 cm/seg = 0.6 m/seg  
 a flujo máximo 90 cm/seg = 0.9 m/seg

POR LO TANTO EL AREA "A" DEL CANAL SERÁ LA MAYOR DE LAS AREAS SEGÚN

$$A = \frac{Q}{V}$$

Qmed fut = 154.2564249 m³/día = 0.00178538 m³/seg  
 Amed =  $\frac{Qmed \text{ fut}}{0.6} = 0.002976 \text{ m}^2$

Qmax ful = 598.8853328 m³/día = 0.00693154 m³/seg  
 Amax =  $\frac{Qmax \text{ ful}}{0.9} = 0.007702 \text{ m}^2$

#### SELECCIONANDO EL AREA MAYOR

El ancho mínimo sera	0.2	m
Las barras no exederan de	2	m
espesor	0.8 X 5	cm
espacio entre barras	2.5	cm
eficiencia	77	%

Las barras se extenderan 25cm sobre el nivel máximo del agua

INCREMENTO EN AREA HUMEDA =  $\frac{\text{AREA}}{\text{eficiencia}}$

Ahum = 0.010002227 m²

Profundidad MAXIMA APROXIMADA DE FLUJO =  $\frac{Ahum}{\text{ancho minimo}} \times 100 \text{ cm/m} = 5.001113423 \text{ cm}$  Tirante máximo

La pérdida de carga con las rejillas sucias es de 15 cm = 0.15 m

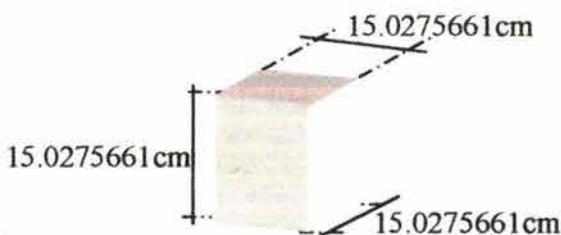
Canal semicircular para flujos bajos  
 El area será Caudal mínimo = 39.73222135 m³/día = 0.00045986 m³/seg

Area del canal semicircular Area =  $\frac{0.00045986}{0.6} = 0.00076644 \text{ m}^2$  A = 7.664395 cm²

El diametro del canal simicircular requerido es  $D = (8 \times A / \pi)^{0.5} = 4.41782487 \text{ cm}$ . aprox 13cm y se usa 15cm

Se asume un canal de ancho 0.2 por 0.6 de alto en "m"  
 La cantidad de material cribado para aberturas de 2.5 cm es según tabla es  $22 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^3$   
 Mal crib futuro = Qmed fut en (m³/día) X (dato de tabla) = 0.00339364 m³/día 0.000022

#### Volumen Cribado Futuro



Debido a que el caudal es muy pequeño se opta por un ancho de 20cm.



Cámara desarenadora:

### CÁMARA DESARENADORA

El ancho W de la cámara se mantiene igual que en el canal de entrada = 0.2 m

Puesto que se tienen flujos bajos variables se controla la velocidad de acceso con un vertedor proporcional

Velocidad en la cámara  $V = 30$  cm/seg  $\pm 25\%$

La longitud se determina en función de: la velocidad máxima  
el tirante máximo

y las temperaturas más bajas

De tabla A una temperatura de 10 °C la velocidad de sedimentación es de 2.1 cm/seg

De de la ecuación se tiene  $L = \frac{(\text{Tirante máximo}) \times V \times 1.25}{\text{vel. de sedim}} = 89.3055968$  cm  $0.893056$  m

Debido a las turbulencias se incrementa L en 40%  $L = 1.25027836$  m

Se previene un volumen de almacenamiento en el flujo de la cámara de 0.06 m<sup>3</sup> por cada 1000 m<sup>3</sup> de agua residual

0.06 m<sup>3</sup> por cada 1000 m<sup>3</sup> de ag. Res. Intervalos 2 días

Si la arena se extrae cada dos días el volumen será  $2 \times 0.06 \times \frac{154.256425}{1000}$  Vol aren. = 0.018511 m<sup>3</sup>

Se da una profundidad adicional al canal de 10 cm

### VERTEDOR PROPORCIONAL

Se calcula el ancho "b" del vertedor con una altura "a" del rectángulo de 2.5 cm

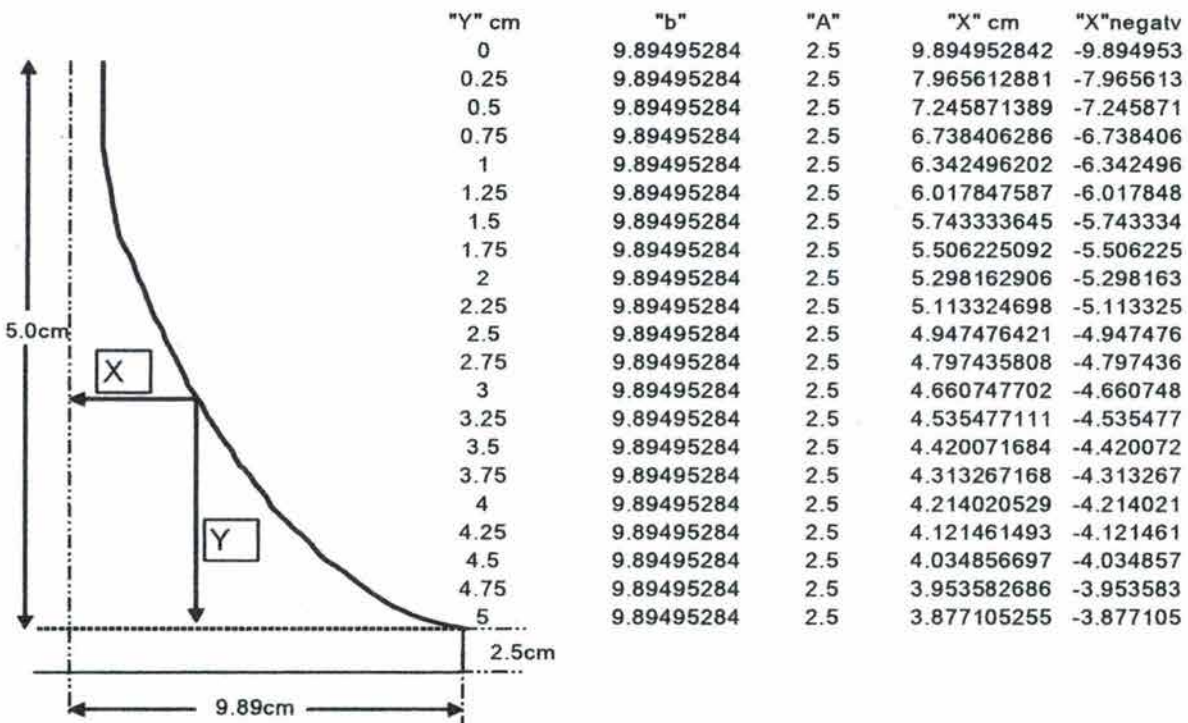
y con una altura "h" del vertedor  $h = \text{Tirante} - 2/3 a = 3.33444676$

$b = \frac{Q_{\max} \sqrt{h}}{(2g)^{0.5} (h + 2/3 a)} = 0.09894953$  m  $b = 9.894953$  cm

$g = 9.81$  m/seg<sup>2</sup>

La curva del vertedor se calcula  $X = b(1 - 2/\pi \text{ArcoTang}(Y/A))^{0.5}$

En la que se asumen valores para "Y" y se resuelve para "X" resultando la siguiente tabla



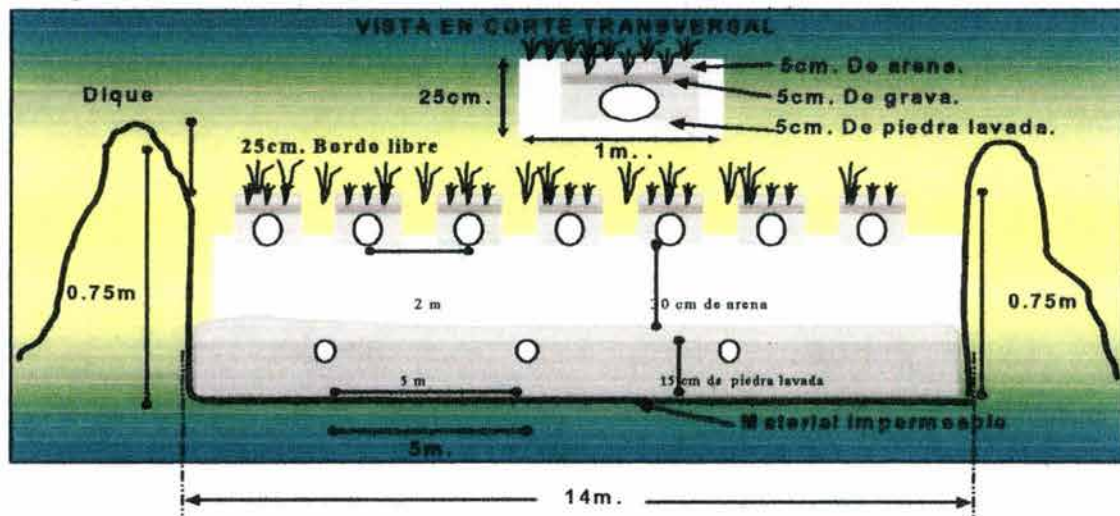
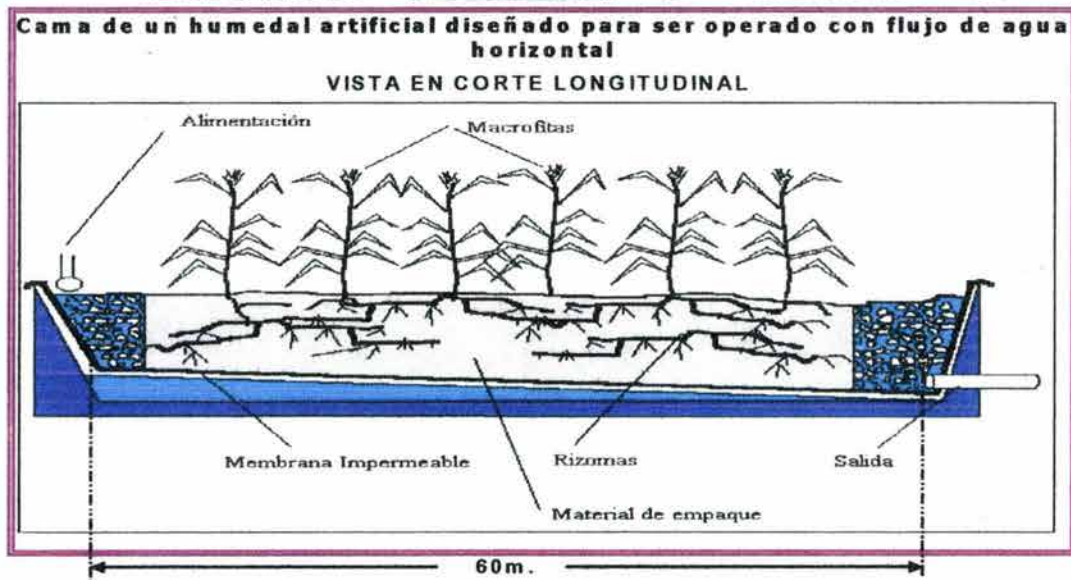
El vertedor deberá tener una caída libre de 15cm, medida desde la parte superior de este. A continuación este caudal se distribuirá en las camas de los Humedales Construidos que enseguida se describirán.

**CÁLCULO DEL AREA DE LAS CAMAS**

Población actual	602	habitantes	Con Un Area/Hab	2.2	Area req=	1324.4	m <sup>2</sup>
Población Futura	734.554404	habitantes	Con Un Area/Hab	2.2	Area req fut=	1616.01969	m <sup>2</sup>
Según Donald A. Hammer la relación largo ancho apropiada es de			4.5 y otorgar 2.2m <sup>2</sup> /hab.		Proponiendo a=		
			13.3999158		m. Area cama=		
			L= 60.299621		m. a= 14m		
					L= 60m		

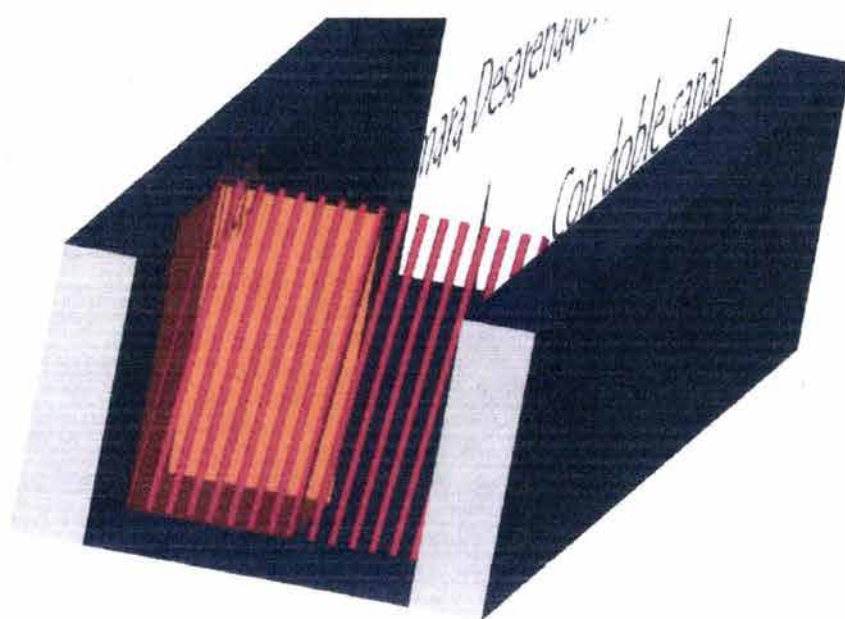
**L=4.5a**

Numero de camas fut.= 2 pza con un area c/u= 840 m<sup>2</sup>

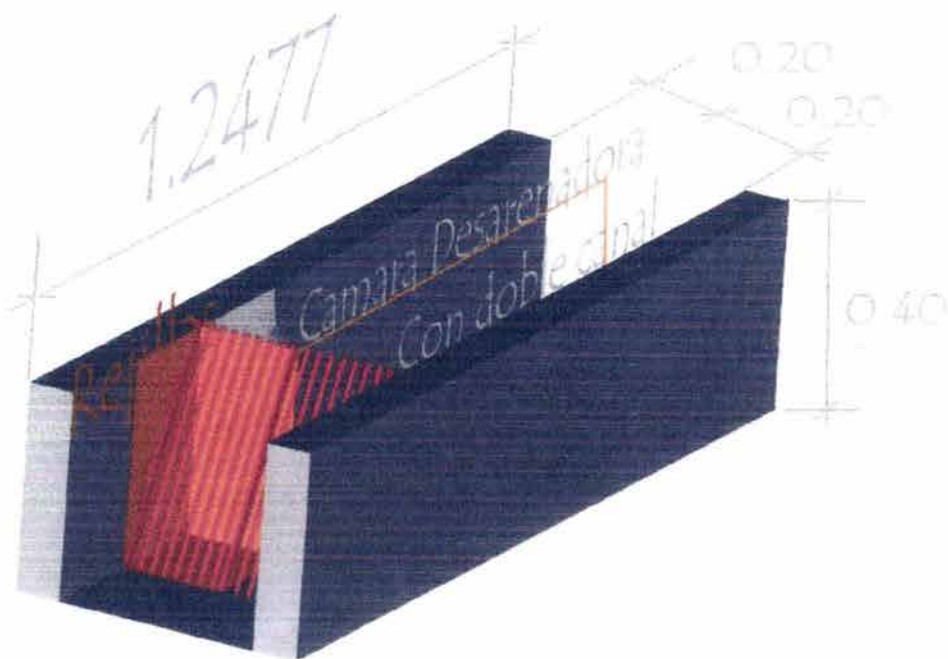


Enseguida se presentan los Humedales Construidos y el conjunto de los dos sistemas en el sitio del proyecto.

# CÁMARA DESARENADORA



# PRETRATAMIENTO





# PROYECTO DE HUMEDALES ARTIFICIALES

DESCARGAS NO SEPARABLES  
AL PRETRATAMIENTO

CANAL LA CAMELINA

60m

14m

PRETRATAMIENTO

CAMA No. 1 DEL PROYECTO DE HUM. ARTIF.

Area de la Cama No. 1 es 840m<sup>2</sup>

CAMA No. 2 DEL PROYECTO DE HUM. ARTIF.

Area de la Cama No. 2 es 840m<sup>2</sup>

60m

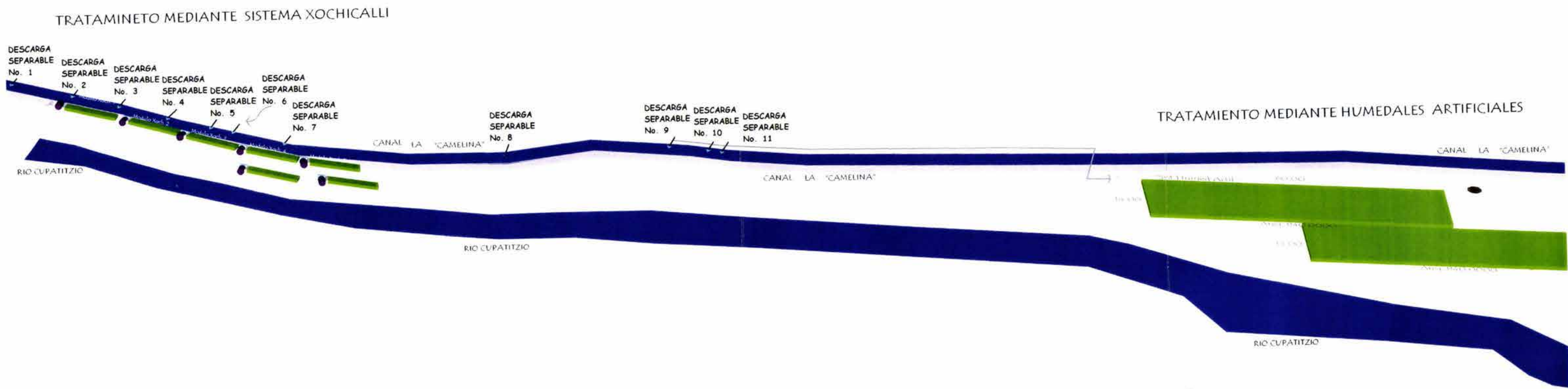
RIO CUPATITZIO

14m

AGUA TRATADA

ESTE PROYECTO CUENTA CON DOS CAMAS DE 14m X 60m  
CON UNA AREA DE 840m<sup>2</sup> CADA UNA, SUMANDO 1680m<sup>2</sup>.





**VISTA DE CONJUNTO DE LOS DOS SISTEMAS PROYECTADOS**

MACROFITAS CANDIDATAS:



Musa sp.

Paspalum sp.

Poa sp.



Fam. Aracea





Paspalum sp.



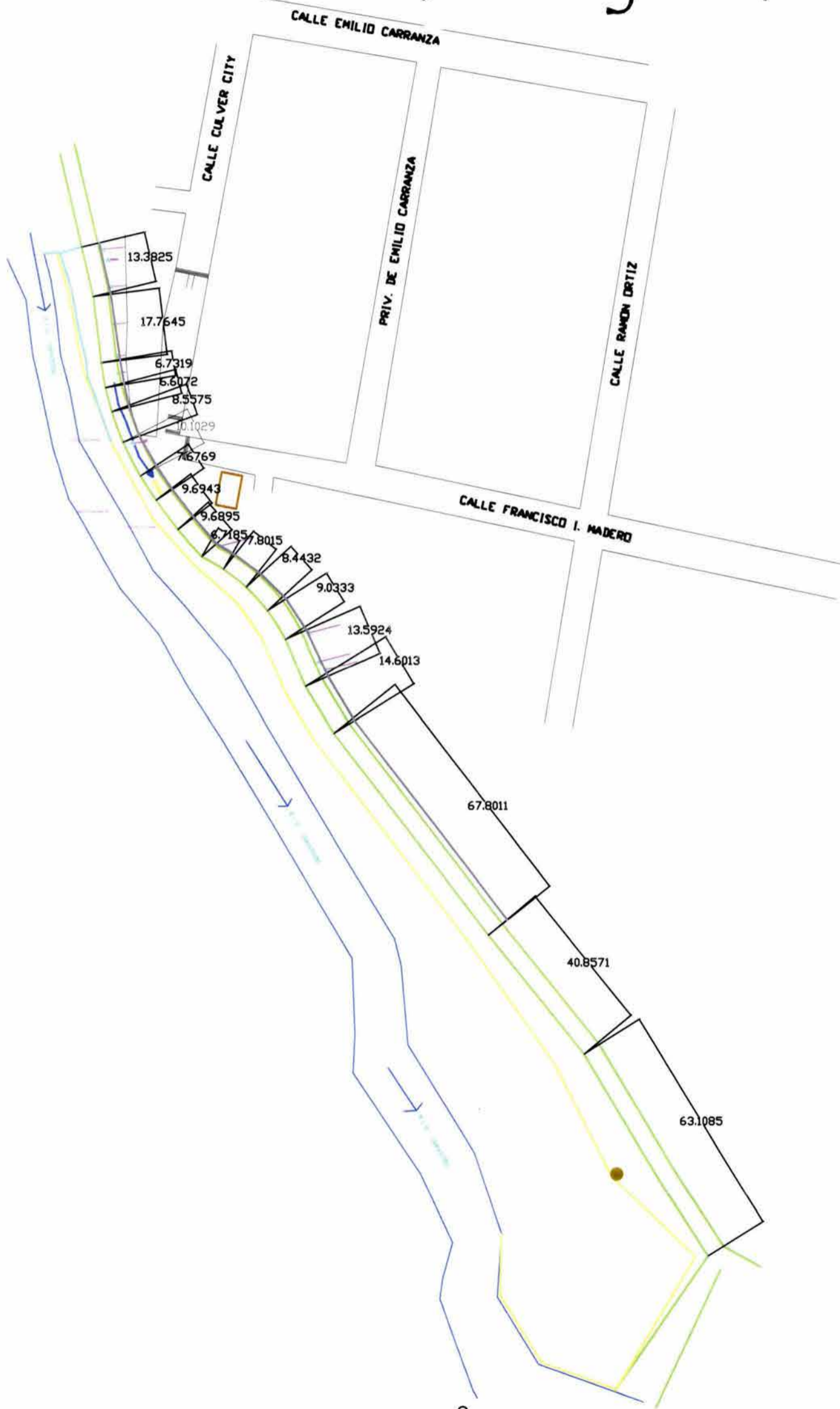
Arthrostilidium sp.



Floripondio Fam. Solanacea

Pennisetum purpurea

# Ubicación y Area Propicia para los Proyectos (Plano de longitudes)



**STEAP & Co. ALVAREZ APAN**

arquitectura e ingeniería civil

jesus garcia no. 67 barrio san pedro tel. 52.3.09.82 cel. 044 452 50 5 61 53 Uruapan, Michoacan, México

género de la obra	PROYECTO DE SANEAMIENTO
contenido	ÁREA PROPICIA PARA EL PROYECTO
propietario	STEAP & Co. ALVAREZ APAN
ubicación	URUAPAN MICH.

lugar	uruapan
fecha	agosto 2004
clave	A-001
aprobó	ING. C. PEREZ

plano	03
-------	----

Longitud : 175.55 m  
Tuvo : PVC Sanitario  
Diámetro : 12" Reforzado  
Símbolo :  
Fuente: CAPASU

diseño  
BY STEAP ESTUDIO MEXICO

elaboró  
ING. ALVAREZ APAN  
ced prof. en tramite



<b>PRESUPUESTO DEL TRATAMIENTO</b>					
<b>CLAVE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNID.</b>	<b>CANT.</b>	<b>P.U</b>	<b>TOTAL</b>
	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				<b>\$25,124.00</b>
10301	Limpieza y desenraíce a mano de terreno con maleza de 0.50 mts de altura, incluye apile de hierba.	m2	2,200.00	\$6.04	\$13,288.00
10405	Trazo y nivelación con aparatos topográficos en terreno plano de 2000 a 5000 m2	m2	2,200.00	\$5.38	\$11,836.00
	<b>SISTEMA XOCHICALLI</b>				<b>\$124,631.99</b>
REG00002	Preoxigenador de 30X30X30cm con piedra bola.	pza	7	\$91.18	\$638.26
30313	Trampa de Grasa y Filtro Bioquímico de 45 x 60 x 150 cms elaborado de: tabique recocido en espesor de 12 cms, juntado con mortero cemento arena 1:5 acabado pulido en el interior, con concreto en plantilla de f'c= 100 kg/cm2, con excavación en material tipo "A".	pieza	7	\$712.44	\$4,987.08
*TEMP0	Canal Emisor de 45 x 60 x 300 cms elaborado de tabique recocido en espesor de 12 cms, juntado con mortero cemento arena 1:5 acabado pulido en el interior, con concreto en plantilla de f'c= 100 kg/cm2, con excavación.	pieza	7	\$1,169.31	\$8,185.17
30315	Campo Secundario de 10 x 3 x 0.6 mts. de tabique recocido en espesor de 12 cms, juntado con mortero cemento arena 1:5 acabado pulido en el interior, con concreto en plantilla de f'c= 100 kg/cm2, con excavación.	pieza	7	\$9,117.19	\$63,820.33
DIG7M3	Digestor de 7M3 de plástico reforzado suministro y colocación.	pieza	7	\$5,075.25	\$35,526.75
220101	Macrófitas con tierra, Incluye suministro y colocación.	m2	210	\$54.64	\$11,474.40
	<b>SISTEMA DE HUMEDALES CONSTRUIDOS.</b>				<b>\$481,272.36</b>
30308	Pretratamiento de 40 x 40 x 130 cms elaborado de tabique recocido en espesor de 12 cms, juntado con mortero cemento arena 1:5 acabado pulido en el interior, con concreto en plantilla de f'c= 150 kg/cm2, con excavación.	pieza	1	\$1,851.80	\$1,851.80
30309	Cama de Humedal de 14 x 60 x 0.75 mts elaborado de tabique recocido en espesor de 12 cms, juntado con mortero cemento arena 1:5 acabado pulido en el interior, con concreto en plantilla de f'c= 150 kg/cm2, sin excavación	pieza	2	\$189,321.08	\$378,642.16
*TEMP2	Macrófitas con tierra, Incluye suministro y colocación.	m2	1,680.00	\$54.64	\$91,795.20
*TEMP4	Suministro y colocación de Tubería de PVC sanitario de cementar de 38 mm de diámetro 12"	ml	120	\$74.86	\$8,983.20
	<b>CONDUCCIÓN</b>				<b>\$8,742.45</b>
120105	Suministro y colocación de Tubería de PVC sanitario de cementar de 38 mm de diámetro 12"	ml	157.55	\$55.49	\$8,742.45
				<b>TOTAL</b>	<b>\$639,770.80</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A PARÁMETROS CEDIDOS POR: PROMOTORA Y CONSTRUCTORA MERAZ S.A. DE C.V.



## CONCLUSIONES:

Es posible concluir que el tratamiento de las aguas residuales en la actualidad se puede realizar con costos bajos y con un bajo impacto al entorno logrando un equilibrio con el medio ambiente e incluso enriqueciéndolo al mismo tiempo en que es recuperado.

El equilibrio que se tiene al aplicar tecnología capas de proveer un desarrollo sustentable, permite que se logre un efecto de avalancha en el cual los beneficios que se obtienen impulsan su uso.

Las bondades de los tratamientos expuestos y su simplicidad en cuanto a operación, construcción y su bajo costo provienen de su enfoque el cual se basa en la observación cuidadosa de la naturaleza y su equilibrio, aplicando y adecuando los procesos observados en un procedimiento simbiótico que logre nuestros objetivos.

En el Barrio de Santo Santiago es posible aplicar los métodos descritos en el desarrollo de esta tesis, logrando un rescate múltiple tanto del canal "La Camelina" con el retiro de las descargas de su cause, también por el tratamiento de estas con un método que además permite el crecimiento de plantas (macrofitas) con flores y recursos para su empleo en la elaboración de artesanías, dando también oportunidad a que en el sitio del tratamiento se logre un ambiente jardinado y agradable, eliminando las descargas aquí tratadas del Río Cupatitzio, contribuyendo a su recuperación.

## BIBLIOGRAFÍA:

- DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK, Manual de Tratamiento de Aguas Negras, Limusa Noriega Editor, Quinta Reimpresión, Mexico 1976.
- C.N.A., Manual de Diseño de plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, C.N.A, Mexico 1977.
- METCALF & EDDY, Wastewater Engineering Treatment, Disposal, and Reuse, McGraw-Hill, International Edition, 1991.
- DONALD A. HAMMER & LEWIS PUBLISHERS, Constructed Wetlands For Water Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural, Tennessee, 1988.
- R. MARGALEF, Ecología, Omega, México 1981.
- COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE MÉXICO A.C., Memorias XX Congreso Nacional de Ingeniería Civil, F E C I C, Impreso en Mexico 1999.
- UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO, Normales Climatológicas de los Estados: 1951-1980, Michoacán, Puebla, Querétaro, Tlaxcala, Publicación Interna, Capingo México Junio 1998.
- CARMEN DURAN-DE-BAZÚA, Humedales Artificiales Una Alternativa Viable Para El Tratamiento de Aguas Residuales En Zonas Rurales, Suburbanas y Urbanas Que Tengan Áreas Disponibles, PIQAYQA, Ciudad Universitaria México D.F. Diciembre 2002.

-NEWS ECUADOR R.L. LAVINGNE & J. JANKIEWICZ, Los Humedales o Pantanos Construidos Una Alternativa Viable Para El Tratamiento de Aguas Residuales, New England Waste System, Inc , NY USA Diciembre 2002.

-CETENAL, Carta Urbana Uruapan Mich. 2-1 1:10000, CETENAL, México D.F. 1976.

-CETENAL, Carta Topográfica Uruapan E13B39 1:50000, CETENAL, México D.F. 1977.

-SPP PROGRAMACIÓN Y PRESUPUESTO, Carta Edafológica Uruapan E13B39 1:50000, DDG, México D.F. 1983.

-SECRETARIA DE LA PRESIDENCIA y DIRECCIÓN DE PLANEACION y UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MAXICO, Carta de Climas Colima 13Q-VI Zacatula 13Q-VIL, Comisión de Estudios del Territorio Nacional y Planeación , Impreso en México en los Talleres Gráficos de la Nación Enero 1970.

-GRUPO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, Apuntes de Tratamiento de Aguas, Escuela Universitaria Politécnica, Universidad de Sevilla Diciembre 2002.

M.C. JESÚS ARIAS CHÁVEZ, Apuntes y datos de Tecnología de Xochicalli, Impreso por el Autor, OCTUBRE, 1992.

SOLIS MORELOS CARLOS, Apuntes de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería de U.A.E.M.1990.

INT. CONF. ANAEROBIC DIGESTION, Van Den Berg, 3rd Boston agosto 1983.

(INT. CONF. ANAEROBIC DIGESTIÓN,1983:)



WINKLER MICHAEL A. "TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS DE DESECHO", Limusa Noriega editores, 1994.

DEGREMONT, Manual Técnico del Agua, Artes Gráficas Grijelmo, Cuarta Edición, España 1979.