



# **UNIVERSIDAD MICHOCACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

---

## **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES BASADO EN  
LAGUNAJE, PARA LA LOCALIDAD DE CHILCHOTA MICHOCÁN.**

### **TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:**

**FERNANDO MANZO HERNÁNDEZ**

**ASESOR:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**HUGO ALEJANDRO TZINTZUN FLORES**

**MORELIA, MICHOCÁN.**

**ENERO 2015**



## **AGRADECIMIENTOS**

Se concluye una prueba más de las tantas que se han tenido que superar a lo largo de la vida, por fortuna fue la vida misma quien me ha dado el honor de conocer y rodearme de las personas más maravillosas que puede haber y que me han ayudado en todo momento aun cuando las expectativas pintaban para mal, a todos ellos que se cruzaron en mi camino para darme unas palabras de aliento, un apoyo siempre que había oportunidad, a todos ellos mil veces gracias por acompañarme en ésta jornada.

A mi familia con especial cariño ya que siempre fue pilar para seguir adelante, a mis padres y hermanas que confiaron en mí y me dieron todas las herramientas necesarias para lograr mi carrera y me brindaban la mano siempre que había un obstáculo, decir gracias no es suficiente para compensar todo lo que me han dado, así que por ellos daré siempre lo mejor para que vean que el esfuerzo no fue en vano



## CONTENIDO

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Resumen</b>                                                        | V  |
| <b>Abstract</b>                                                       | VI |
| <b>Capítulo 1 – Antecedentes</b>                                      | 1  |
| 1.1– Problemática del agua                                            | 2  |
| 1.2 - El agua residual en México                                      | 4  |
| <b>Capítulo 2 – Características de aguas residuales domesticas</b>    | 6  |
| 2.1 – Característica promedio del agua residual según NOM-001-ECOL-96 | 7  |
| 2.1.1 – Parámetros Analizados.                                        | 10 |
| <b>Capítulo 3 – Tratamiento de aguas residuales</b>                   | 17 |
| 3.1 - Trenes de tratamiento                                           | 18 |
| 3.1.1 - Operaciones Físicas Unitarias                                 | 18 |
| 3.1.2 - Procesos Unitarios                                            | 35 |
| 3.1.2.1 - Procesos Químicos Unitarios                                 | 35 |
| 3.1.2 .2- Procesos Biológicos Unitarios                               | 45 |
| <b>Capítulo 4 – Sistemas de laguna</b>                                | 47 |
| 4.1 – Laguna Anaerobia                                                | 48 |
| 4.2 – Laguna Facultativa                                              | 51 |
| 4.3 – Laguna de Maduración                                            | 53 |



|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Capítulo 5 – Propuestas de tratamiento</b>                          | <b>55</b> |
| 5.1 – Recopilación de Información de la comunidad de Chilchota         | 56        |
| 5.2 -- Evaluación De La Problemática Ambiental                         | 61        |
| 5.3 – Aforo y Muestreo.                                                | 61        |
| 5.4 – Propuesta y Descripción del Proyecto                             | 68        |
| 5.5 – Dimensionamientos de la PTAR Propuesta.                          | 68        |
| <b>Capítulo 6 – conclusiones</b>                                       | <b>75</b> |
| <b>Anexos</b>                                                          | <b>77</b> |
| ANEXO 1- DIAGRAMA DE FLUJOS DE LA PLANTA TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES | 79        |
| ANEXO 2- REACTOR ANAEROBIO                                             | 80        |
| ANEXO 3- CORTE REACTOR ANAEROBIO                                       | 81        |
| ANEXO 4- LAGUNA DE MADURACIÓN                                          | 82        |
| ANEXO 5- CORTE LAGUNA DE MADURACIÓN                                    | 83        |
| ANEXO 6- LAGUNA DE PULIMENTO                                           | 84        |
| ANEXO 7- CORTE LAGUNA DE PULIMENTO                                     | 85        |
| ANEXO 8- CORTE LAGUNA DE PULIMENTO                                     | 86        |
| <b>Bibliografía</b>                                                    | <b>87</b> |



## RESUMEN

La contaminación se ha convertido en un problema de gran peligro para el ser humano, siendo la misma sociedad la principal causante de esto. Dentro de dicha contaminación se encuentra el deterioro de los cuerpos de agua dulce, principalmente los efluentes superficiales con los que estamos en contacto y podemos acceder fácilmente, generando así un gran riesgo para nuestra salud obligando al ser humano a buscar otras fuentes para conseguir el vital líquido, además del gran daño que ocasiona a un ecosistema; es por todo esto que la Secretaría del Medio Ambiente estableció normas para que todas las aguas residuales aportadas por el ser humano tengan un adecuado tratamiento, disminuyendo en la mayor parte posible todos los contaminantes que ésta contenga, desgraciadamente dichas normas no se han cumplido en su totalidad al día de hoy, aun cuando se estableció una fecha máxima para que todas las poblaciones trataran sus aguas residuales del 1 de enero de 2010.

Una de las diferentes poblaciones que no ha podido lograr tal meta es el municipio de Chilchota; la principal razón por la que no se ha cumplido con la normativa es la falta de capital para construir y operar una PTAR de modo convencional, ya que se trata de una comunidad rural, es por eso que se propone un método no convencional para tratar sus aguas residuales, cumpliendo así con los reglamentos y, primordialmente; elevando la calidad de vida de los habitantes de dicha región.

Palabras clave: Contaminación, Tratamiento, Agua, Residual, Norma



## **ABSTRACT**

Pollution has become a problem of great danger to humans, the same society being the main cause of this. Within that pollution deterioration of freshwater bodies found, mainly surface effluent with whom we are in contact and can easily access, generating a great risk to our health forcing humans to seek other sources to get the vital liquid, besides the great damage done to an ecosystem; It is by this that the Ministry of Environment established standards for all wastewater provided by humans have adequate treatment, decreasing in most parts possible all pollutants that it contains, unfortunately these standards haven't been complied to this day, even when was established as maximum date January 1, 2010 for all locations treated wastewater.

One of the different towns that couldn't achieve such goal is the town of Chilchota; the main reason that has not been complied with regulations is the lack of money to build and operate a Plant Wastewater Treatment conventionally, because it is a rural community, an unconventional method is proposed to treat their wastewater, compliance with regulations and chiefly raising the quality of life of people of the town.

Pollution, treatment, water, residual, standards.



# CAPÍTULO 1

# **ANTECEDENTES**

## **1.1– PROBLEMÁTICA DEL AGUA**

El agua es el elemento presente en el planeta tierra sin el cual simplemente no podría existir la vida tal y como la conocemos, es un elemento excepcionalmente esencial para llevar a cabo nuestras labores cotidianas, este preciado recurso lo podemos encontrar en grandes cantidades en nuestro planeta, ya sea en cualquiera de sus tres formas; líquido, gaseoso o sólido, cubre  $\frac{3}{4}$  partes de la superficie terrestre, dicha agua se formó en nuestro planeta hace aproximadamente 75 millones de años y es la misma que ha existido hasta nuestros tiempos ya que se recicla y rehúsa de forma natural por medio del llamado “ciclo hidrológico”

**Imagen 1.1 – Ciclo Hidrológico del agua**



([aguascordobesas.com.ar/educacion/aula-virtual/planeta-agua/el-ciclo-del-agua](http://aguascordobesas.com.ar/educacion/aula-virtual/planeta-agua/el-ciclo-del-agua))

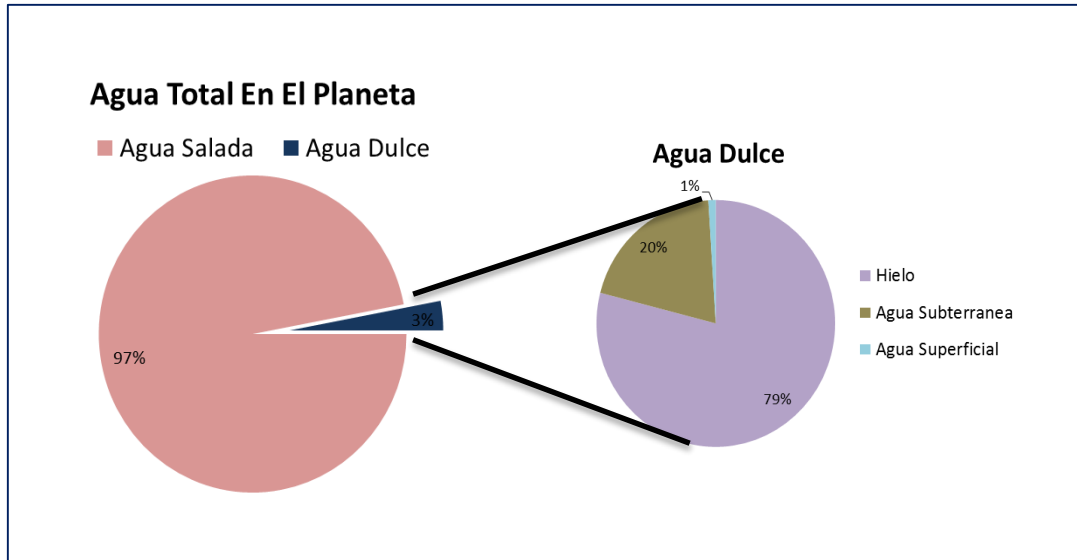
A pesar de todo esto, el ser humano se enfrenta actualmente a una problemática que se ha venido intensificando de manera alarmante en las últimas décadas, la escasez del agua, con esto al hablar de escasez no se refiere a la inexistencia del recurso hídrico, si no a la contaminación que se ha generado en el agua potable a partir de la actividad humana reduciendo la calidad de esta al grado de hacerse inutilizable.

Cuando se habla de agua potable se refiere a toda aquella agua que reúne las características que la hace apta para el consumo humano, cabe destacar que el agua potable es solo una pequeña porción de la totalidad presente en el planeta, solo el 3% del agua presente en el planeta es apta para el consumo humano y aun más, de éste 3% de



agua potable el 79% se encuentra en forma de hielo en los casquetes polares, 20% son aguas subterráneas y tan solo el 1% de esta agua dulce se encuentra de forma superficial.

**Grafica 1.1** – Porcentaje de agua en el planeta



De ahí la importancia de cuidar éste recurso ya que al ser humano se le dificulta ver con claridad la gravedad del asunto debido a que día a día estamos en contacto con el agua y se crea la falsa ilusión de que es un recurso que por su volumen existente no podemos deteriorarlo siendo esto una falsedad.

Según un informe presentado por la NASA en el presente año, se muestran las 10 ciudades más contaminadas del mundo ocupando México el 7° lugar de dicha lista encontrándose por encima de China y Japón aun cuando dichas ciudades presentan una población mucho mayor que México.

En la actualidad se tiene muy en claro que la principal causa de la contaminación en el agua es la actividad humana debido a la gran cantidad de elementos que utiliza en la fabricación de productos y en la vida cotidiana.

Algunas industrias y los contaminantes que generan son las siguientes

### INDUSTRIAS

Química y farmacéutica –

Refinerías de petróleo –

### RESIDUOS TOXICOS

Mercurio, cadmio, plomo, cromo, cianuro, plata, níquel, arsénico, cinc, cobre, organoclorados y organofosforados.

Cadmio, cromo, plomo, cianuro, bencenos, amoníaco y organoclorados.



|                               |   |                                                                                   |
|-------------------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Curtiembre                    | – | Cromo, mercurio, nitratos.                                                        |
| Textil                        | – | Cromo y arsénico.                                                                 |
| Maderera y papelera           | – | Cromo, arsénico, amoníaco, mercurio, plomo y organoclorados.                      |
| Artes Gráficas                | – | Mercurio, cadmio, plomo y cromo.                                                  |
| Fertilizantes y plaguicidas   | – | Mercurio, cadmio, plomo, arsénico, cianuro, organoclorados y organofosforados     |
| Plásticos y fibras sintéticas | – | Cadmio, plomo, cianuro y organoclorados.                                          |
| Pinturas y lacas              | – | Mercurio, cadmio, plomo, cromo, arsénico y cianuro.                               |
| Vidrios                       | – | Cadmio, plomo, cromo y arsénico.                                                  |
| Cemento, cal y yeso           | – | Cadmio, plomo, calcio, hierro y manganeso.                                        |
| Metalúrgica                   | – | Mercurio, cadmio, plomo, cobre, cromo, arsénico, cianuro, cinc, hierro y fenoles. |
| Maquinaria y equipos          | – | Mercurio, cadmio, plomo, cromo, arsénico y cianuro.                               |
| Licores y bebidas             | – | Ácidos minerales.                                                                 |
| Alimentos humanos y animales  | – | Aceites, amoníaco y nitratos.                                                     |

## 1.2 - EL AGUA RESIDUAL EN MÉXICO

Además de las industrias otro de los grandes problemas que afecta a México en relación con el recurso hídrico son las descargas de aguas negras urbanas a los cuerpos receptores como lo son ríos y arroyos, según estadísticas del INEGI México está integrado por 2,440 municipios y 16 delegaciones del Distrito Federal, de éste total solo 692 le dan algún tratamiento al agua residual, esto es solo el 28% aproximadamente, además que se calcula que el 54% de las aguas negras de nuestro país se descarga sobre ríos o arroyos

En México se tiene registros de filtraciones de agua por las personas en el siglo XVII, esto se hacía a base arena y grava principalmente, pero no fue hasta el siglo XIX que se introdujo en el país los sistemas de tratamiento de aguas, esto fue no para reducir el impacto ambiental que se tenía con las aguas contaminadas si no para las industrias que



requerían aguas más blandas con un menor contenido de sólidos disueltos y compuestos orgánicos difíciles de separar con simple filtración, además de que se empezó a tener una sobre explotación de las fuentes de abastecimiento convencionales lo cual ocasiono que se tuviera que recurrir a otras fuentes como el agua residual.

México siguió tratando el agua solo para usos industriales sin darle importancia al daño que se hacía a la sociedad por la contaminación del agua, no fue hasta el año de 1953 cuando se presentó un alarmante caso de la contaminación del sistema del agua potable de un multifamiliar que había sido puesto en servicio en la cd de México el cual causo un brote de infección intestinal aguda en los residentes del inmueble, fue hasta entonces que en año de 1956 se construye la primera planta tratadora de aguas residuales en la ciudad de México, desde entonces y según los datos más recientes del INEGI al 2011 se tienen registradas en el país 2,289 plantas de tratamiento de las cuales 45 se encuentran en Michoacán distribuidas en 21 municipios, esto significa que el estado le da en alguna medida tratamiento a sus aguas residuales solamente al 18% de los municipios, aun así se tienen contados 168 puntos de descarga de aguas residuales sin tratamiento de los cuales el 72% va directamente a los ríos o arroyos.

Cabe destacar que las plantas de tratamiento convencionales se encuentran en los municipios de mayor población y por lo tanto mayor aportación de aguas negras además de una cantidad de contaminantes más diversa, no obstante las comunidades con menos recursos y menos habitantes son las más desprotegidas dentro de éste tema ya que si bien cuentan con una red de drenaje, no les dan ningún tratamiento a sus aguas residuales por el costo que implica un planta tratadora de aguas negras, el cual la población no lo justifica, pero esto no significa que el problema no tenga un impacto ambiental y en la población, es por eso que se han desarrollado otros sistemas de tratamiento de aguas residuales para poblaciones pequeñas los cuales son llamados “sistemas no convencionales”, los cuales a diferencia de los sistemas convencionales no hacen uso de máquinas, químicos o costosos tratamientos para depurar el agua, se valen de la naturaleza ya que gracias a que en las poblaciones pequeñas no se tiene gran diversidad de contaminantes como lo pueden ser las sustancias químicas, es posible hacer una limpieza haciéndose valer de simples microorganismos reduciendo así en gran medida el costo de operación y construcción lo que los hacen una opción muy viable para las poblaciones de bajos recursos.



# CAPÍTULO 2



# **CARACTERÍSTICAS DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS**

## **2.1 – CARACTERÍSTICA PROMEDIO DEL AGUA RESIDUAL SEGÚN NOM-001-ECOL-96**

La norma que regula y establece las características así como los límites máximos permisibles de contaminantes que puede contener una descarga de aguas residuales en aguas y bienes nacionales es la NOM-001-ECOL-96, esto a fin de proteger la calidad y aprovechar sus usos del cuerpo receptor lo cual es una obligación de los responsables de dichas descargas cuidar que se encuentren al margen de lo estipulado.

Dicha norma estipula como contaminantes a las grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables y los sólidos suspendidos totales, además regula los límites máximos permisibles para la demanda bioquímica de oxígeno<sup>5</sup>, el nitrógeno total, el fósforo total, la temperatura y pH, incluso toma en cuenta a los contaminantes patógenos y parasitarios siendo estos definidos por la misma norma como “microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna”, siendo los microorganismos regulados por la norma a los coliformes fecales y los huevos de helminto.

Todos estos parámetros se muestran en las siguientes tablas



Tabla #2.1 (Tabla tomada de la NOM-001-ECOL-96, Capítulo 4, tabla 2)

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

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



Tabla 2.2 (Tabla tomada de la NOM-001-ECOL-96, Capítulo 4, tabla 3)

| LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS |                              |      |                           |      |                                         |      |                                      |      |                           |      |                                                            |      |                   |      |                  |      |       |      |                               |      |  |  |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------|------|---------------------------|------|-----------------------------------------|------|--------------------------------------|------|---------------------------|------|------------------------------------------------------------|------|-------------------|------|------------------|------|-------|------|-------------------------------|------|--|--|
| PARÁMETROS<br>(*)<br><br>(miligramos por<br>litro)          | RÍOS                         |      |                           |      |                                         |      | EMBALSES NATURALES Y<br>ARTIFICIALES |      |                           |      | AGUAS COSTERAS                                             |      |                   |      |                  |      | SUELO |      | HUMEDALES<br>NATURALES<br>(B) |      |  |  |
|                                                             | Uso en riego<br>agrícola (A) |      | Uso público<br>urbano (B) |      | Protec-<br>ción de vida<br>acuática (C) |      | Uso en riego<br>agrícola (B)         |      | Uso público<br>urbano (C) |      | Explotación<br>pesquera,<br>navegación y<br>otros usos (A) |      | Recreación<br>(B) |      | ESTUARIOS<br>(B) |      |       |      |                               |      |  |  |
|                                                             | P.M.                         | P.D  | P.M                       | P. D | P.M                                     | P.D  | P.M                                  | P.D  | P.M                       | P.D  | P.M                                                        | P.D  | P.M               | P.D  | P.M              | P.D  | P.M   | P.D  | P.M                           | P.D  |  |  |
| Arsénico                                                    | 0.2                          | 0.4  | 0.1                       | 0.2  | 0.1                                     | 0.2  | 0.2                                  | 0.4  | 0.1                       | 0.2. | 0.1                                                        | 0.2  | 0.2               | 0.4  | 0.1              | 0.2  | 0.2   | 0.4  | 0.1                           | 0.2  |  |  |
| Cadmio                                                      | 0.2                          | 0.4  | 0.1                       | 0.2  | 0.1                                     | 0.2  | 0.2                                  | 0.4  | 0.1                       | 0.2  | 0.1                                                        | 0.2  | 0.2               | 0.4  | 0.1              | 0.2  | 0.05  | 0.1  | 0.1                           | 0.2  |  |  |
| Cianuros                                                    | 1.0                          | 3.0  | 1.0                       | 2.0  | 1.0                                     | 2.0  | 2.0                                  | 3.0  | 1.0                       | 2.0  | 1.0                                                        | 2.0  | 2.0               | 3.0  | 1.0              | 2.0  | 2.0   | 3.0  | 1.0                           | 2.0  |  |  |
| Cobre                                                       | 4.0                          | 6.0  | 4.0                       | 6.0  | 4.0                                     | 6.0  | 4.0                                  | 6.0  | 4                         | 6.0  | 4                                                          | 6.0  | 4.0               | 6.0  | 4.0              | 6.0  | 4     | 6.0  | 4.0                           | 6.0  |  |  |
| Cromo                                                       | 1                            | 1.5  | 0.5                       | 1.0  | 0.5                                     | 1.0  | 1                                    | 1.5  | 0.5                       | 1.0  | 0.5                                                        | 1.0  | 1                 | 1.5  | 0.5              | 1.0  | 0.5   | 1.0  | 0.5                           | 1.0  |  |  |
| Mercurio                                                    | 0.01                         | 0.02 | 0.005                     | 0.01 | 0.005                                   | 0.01 | 0.01                                 | 0.02 | 0.005                     | 0.01 | 0.01                                                       | 0.02 | 0.01              | 0.02 | 0.01             | 0.02 | 0.005 | 0.01 | 0.005                         | 0.01 |  |  |
| Níquel                                                      | 2                            | 4    | 2                         | 4    | 2                                       | 4    | 2                                    | 4    | 2                         | 4    | 2                                                          | 4    | 2                 | 4    | 2                | 4    | 2     | 4    | 2                             | 4    |  |  |
| Plomo                                                       | 0.5                          | 1    | 0.2                       | 0.4  | 0.2                                     | 0.4  | 0.5                                  | 1    | 0.2                       | 0.4  | 0.2                                                        | 0.4  | 0.5               | 1    | 0.2              | 0.4  | 5     | 10   | 0.2                           | 0.4  |  |  |
| Zinc                                                        | 10                           | 20   | 10                        | 20   | 10                                      | 20   | 10                                   | 20   | 10                        | 20   | 10                                                         | 20   | 10                | 20   | 10               | 20   | 10    | 20   | 10                            | 20   |  |  |

(\*) Medidos de manera total. P.D. = Promedio Diario P.M. = Promedio Mensual N.A. = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.



### 2.1.1 – PARÁMETROS ANALIZADOS.

Cada uno de estos parámetros es analizado debido al daño que puede ocasionar a los seres humanos así como a la flora y fauna, dichos conceptos están definidos en relación al tratamiento de aguas negras en el libro Tratamiento y depuración de las aguas residuales de los autores “Leonard Metcalf y Harrison P. Eddy”, en el capítulo 7 “Características de las aguas residuales”, en el cual además de definir los conceptos se explica la razón del por qué figuran en el análisis de las aguas residuales de la siguiente forma:

**Temperatura:** La temperatura del agua residual es generalmente más alta que la del suministro, debido a la adición de agua caliente procedente de las casas y de actividades industriales. Como el calor específico del agua es mucho mayor que el aire, las temperaturas de las aguas residuales observadas son más altas que las temperaturas locales del aire durante la mayor parte del año y sólo son más bajas durante los meses más cálidos del verano.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas, velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua a usos útiles. Una temperatura más elevada puede, por ejemplo, producir un cambio en las especies piscícolas que existen en el agua.

**Grasa y Aceites:** El termino grasa, normalmente utilizado, incluye las grasas animales, aceites, ceras, aceites lubricantes derivados del petróleo y alquitrán, así como otros constituyentes que se hallan en el agua residual, las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por las bacterias. Estas grasas y aceites llegan a las alcantarillas en grandes volúmenes procedentes de tiendas, garajes y calles, en su mayoría flotan sobre el agua residual recubriendo la superficie, aunque una parte de ellos es llevada al fango por los sólidos sedimentables, el contenido de grasas y aceites en el agua residual puede motivar muchos problemas tanto en las alcantarillas como en las plantas de tratamiento. Si la grasa no se elimina antes del vertido del agua residual, puede interferir con la vida biológica en las aguas y crear películas y materias en flotación imperceptibles.

**Materia Flotante:** Es todo aquel material que queda retenido en una malla de entre 2.8 mm y 3.3 mm de abertura.

**Sólidos Sedimentables:** Estos sólidos son aquellos que se depositan en el fondo de un recipiente en forma de cono durante un período de 60 minutos, son las partículas suspendidas más pesadas que se separan del resto por acción de la gravedad como pueden ser las arenas, los sólidos sedimentables son una medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminara mediante sedimentación



**Sólidos Suspendidos Totales:** Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable se define como toda la materia que queda como residuo de evaporación a 103-105 °C, la materia que tenga una presión de vapor significativa a dicha temperatura se elimina durante la evaporación y no se define como sólido.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno<sub>5</sub>:** Es el parámetro de polución orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales, el cual tiene un tiempo de elaboración de 5 días (DBO<sub>5</sub>). Supone esta determinación la medida de oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de materia orgánica. La medida de la DBO es importante en el tratamiento de las aguas residuales debido a que con esta se determina la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.

**Nitrógeno Total:** Se refiere a la cantidad de nitrógeno que contiene el agua a tratar, dicho nitrógeno es esencial para el crecimiento de protistas y plantas ya es uno de los principales elementos nutritivos. Puesto que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de las proteínas, se necesitara conocer datos sobre el mismo para valorar la tratabilidad de las aguas residuales domésticas e industriales mediante procesos biológicos. Cuando en contenido de nitrógeno sea insuficiente se necesitara la adición del mismo para hacer tratable el agua residual, de igual forma, cuando sea necesario el control de los crecimientos de algas en el agua receptora para proteger los usos a que se destina, puede ser conveniente la eliminación o reducción del nitrógeno en las aguas residuales antes de la evacuación para evitar el crecimiento de las mismas.

**Fósforo Total:** Se refiere a la cantidad de fósforo presente en el agua, ya que de igual manera que el nitrógeno, el fósforo también es esencial para el crecimiento de las algas y otros organismos biológicos. Debido a los crecimientos explosivos nocivos que tiene lugar en las aguas superficiales, existe mucho interés en la actualidad en controlar la cantidad de los compuestos de fósforo que entran en las aguas superficiales a través de los vertidos de aguas residuales industriales y domésticas y de las escorrentías naturales.

**Cobre, Arsénico, Cromo:** Estos elementos están clasificados como compuestos tóxicos, los cuales por su toxicidad, ciertos cationes son de gran importancia en el tratamiento y vertido de las aguas residuales, el cobre, cromo y arsénico son tóxicos en distintos grados para los microorganismos y, por tanto, deben tenerse en consideración al proyectar una planta de tratamiento biológico ya que muchas plantas se han visto perturbadas por la introducción de estos iones hasta el extremo de que los microorganismos murieron y el tratamiento se detuvo.

**Níquel, Plomo, Cadmio, Zinc, Hierro, Mercurio:** Todos estos elementos están considerados como metales pesados, los cuales son importantes constituyentes de muchas aguas. Algunos de estos metales son necesarios para el desarrollo de la vida biológica y su ausencia en cantidades suficientes podría limitar el crecimiento de las algas.



La presencia de cualesquiera de estos metales en cantidades excesivas interferirá con muchos usos provechosos del agua dada su toxicidad; por tanto, conviene casi siempre medir y controlar las concentraciones de dichos metales.

Todos estos parámetros no deben de exceder sus límites indicados, así lo estipula en sus especificaciones la NOM-001-ECOL-96 en su artículo 4.1, además de indicar de igual forma el límite permisible para el PH de la siguiente forma.

“La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible en las Tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana. El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.”

Siendo el PH definido por “Leonard Metcalf y Harrison P. Eddy” en su libro Tratamiento y depuración de las aguas residuales como la concentración de iones de hidrógeno, el cual es un parámetro importante de calidad tanto en las aguas naturales como en las residuales. El intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico. El agua residual con una concentración adversa de ion de hidrógeno es difícil tratar por medios biológicos y si la concentración no se altera antes de la evacuación, el afluente puede alterar la concentración de las aguas naturales.

Además de todos estos elementos la NOM-001-ECOL-96 también toma en cuenta a los agentes patógenos como lo son los microorganismos que pudieran estar presentes en el agua, estas especificaciones vienen en los artículos 4.2 y 4.3 de la misma norma, dichos artículos vienen estipulados de la siguiente forma.

“Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente.”

Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego restringido, y de cinco huevos por litro para riego no restringido.

Los huevos de helminto son mencionados por la misma norma en su anexo en el cual los define como el “término designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, con formas y tamaños variados. Para la determinación de huevos de helminto se deberán aplicar las técnicas de análisis y muestreo que se presentan en el Anexo 1 de esta Norma Oficial Mexicana.”



De igual forma encontramos la definición de los coliformes fecales en el libro Tratamiento y depuración de las aguas residuales por Metal y Eddy, los cuales definen su capítulo 7.4.2 Organismos coliformes, donde se describe a los coliformes como bacterias provenientes de la heces fecales, ya que el tracto intestinal del hombre contiene innumerables bacterias en forma de bastoncillos conocidas como organismos coliformes. Cada persona evacua de 100,000 a 400,000 millones de organismos coliformes por día, además de otras clases de bacterias. Los organismos coliformes no son dañinos para el hombre y, de hecho, son útiles para destruir la materia orgánica de los procesos biológicos de tratamiento de las aguas residuales. El problema reside en que los organismos patógenos que son evacuados por los seres humanos que se ven afectados con alguna enfermedad o que son portadores de una enfermedad particular. Los organismos patógenos que normalmente pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del sistema gastrointestinal, tales como la fiebre tifoidea, diarrea y, en ciertas partes del mundo, el cólera. He ahí el por qué la importancia de conocer éste parámetro en las aguas residuales.

Además de todos los parámetros que se deben controlar en las aguas residuales, la norma también reglamente un monitoreo con el cual se analizara si el agua cumple con todos los requisitos antes mencionados, dicho monitoreo se menciona en el capítulo 4 de la NOM-001-ECOL-96 en sus siguientes artículos.

Artículo 4.8- El responsable de la descarga queda obligado a realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes se indican en la Tabla 8 para descargas de tipo municipal y en la Tabla 9 para descargas no municipales. En situaciones que justifiquen un mayor control, como protección de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, la Comisión Nacional del Agua podrá modificar la periodicidad de análisis y reportes. Los registros del monitoreo deberán mantenerse para su consulta por un periodo de tres años posteriores a su realización.

Tabla 2.3 (Tabla tomada de la NOM-001-ECOL-96, Capítulo 4, tabla 8)

| RANGO DE POBLACION            | FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANALISIS | FRECUENCIA DE REPORTE |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| mayor de 50,000 habitantes    | UNO MENSUAL                       | UNO TRIMESTRAL        |
| De 20,001 a 50,000 habitantes | UNO TRIMESTRAL                    | UNO SEMESTRAL         |
| De 2,501 a 20,000 habitantes  | UNO SEMESTRAL                     | UNO ANUAL             |

Tabla 2.4 (Tabla tomada de la NOM-001-ECOL-96, Capítulo 4, tabla 9)



| DEMANDA BIOQUIMICA DE<br>OXIGENO <sub>5</sub> t/d<br>(toneladas/día) | SOLIDOS SUSPENDIDOS<br>TOTALES t/d<br>(toneladas/día) | FRECUENCIA DE<br>MUESTREO Y<br>ANÁLISIS | FRECUENCIA DE<br>REPORTE |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| mayor de 3.0                                                         | mayor de 3.0                                          | UNO MENSUAL                             | UNO<br>TRIMESTRAL        |
| de 1.2 a 3.0                                                         | de 1.2 a 3.0                                          | UNO<br>TRIMESTRAL                       | UNO SEMESTRAL            |
| menor de 1.2                                                         | menor de 1.2                                          | UNO SEMESTRAL                           | UNO ANUAL                |

Así mismo la norma estipula en qué casos se puede exentar dicho monitoreo, esto se especifica en el artículo 4.9 de la misma norma.

Artículo 4.9 - El responsable de la descarga estará exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en la presente Norma Oficial Mexicana, cuando demuestre que, por las características del proceso productivo o el uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la Comisión Nacional del Agua, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el usuario. En caso de falsedad, el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales aplicables.

Las aguas pluviales también figuran en las normas ya que con ellas se altera las condiciones promedio de las descargas de aguas residuales por lo cual también se toma en cuenta que hacer en casos de que los límites permisibles sean rebasados, todo esto se menciona en los siguientes artículos de la misma norma.

Artículo 4.11 - Cuando se presenten aguas pluviales en los sistemas de drenaje y alcantarillado combinado, el responsable de la descarga tiene la obligación de operar su planta de tratamiento y cumplir con los límites máximos permisibles de esta Norma Oficial Mexicana, o en su caso con sus condiciones particulares de descarga, y podrá a través de una obra de desvío derivar el caudal excedente. El responsable de la descarga tiene la obligación de reportar a la Comisión Nacional del Agua el caudal derivado.

Artículo 4.12 - El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implementar un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga, y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma, deberá solicitar ante la Comisión Nacional del Agua se analice su caso particular, a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga.

Finalmente para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deberán aplicar los métodos de prueba indicados por la misma Norma Oficial



Mexicana. El responsable de la descarga podrá solicitar a la Comisión Nacional del Agua, la aprobación de métodos de prueba alternos. En caso de aprobarse, dichos métodos podrán ser autorizados a otros responsables de descarga en situaciones similares.

La Comisión Nacional del Agua llevará a cabo muestreos y análisis de las descargas de aguas residuales, de manera periódica o aleatoria, con objeto de verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos para los parámetros señalados en la presente Norma Oficial Mexicana.

No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter interno que existen en otros países no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma Oficial Mexicana se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

Cabe mencionar que la NOM-001-ECOL-96 en sus artículos estipula la fecha límite para hacer validos todos los requerimientos que deben tener las descargas de aguas residuales, esto en base al número de habitantes con los que la población cuente, el artículo correspondiente a éste aspecto es el 45 de la mencionada Norma Oficial Mexicana la cual a la letra dice:

“4.5. Los responsables de las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales deben cumplir con la presente Norma Oficial Mexicana de acuerdo con lo siguiente:

a) Las descargas municipales tendrán como límite las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 4. El cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los rangos de población. El número de habitantes corresponde al determinado en el XI Censo Nacional de Población y Vivienda, correspondiente a 1990, publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.”

Tabla 2.5 (Tabla tomada de la NOM-001-ECOL-96, Capítulo 4, **tabla 4**)

| DESCARGAS MUNICIPALES              |                               |
|------------------------------------|-------------------------------|
| FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE: | RANGO DE POBLACION:           |
| 1 de enero de 2000                 | mayor de 50,000 habitantes    |
| 1 de enero de 2005                 | de 20,001 a 50,000 habitantes |
| 1 de enero de 2010                 | de 2,501 a 20,000 habitantes  |

“b) Las descargas no municipales tendrán como plazo límite hasta las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5. El cumplimiento es gradual y progresivo, dependiendo de la mayor carga contaminante, expresada como demanda bioquímica de oxígeno5 (DBO5) o sólidos sus pendidos totales (SST), según las cargas del agua residual,



manifestadas en la solicitud de permiso de descarga, presentada a la Comisión Nacional del Agua.”

Tabla 2.6 (Tabla tomada de la NOM-001-ECOL-96, Capítulo 4, **tabla 5**)

| DESCARGAS NO MUNICIPALES           |                                                   |                                                 |
|------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE: | CARGA CONTAMINANTE                                |                                                 |
|                                    | DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO t/d (toneladas/día) | SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día) |
| 1 enero 2000                       | mayor de 3.0                                      | mayor de 3.0                                    |
| 1 enero 2005                       | de 1.2 a 3.0                                      | de 1.2 a 3.0                                    |
| 1 enero 2010                       | menor de 1.2                                      | menor de 1.2                                    |

En la comunidad de Chilchota del Estado de Michoacán, según datos obtenidos del INEGI, en el conteo de población y vivienda realizado en el 2005, se arroja que la población total del centro de población es de 12,899 personas, en base a éstos datos se concluye que la comunidad estudiada recae en la 3ra clasificación de la norma, la cual indica que en un rango de 2,501 a 20,000 habitantes se tendría como fecha límite para cumplir con la Norma hasta el 1 de enero del 2010, lo cual a la fecha de Julio del 2014 aún no se ha cumplido, de ahí la importancia de elaborar un plan para tratar las aguas residuales de la comunidad ya que se encuentran trabajando fuera de la ley y omitiendo el hecho de que podría ser penado el municipio, y no por esto es un aspecto que se debe menospreciar; el verdadero peligro recae en los habitantes de la población ya que son ellos los que conviven día a día con todos éstos contaminantes que no son eliminados y las consecuencias a futuro pueden ser graves, esto sin mencionar algo de igual importancia que es la deterioración de la naturaleza en su flora y fauna, lo cual al alterarse repercute en todos los aspectos de la comunidad.



# CAPÍTULO 3



# **TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

## **3.1 - TRENES DE TRATAMIENTO**

Como se ha venido explicando el Tratamiento de Aguas Residuales (TAR), es la definición que se le da al conjunto de operaciones y metodologías que se necesitan realizar para que una descarga de aguas negras pueda ser reingresada a un cuerpo receptor o, en su caso, sea reutilizada para diferentes actividades en las que cumpla con las adecuadas especificaciones. Durante el proceso que se realiza al tratar las aguas residuales se presenta una gran diversidad de problemáticas, es por eso que el TAR exige la participación de diferentes disciplinas para poder llevarlo a cabo de una manera eficaz y eficiente, siempre buscando cumplir con las especificaciones marcadas por la normatividad así como lograr el menor costo posible.

Todas estas actividades tienen que ser realizadas en instalaciones especializadas para cada una, las cuales al conjunto de ellas se les conocen como Trenes de Tratamiento, ya que son operación y/o procesos, uno tras otro, hasta alcanzar la calidad deseada de agua.

El hablar de operaciones y procesos por separado, se debe que a pesar de ser actividades que buscan el mismo fin de tratar las aguas negras, es una actividad diferente la que se realiza con cada una, es por eso que también se les conoce como operaciones o procesos unitarios, ya que se analizan cada uno por separado.

### **3.1.1 - OPERACIONES FÍSICAS UNITARIAS**

Las operaciones unitarias se les puede identificar de igual forma como *Operaciones Físicas Unitarias* ya que se trata de un tratamiento en donde predominan la aplicación de fuerza física en su realización, con esto se refiere al desbaste, tamizado, mezclado, sedimentación, flotación, floculación y filtrado, las cuales son las operaciones físicas más comunes en el TAR y se definen como:

**Desbaste:** El desbaste es uno de los primeros pasos a realizar en el tratamiento de aguas residuales, consiste básicamente en separar toda la materia gruesa o de gran volumen que pudiera contener las aguas residuales y afectar los posteriores procesos, así que se separa del afluente y se evacua.

La separación de toda la materia gruesa se hace en la mayoría de los casos con rejas de barras, las cuales aunque sea un concepto muy simple pueden variar de diferentes formas, ya sea por su inclinación; Vertical, Inclinada, las cuales a su vez pueden ser de limpieza Manual o Automática.

El *desbastador vertical de limpieza manual* es una reja formada de barrotes metálicos los cuales obstruyen el paso a materia de gran tamaño, su ventaja es lo económico que resulta ya que no cuentan con ningún mecanismo de auto limpieza, aunque es esto mismo su inconveniente ya que requiere de un trabajador para retirar toda la materia acumulada deteniendo en algunos casos el flujo para llevarlo a cabo.

**Imagen 3.1-** Reja Vertical de Limpieza Manual



(directindustry.com/prod/passavant-geiger/coarse-screens-wastewater-

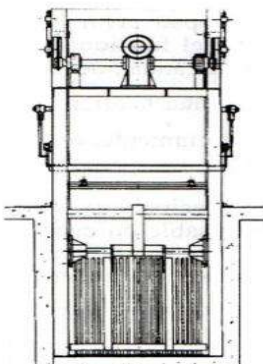
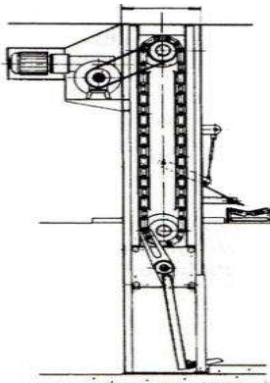
**Imagen 3.2** - Reja Vertical de Limpieza Manual en operación



(usuarios.arsystel.com/raulh/edar\_pinedo/thumb/1103-1-0.html)

El *desbastador vertical de limpieza automática* es el mismo concepto que las rejillas verticales con la diferencia de contar con un mecanismo de limpieza automática, la cual consta de un rastrillo el cual se mueve hacia arriba y abajo retirando la materia atascada en las rejillas por medio de una cadena la cual se mueve gracias a un motor.

**Imagen 3.3** - Reja Vertical de Limpieza Automática



(ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6017/mod\_resource/content/1/Tema\_05\_DESBASTE\_Y\_TAMIZADO.pdf)

**Imagen 3.4** - Reja Inclinada de Limpieza Manual



(ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6017/mod\_resource/content/1/Tema\_05\_DESBASTE\_Y\_TAMIZADO.pdf)

El *desbastador inclinado de limpieza manual* es una rejilla de barrotes la cual se coloca frente al flujo con cierta inclinación para que retenga sólidos de gran tamaño los cuales pueden ser retirados fácilmente con un rastrillo y depositados en un contenedor sin la necesidad de parar el flujo gracias a su inclinación.

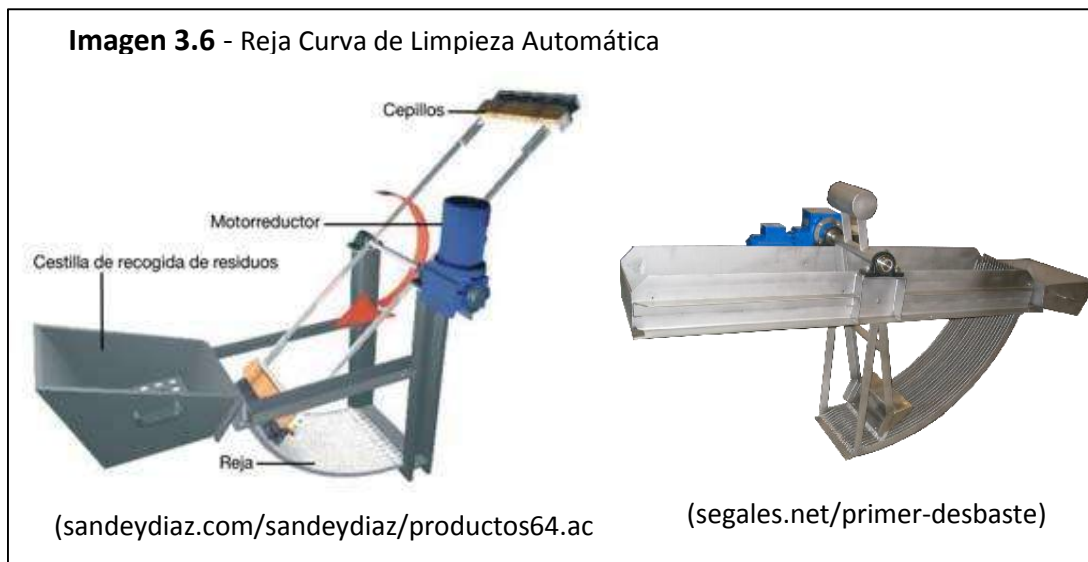
**Imagen 3.5** - Reia Inclinada de Limpieza



(ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6017/mod\_resource/content/1/Tema\_05\_DESBASTE Y TAMIZADO.pdf)

*Desbastador Inclinado de Limpieza Automática*, es una rejilla inclinada dentro del canal de flujo, dicha inclinación facilita retirar la basura retenida con un rastrillo impulsado mecánicamente el cual deposita directamente los residuos en un contenedor para su posterior evacuación.

O bien pueden ser *rejas curvas*, estas caen en el grupo de las rejas de limpieza automática, ya que dicho sistema cuenta con uno o varios peines situados en un brazo que gira entorno de la curvatura de la reja ejecutando así su limpieza y colocando la materia gruesa en una canastilla



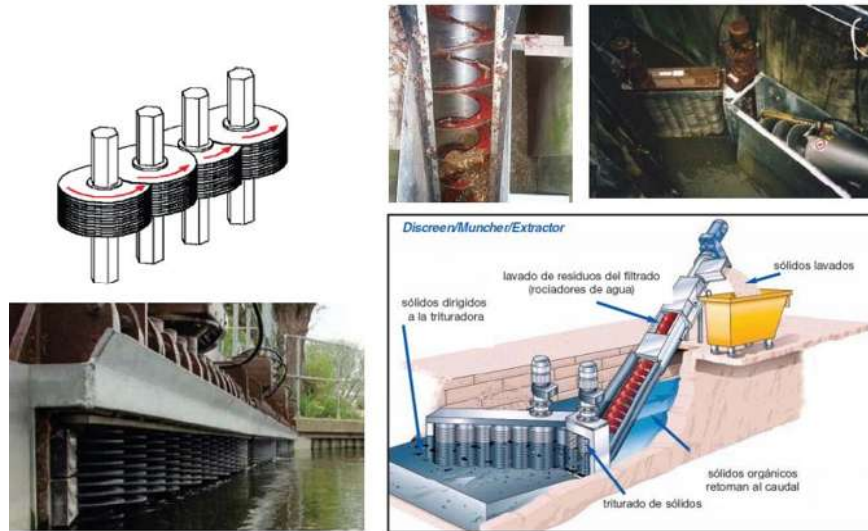
Todos éstos tipos de rejas ya sean verticales, inclinadas o curvas varían además de su limpieza manual o automática, de la separación entre sus barras las cuales se clasifican en:

- Finas con separación menor a 1.5 cm
- Medias con separación entre 1.5 y 5 cm
- Gruesas con separación entre 5 y 15 cm

Además de estos diferentes tipos de rejas, otra forma en la que se puede desbastar un agua residual es a base de *rejillas de discos*, es básicamente el mismo concepto de las barras solo que en lugar de barras se utilizan unos discos que forman una malla, los cuales giran evitando así la obstrucción del paso del agua ya que envían la materia gruesa a otro punto donde generalmente se coloca un triturador de sólidos, los cuales después de ser triturados son extraídos por medio de un tornillo de Arquímedes que retira toda ésta materia convirtiéndose así un desbastador de limpieza automática ya que no necesita de la intervención de un trabajador para extraer los sólidos. Este sistema cuenta además con otra gran ventaja, ya que a diferencia de otros métodos de limpieza automática, el hecho

de girar los discos elimina las pérdidas de energía del fluido que se generan con otros sistemas al chocar con las barras.

**Imagen 3.7 – Rejillas de Discos**



(ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6017/mod\_resource/content/1/Tema\_05\_D  
ESBASTE\_Y\_TAMIZADO.pdf)

**Tamizado:** El tamizado sigue el mismo concepto que el desbaste con la diferencia de que los sólidos a eliminar son de menor tamaño ya que el espacio libre entre un tamiz es del orden de milímetros, es por eso que si el agua a tratar no cuenta con materia gruesa de gran tamaño o en mucha cantidad podría inclusive colocarse el tamizado directamente sin la necesidad del desbaste, en caso contrario es necesario eliminar primeramente la materia más gruesa con las rejas para que no ocurran problemas de bloqueo en la malla del tamiz. Una de las ventajas de dicho sistema es que además de eliminar sólidos, también puede retener arenas gruesas y hasta un 30% de grasas del afluente.

De la misma forma que las rejas del desbaste, las rejillas del tamiz se pueden diferenciar según la separación entre sus barras como macrotamizado y microtamizado.

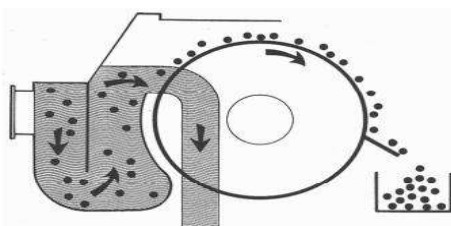
El *Macrotamizado* cuenta con una abertura mayor de 0.2 mm el cual se construye ya sea con una rejilla metálica o chapa perforada.

El *Microtamizado* tiene una abertura o pase menor a 100 micras o 0.1 mm, ésta construida a base de tela metálica o plástica con la cual retiene materia muy pequeña de las aguas residuales, debido a sus aberturas tan pequeñas su utilización es solo en casos especiales como lo son las aguas residuales provenientes de industrias.

O bien, en base a su forma de operar, ya sean giratorios, con superficies móviles o estáticos.

Los *tamices giratorios o rotativos* consisten en un tambor el cual puede estar en posición paralela al piso o con inclinación, su forma de operar es diferente dependiendo de su posición. El tamiz giratorio en posición horizontal esta hecho de una malla fina que gira gracias a un motor, el agua residual es distribuida uniformemente a lo largo de la superficie de dicho tambor por medio de un canal, de ésta manera el líquido pasa a través de los orificios de la malla y atraviesa el tambor separándose así de sus sólidos los cuales son arrastrados por medio del movimiento giratorio expulsados con una cuchilla a un contenedor fuera del canal evitando así obstrucciones en la malla así como pérdidas de energía del afluente muy bajas. Este sistema es muy eficaz en las aguas provenientes de las industrias con grandes caudales así como de la población civil.

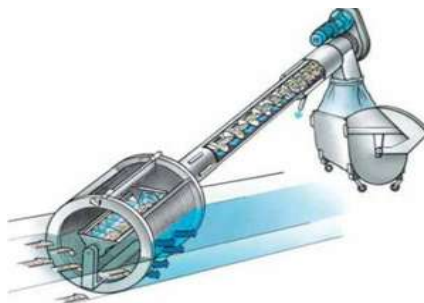
**Imagen 3.8 – Tamiz Giratorio**



(ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6017/mod\_resource/content/1/Tema\_05\_DESBASTE\_Y\_TAMIZADO.pdf)

El *tamiz rotativo inclinado* opera de una forma algo diferente, en éste caso el fluido entra dentro del tambor el cual va girando gradualmente reteniendo toda la materia que sea mayor a sus aberturas y llevándolas a la parte superior del mismo la cuales al llegar ahí caen por peso propio a una tolva colocada dentro del mismo tambor de donde es retirada por medio de un tornillo sin fin o transportador de tornillo a un contenedor fuera del canal, el material que queda atascado en la malla del tambor puede ser retirado por medio de una aspa que gira en torno de sus paredes internas o bien por medio de chorros de agua a presión que son arrojados a la malla desde fuera en la parte posterior de ésta.

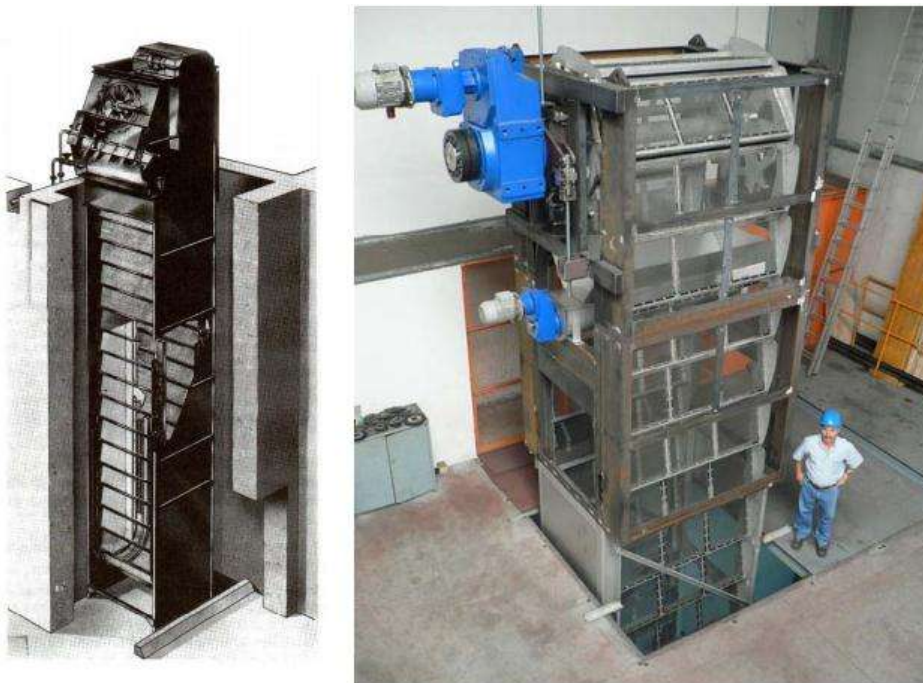
**Imagen 3.9 – Tamiz Rotatorio Inclinado**



(cursosmedioambiente.es/imagenes/t

Los tamices con *superficies móviles* o *tamices deslizantes* están formados por una estructura vertical por la cual se desliza continuamente una malla o rejilla con la cual es retenida toda la materia con tamaño mayor al de las aberturas, ésta es recolectada por varias canastillas que se encuentran colocadas en posición horizontal unidas a lo largo de toda la malla o rejilla las cuales la transportan hasta dar vuelta a la estructura por la parte superior en donde los residuos son expulsados a un contenedor por fuerza de gravedad o un chorro de agua a presión para evitar obstrucciones.

**Imagen 3.10 – Tamiz Deslizante o de Superficie Móvil**

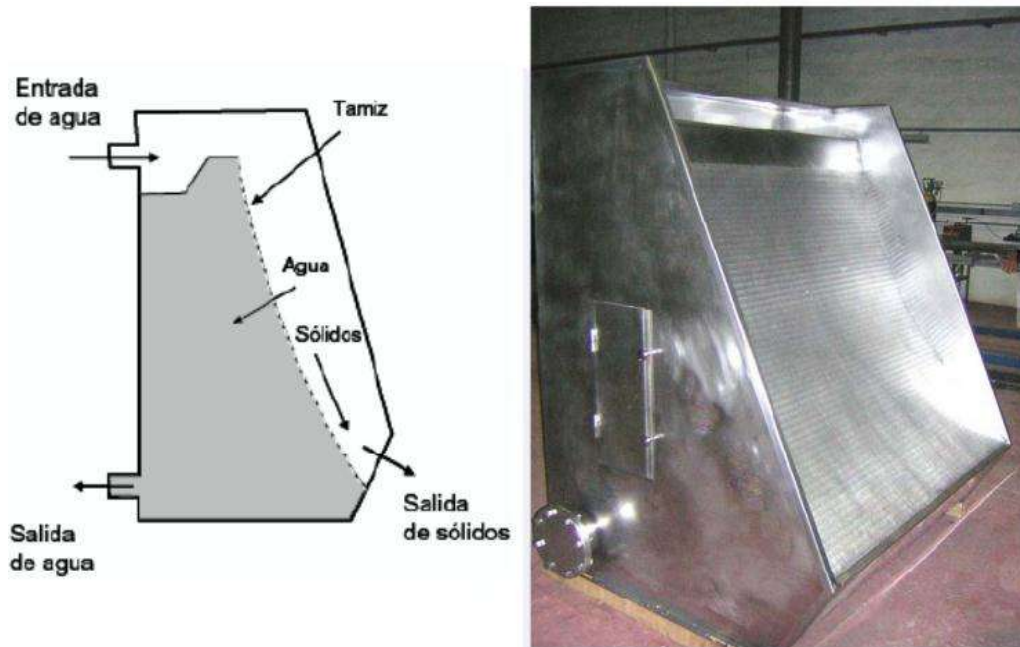


(ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6017/mod\_resource/content/1/Tema\_05\_DE  
SBASTE\_Y\_TAMIZADO.pdf)

Por último tenemos a los *tamices estáticos* o *fijos*, este tipo de tamiz es de fácil instalación y mantenimiento, consiste en una reja hecha de acero la cual presenta una inclinación respecto a su horizontal que va cambiando gradualmente yendo de los  $65^\circ$  en la parte superior hasta llegar a los  $45^\circ$  en la parte inferior. Su forma de operar es muy sencilla, el agua residual se distribuye en la parte superior de la malla y se deja caer sobre ésta quedando así retenida la materia que pueda contener el afluente, gracias al cambio gradual de inclinación, la materia retenida se va aglomerando y cayendo por peso propio

al fondo de la malla al mismo tiempo que se auto limpia por el agua que por ella va escurriendo, sacándola así del canal toda la materia posible.

**Imagen 3.10 – Tamiz Deslizante o de Superficie Móvil**



(ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6017/mod\_resource/content/1/Tema\_05\_DESBASTE\_Y\_TAMIZA

**Mezclado:** El mezclado de las aguas residuales es una operación unitaria muy sencilla pero de vital importancia en varias etapas del tratamiento de las aguas negras, se utiliza para que las diferentes sustancias se combinen e incorporen entre si según sea el requerimiento, ya sea bien para adicionar algún gas o químico al flujo de aguas residuales o a los fangos producidos, como para que se entremezclen entre ellos mismos y lograr homogenizarse. Existe el mezclado rápido y continuo el cual se logra por turbulencia en un lapso corto de tiempo que consta de un agitado de menos de 30 segundos, éste se logra por medio de saltos hidráulicos, tubos venturi, bombeo, y mezcladores estáticos o mecánicos.

Además de éste existen procesos que necesitan un mezclado lento, llamado mezclado continuo el cual se realiza en contenedores y se agita el fluido a una menor velocidad ya sea por medio de un mezclador estático o mecánico, una bomba o bien con mecanismos neumáticos los cuales son a base de inyectar gas en el fluido.

**Sedimentación:** Como es bien sabido las aguas residuales contiene una gran cantidad de partículas o sólidos en suspensión las cuales pueden ser separadas de estas dejándolas



caer al fondo del canal o contenedor de donde pueden ser extraídas y retiradas posteriormente lo cual se logra por efecto de la gravedad ya que las partículas caen por peso propio, a este efecto se le llama sedimentación o decantación y se logra gracias a que dichas partículas poseen un peso específico mayor al del líquido que las contiene como en el caso de las arenas, aunque existen sus excepciones en las que las partículas no tienen el peso requerido para caer al fondo del agua y quedan suspendidas en ésta por lo cual es necesario llevar a cabo otros procesos para que dichas partículas se unan entre si y obtengan un mayor peso que las haga caer al fondo.

Existen cuatro tipos de sedimentación según su concentración y a la forma de interactuar entre si las partículas, se tiene la sedimentación Discreta, Floculenta, Retardada (zonal) y de Compresión, cada una de estos tipos es diferente aun que pueden producirse más de uno o inclusive todos los casos simultáneamente.

Cada uno de estos tipos de sedimentación se describen en el libro “Ingeniería Sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales” de Metcalf y Eddy, inc. De la siguiente manera:

**Tabla 3.1** Tipos de sedimentación en el tratamiento del agua residuales

| Tipo de Sedimentación               | Descripción                                                                                                                                                                                                           | Aplicación/Ocurrencia                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| De partículas discretas<br>(Tipo 1) | Se refiere a la sedimentación de partículas en una suspensión con baja concentración de sólidos. Las partículas sedimentan como entidades individuales y no existe interacción sustancial con las partículas vecinas. | Elimina las arenas del agua residual.                                                                                                                                                                                                          |
| Floculenta<br>(Tipo 2)              | Se refiere a una suspensión bastante diluida de partículas que se juntan, o floculan, durante el proceso de sedimentación. Al unirse, las partículas aumentan de masa y sedimentan a mayor velocidad.                 | Elimina una parte de los sólidos en suspensión del agua residual bruta en los tanques de sedimentación primaria, y en la zona superior de los decantadores secundarios. También elimina los flóculos químicos de los tanques de sedimentación. |
| Retardada, también                  | Se refiere a suspensiones de concentración intermedia, en las que las fuerzas entre partículas son suficientes para entorpecer la sedimentación de las                                                                | Se presenta en los tanques de sedimentación secundaria utilizados en las instalaciones de tratamiento biológico.                                                                                                                               |



|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| llamada Zonal<br>(Tipo 3) | partículas vecinas. Las partículas tienden a permanecer en posiciones relativas fijas, y la masa de partículas sedimenta como una unidad. Se desarrolla una interfase sólido-líquido en la parte superior de la masa que sedimenta.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Compresión (Tipo 4)       | <div>Se refiere a la sedimentación en la cual las partículas están concentradas de tal manera que se forma una estructura, y solamente puede darse la sedimentación por compresión de la estructura. La compresión se produce por el peso de las partículas, que se van añadiendo constantemente a la estructura por sedimentación desde el líquido sobrenadante.</div> <div>Generalmente, se produce en las capas inferiores de una masa de fango de gran espesor, tal como ocurre en el fondo de los decantadores secundarios profundos y en las instalaciones de espesamiento de fangos.</div> |

(Tabla tomada de "Ingeniería Sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales" de Metcalf y Eddy, inc. Capítulo 6, tabla 6.7)

**Floculación:** Como ya se mencionó anteriormente, la sedimentación no siempre puede realizarse de manera natural cuando las partículas son demasiado livianas, lo cual se puede solucionar adhiriendo varias partículas entre sí para logra un mayor peso y caer de éste modo al fondo, que es en lo que consiste la floculación. Si bien la floculación se vale de un proceso químico para llevarse a cabo también es necesaria de fuerza física realizando así una operación física unitaria ya que para que las partículas choquen y se unan entre sí, posteriormente de la adición de químicos se hace un agitado lento del agua consiguiendo con esto la unión entre partículas.

**Flotación:** La flotación es la acción de separarse los sólidos y líquidos de un fluido cuando estos poseen un peso o densidad menos al del fluido como es el caso de los aceites y grasa, en el tratamiento de aguas residuales ésta acción resulta bastante útil para eliminar partículas no deseadas en al agua ya que a diferencia de la sedimentación es más fácil y más rápido extraer dichas partículas del agua, el problema es que no muchas partículas o sustancias poseen una densidad menor al del agua que las contiene por lo que su flotación



natural no es posible, es por eso que se les proporciona una ayuda para que salgan a flote lo cual se logra introduciendo pequeñas burbujas de gas que por lo general es simplemente aire, las cuales se adhieren a los pequeños solidos suspendidos y les proporcionan la fuerza suficiente para que salgan a la superficie de donde son retiradas por medio de un raspado superficial.

La aparición de las burbujas se hace ya sea bien introduciéndolas o induciendo su formación en tres diferentes formas

*Flotación por aire*, ésta acción es la más sencilla ya que simplemente se inyectan las burbujas del aire al líquido por medio de difusores o turbinas las cuales se colocan sumergidas en el agua

*Flotación por aire disuelto*, éste es un operación más compleja que la simple inyección de aire, se realiza a base de introducir y disolver aire al agua residual a tratar por medio de una bomba la cual somete el líquido a una presión de varias atmosferas logrando así la saturación del agua residual con aire, posteriormente se libera la presión lentamente y puesto que el agua ahora contiene más aire del que puede almacenar, el excedente es liberado en pequeñas burbujas en todo el volumen existente logrando así la flotación de las partículas que se adhieran a las burbujas. Esto se puede hacer a todo el agua a tratar si se trata de un volumen pequeño o bien para volúmenes más grandes se hace por medio de una recirculación de agua mezclando una parte del agua que ya haya sido sometida a presión y este saturada de aire con el agua bruta y adicionando de ésta manera aire a todo el volumen.

*Flotación por vacío*, para lograr dicha flotación se introduce al líquido a tratar dentro de un contenedor o tubería en donde se crea un vacío succionando el aire dentro, de ésta forma todo el gas que contenga el agua residual se desprende de todo el volumen de agua en pequeñas burbujas las cuales se adhieren a las partículas y suben a la superficie en forma de espuma la cual es retirada por medio de un raspado superficial.

**Filtrado:** El filtrado es un afinado en la eliminación de solidos suspendidos además de elementos químicos como el fosforo ya que se deshace de las partículas más pequeñas las cuales son capaces de traspasar todas las operaciones antes mencionadas.

Dicha operación por lo general se usa al final de un proceso de tratamiento de agua residual para el mejoramiento de un efluente secundario o terciario, o bien como una operación intermedia para preparar el agua residual antes de entrar a un tratamiento avanzado.

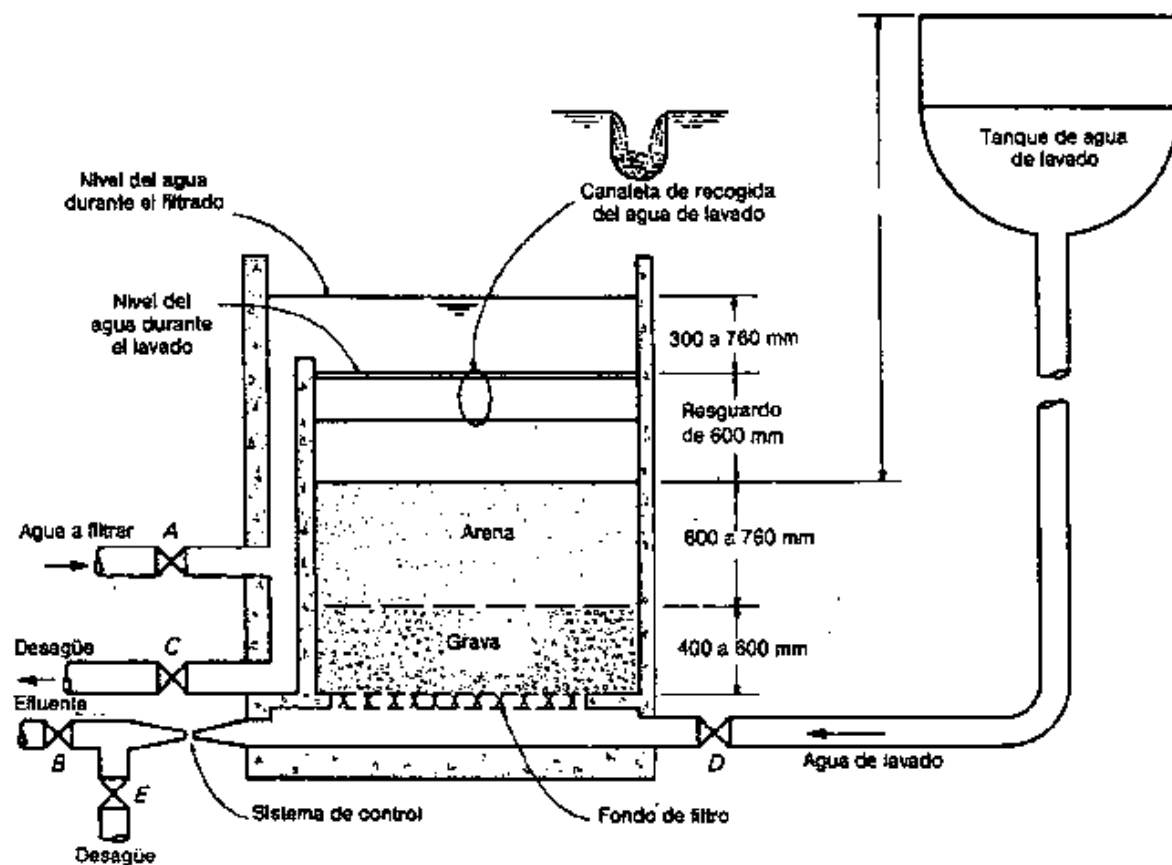
El filtrado puede realizarse por medio de un filtro granular o bien con un tamiz más especializado siendo este último utilizado solo en casos excepcionales ya que debido al reducido paso que ofrece al volumen del efluente de una descarga municipal tiene el

problema de saturarse y obstruirse con mucha facilidad, es por eso que solo se tocara el tema del filtro granular ya que es en su gran mayoría el más utilizado para el tratamiento de aguas residuales.

El ciclo que necesita un filtro granular consta de dos pasos que son la filtración y el contralavado de éste para eliminar la materia retenida en un lapso de tiempo, la cual se lleva a cabo con agua de lavado suministrada por un flujo con dirección contraria al afluente que se ésta filtrando, es decir a contracorriente. Dicha operación de filtrado y contra filtrado puede apreciarse claramente en la siguiente imagen en la que se muestra el filtro utilizado más comúnmente:

**Imagen 3.11** – Esquema del funcionamiento de un filtro común.

Secuencia de la operación de filtración



- 1 - Abrir la válvula A (Permite la entrada del agua.)
- 2 - Abrir la válvula B (Permite que efluente fluya a través del filtro.)
- 3 - Durante la operación de filtrado, todas las demás válvulas permanece cerradas.

Operación de lavado del filtro

- 1 - Cerrar la válvula A.
- 2 - Cerrar la válvula B, cuando el nivel del agua del filtro desciende hasta el borde del aliviadero.



**3** - Abrir las válvulas C y D. (Permite la entrada del agua del tanque de lavado fluyendo a través del medio filtrante, expandiendo la arena y lavando los sólidos acumulados en la superficie de la misma arrastrándolos fuera del filtro. El agua de lavado es enviada a cabeza de la planta de tratamiento.)

Operación de acondicionamiento (si se utiliza esta técnica).

**1** - Abrir las válvulas de A y E. Todas las demás válvulas cerradas.

En ciertas ocasiones se filtra agua durante algunos minutos tras haber lavado el filtro para acondicionarlo antes de su puesta en servicio.

El agua filtrada en esta fase se envía a la red de drenaje.

(Imagen tomada de “Ingeniería Sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales” de Metcalf y Eddy, inc. Capítulo 6, figura 6.28)

Como ya se mencionó, la imagen 3.11 se refiere al tipo de filtrado más común, pero existen otros diversos tipos para realizar dicha operación física del agua residual, estos diferentes tipos se clasifican principalmente siguiendo cuatro parámetros:

- |                              |                                  |
|------------------------------|----------------------------------|
| 1) Sentido del flujo,        | 3) fuerza aplicada y             |
| 2) Tipos de lecho filtrante, | 4) método de control del caudal. |

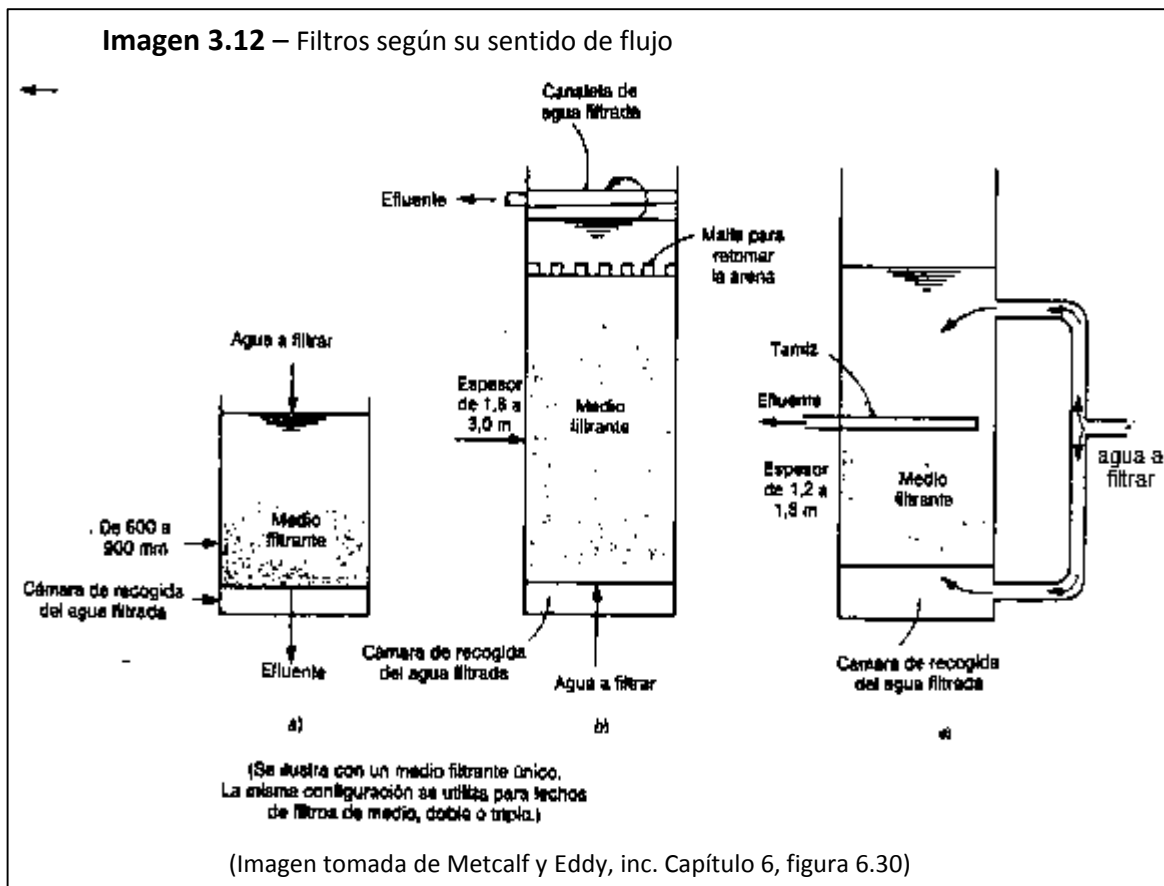
*Sentido del flujo:* Esta clasificación se basa en la forma que entra el efluente al lecho filtrante, se distinguen tres tipos que son el flujo descendente, flujo ascendente y biflujo.

El flujo descendente es el mostrado en la imagen 3.11 y como ya se dijo es el más común ya que su operabilidad es sencilla, solamente se deja entrar el flujo por la parte superior y este cae por fuerza de gravedad a través del material granulado.

El flujo ascendente consiste en una operación un poco más complicada pero con la ventaja de lograr un mayor filtrado que su contraparte de flujo descendente ya que retiene un mayor volumen de sólidos suspendidos. En este caso el efluente entra por la parte inferior del material y sube a través de éste, el lecho filtrante se compone de material con granos más gruesos al fondo y arena fine en la parte superior, dicho material es retenido por una malla en forma de arco invertido en la parte superior del filtro para evitar que el mismo flujo lo desplace, cuando se satura el material granulado con los sólidos retenidos se hace un lavado con la misma agua ya filtrada, esta es otra ventaja ya que con otros filtros es necesario utilizar agua externa a la operación.

Por último se tiene el sistema de biflujo el cual es una combinación de los dos filtros ya mencionados, es ésta operación el agua residual a filtrar entra por la parte posterior y por la parte inferior del lecho filtrante simultáneamente y el agua ya filtrada es captada en la parte central del lecho granulado por medio de una tubería perforada la cual se conduce a

un canal fuera del filtro. La forma de lavado para éste sistema es a base de agua y aire a presión los cuales son suministrados para crear una turbulencia en los granos filtrantes y así poderle despegar toda la materia que se haya adherido.



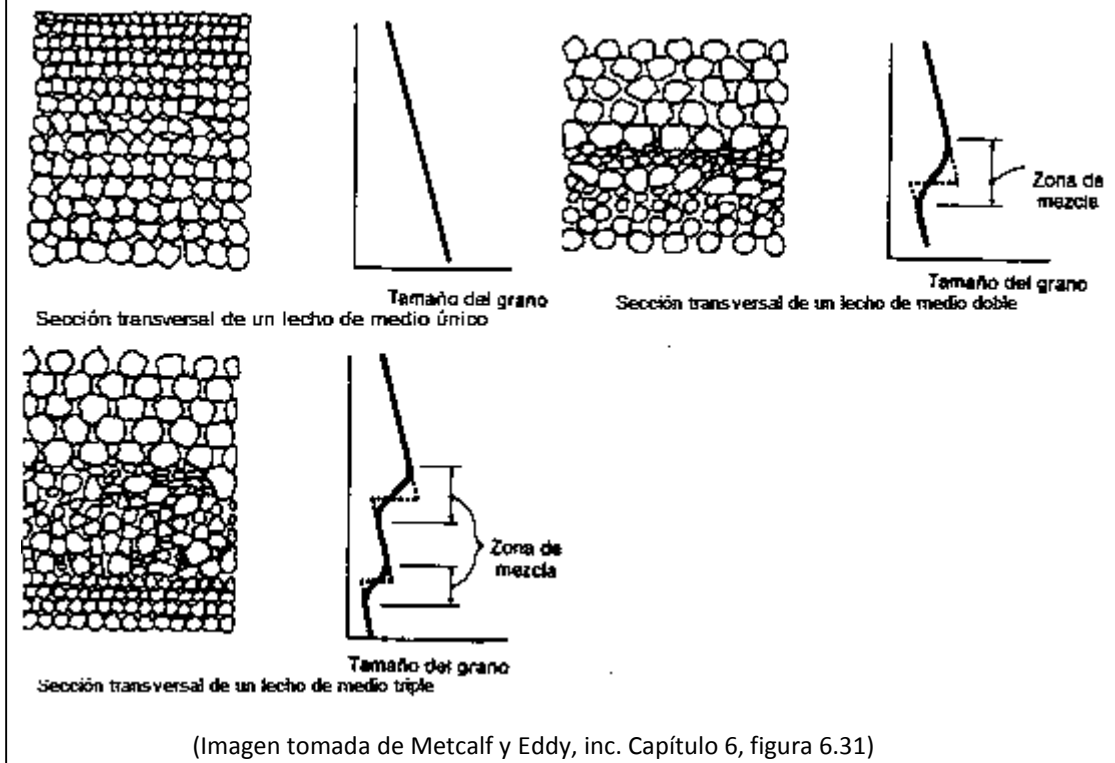
**Tipos de lecho filtrante:** la clasificación de éste tipo se realiza en base al número de capas filtrantes que se colocan dentro de un filtro, estas capas se separan de acuerdo a su granulometría ya sean gruesos o finos he incluso se pueden separar de acuerdo al tipo de material utilizado. De acuerdo al material se pueden colocar arena, grava y en algunos caso donde se busca un mayor grado de depuración se utiliza la antracita la cual es un mineral que presenta un gran contenido de carbón (más del 86%) lo cual lo hace ideal para ésta operación.

También puede hacerse una separación en capas de un mismo material solamente cuidando la granulometría de éste colocando la materia más fina en la parte superior y aumentando de tamaño conforme avanza hacia el fondo.

De ésta manera se pueden tener tres tipos diferentes de filtro en base a su lecho filtrante los cuales son de medio único, de medio doble y de medio triple, cualquiera que sea utilizado, éste tipo de filtración es de forma descendente ya que hacerlo de otra forma ocasionaría un desacomodo de las partículas.

La razón para colocar distintas capas es porque de ésta forma el agua residual tiene una mayor penetración a mayor número de capas y por lo tanto se logra un mayor grado de filtrado en el fluido. La limpieza se hace de forma ascendente dejando pasar agua limpia al filtro desde el fondo para separar las partículas de solidos que se hayan adherido al lecho filtrante.

**Imagen 3.13** – Filtros según su lecho filtrante.



**Fuerza aplicada:** La fuerza aplicada en un filtro se refiere a la fuerza con que pasa el líquido por el lecho filtrante ya sea por fuerza de gravedad o una fuerza creada. Los filtros

más comunes y que se utilizan en la gran mayoría de los casos son los que trabajan por fuerza de gravedad que son los que se han mencionado anteriormente, pero existe un tipo de filtro que ejerce presión sobre el agua a filtrar, es básicamente el mismo filtro que se muestra en la imagen 3.11 de flujo descendente pero con la diferencia que se lleva a cabo en un contenedor cerrado en donde se crea presión con una bomba, ejerciendo así una fuerza extra al flujo de agua residual. La ventaja de éste tipo de filtro es que gracias a la presión ejercida se puede hacer pasar agua a través del lecho filtrante sin tener q hacer un lavado del mismo ya que puede vencer más fácilmente la saturación que se va formando, el problema es que solo se puede utilizar para pequeños caudales ya que con grandes volúmenes el contenedor utilizado no es suficiente para dar abasto.

Imagen 3.13 – Filtro a presión.

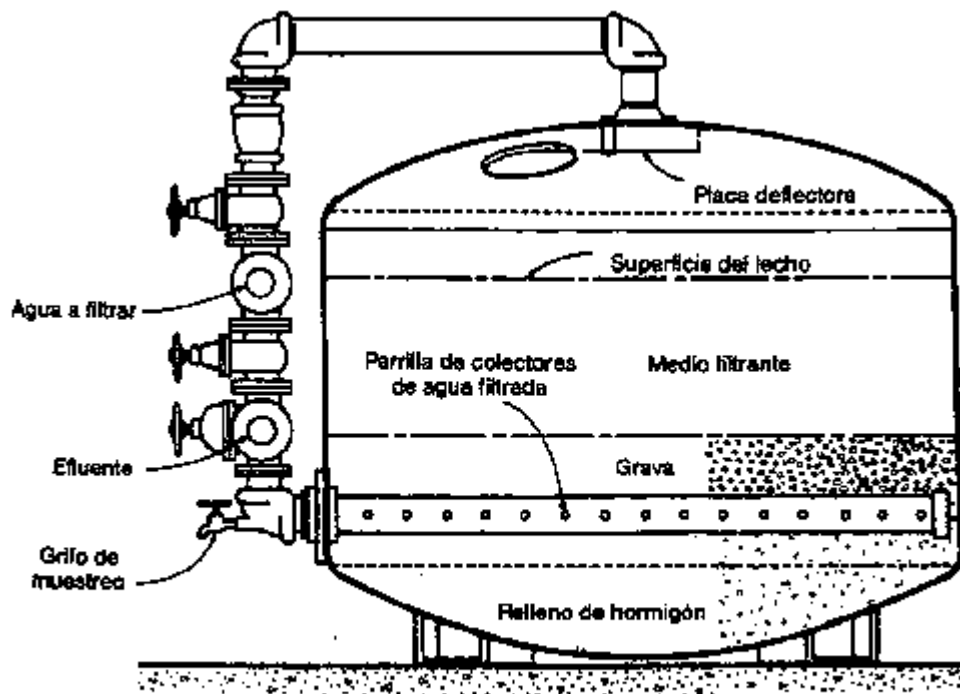


Fig. 6.32 Sección de un filtro a presión

(Imagen tomada de Metcalf y Eddy, inc. Capítulo 6, figura 6.32)

*Método de control del caudal:* Finalmente tenemos los filtros que se clasifican según el método con el que controlan su caudal, éstos se pueden diferenciar en 2 grupos que son los filtros a caudal constante y los filtros a caudal variable decreciente.



Como se puede apreciar podemos elegir de entre varias opciones para filtrar el agua residual, es necesario ser cuidadoso al elegir el filtro adecuado para nosotros ya que tanto el lecho filtrable como el agua residual tienen diferentes características y cada variable conlleva a diferentes resultados, las diferentes variables más significativas tanto del agua como del filtro se enlistan en la siguiente tabla.

**Tabla 3.2** Principales variables en la operación de filtración

| <b>VARIABLE</b>                                                                                                                                                                    | <b>SIGNIFICADO</b>                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Características del medio filtrante</b><br>a) Tamaño de grano<br>b) Distribución del tamaño del grano.<br>c) Forma del grano, densidad y composición.<br>d) Carga del medio. | Afectan a la eficacia de eliminación de partículas y al aumento de pérdida de carga.                     |
| <b>2. Porosidad del lecho.</b>                                                                                                                                                     | Determinan la cantidad de sólidos que pueden almacenarse en el filtro.                                   |
| <b>3. Profundidad del lecho.</b>                                                                                                                                                   | Afectan a la pérdida de carga y duración del ciclo.                                                      |
| <b>4. Velocidad</b>                                                                                                                                                                | Utilizado en conjunción con las variables 1, 2, 3 y 6 para calcular la pérdida de carga con agua limpia. |
| <b>5. Pérdida de carga admisible.</b>                                                                                                                                              | Variable de proyecto.                                                                                    |



|                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>6. Características del agua residual a tratar.</b><br>a) Concentración de sólidos en suspensión.<br>b) Distribución y tamaño del flóculo o partícula.<br>c) Consistencia del flóculo.<br>d) Carga del flóculo o partícula.<br>e) Propiedades del fluido. | Afectan a las características de eliminación para una configuración de lecho filtrante dada. Las características indicadas del agua a tratar pueden ser controladas, hasta cierto punto, por parte del proyectista. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

(Tabla tomada de Metcalf y Eddy, inc. Capítulo 6, tabla 6.8)

### 3.1.2 - PROCESOS UNITARIOS

Ahora bien, una vez analizadas las operaciones en las que predomina la fuerza física, pasamos a conocer los *procesos unitarios*, como ya se mencionó los procesos son aquellos en los que el tratamiento del agua residual es interna, es decir se trabaja directamente con la materia por así decirlo, esto se hace a base de químicos o bacterias las cuales actúan con el agua haciendo un mejoramiento de esta. Estos procesos se dividen en *procesos químicos unitarios* y *procesos biológicos unitarios* según se empleen bacterias o sustancias químicas.

#### 3.1.2.1 – PROCESOS QUIMICOS UNITARIOS

Los *Procesos Químicos Unitarios*, son aquellos en los que como su nombre lo indica, se valen de elementos químicos que son agregados al agua los cuales al hacer contacto con ésta reaccionan con los agentes contaminantes que contenga, realizando así el tratamiento de ésta ya sea eliminando los contaminantes o convirtiéndolos en materia mucho más fácil de retirar. Una ventaja que tienen el emplear químicos es la rapidez con la que realiza su función a diferencia de los operaciones físicas, claro que esto conlleva una desventaja que es el costo de los mismos químicos a utilizar.

Cabe mencionar que éste tipo de proceso es aditivo, es decir, se añaden elementos al agua para la eliminación de otros. Los procesos químicos unitarios más conocidos en el TAR son la precipitación química, transferencia de gases, adsorción, desinfección, y cloración.



**Precipitación Química:** En este proceso se adiciona diferentes químicos para alterar las moléculas y sólidos suspendidos que contenga el agua a fin de que se precipiten al fondo del canal o contenedor con más facilidad que lo harían naturalmente he incluso aquellas partículas que no posean las características adecuadas para precipitarse, ya sea bien formando coágulos entre sí o incluso formando más sólidos suspendidos que incitan a la precipitación.

Los químicos más utilizados en el TAR para generar la sedimentación son el sulfato de alúmina, cal, sulfato de hierro, cloruro férrico y sulfato férrico.

Lógicamente cada uno de dichos componentes reacciona de diferente forma para cada agua residual, es por eso que se debe de hacer el estudio correspondiente para conocer las características de nuestra agua y así saber que elemento químico es el más adecuado para nosotros.

La gran ventaja que tiene la adición de elementos químicos para propiciar una mayor precipitación es una mayor eliminación de elementos no deseados en el agua como lo son el nitrógeno fósforo ya que con dicho proceso se logra una eliminación de éstos compuestos, además de una mayor claridad del agua obtenida en contra parte con su sedimentación natural ya que se logra eliminar entre un 80% y 90% de la materia total suspendida a diferencia del 50 - 70% en su forma normal, desde el 40% hasta un 70% en su DBO<sub>5</sub> a diferencia del 30 al 40% de eliminación de materia orgánica en sedimentación natural, he incluso elimina el 80-90% de bacterias y un 30-60% de la DCO.

**Transferencia de gases:** Como su mismo nombre lo indica, se refiera a la transferencia de gas de una fase a otra, como ya se mencionó los procesos químicos son específicamente aditivos que es justamente los que se hace en éste procesos ya que se trata de agregar un gas al agua residual lo cual sería hacer una transferencia de la fase gaseosa a la fase liquida, por mencionar algunos ejemplos se tiene la adición de oxígeno y el cloro, así mismo puede ser viceversa en la que se transfiera de líquido a gas como lo es en el caso de la eliminación del nitrógeno el cual se debe convertir en amoniaco en su forma gaseosa para así eliminarse del agua.

En las PTAR la adición de un elemento gasificado al agua se hace principalmente por medio de la inserción de dicho gas mediante pequeñas burbujas dispersadas en todo el fluido a través de tubos perforados y difusores, por medio de la agitación del agua con aspas o turbinas para así mezclar el aire con el líquido.

Los principales dispositivos para la inserción de gas en el agua residual se pueden encontrar clasificados por Metcalf y Eddy en el texto de Ingeniería Sanitaria tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Lo cual se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 3.3** Principales sistemas para aireación de agua residual



| Clasificación                         | Descripción                                                                                                                                  | Uso o aplicación                                                   |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Sumergido:                            |                                                                                                                                              |                                                                    |
| Sistema de burbujas finas             | Burbujas generadas con placas y tubos porosos cerámicos, productos vitrificados y resinas.                                                   | Todos los procesos de fangos activados                             |
| Sistema de burbujas medias            | Burbujas generadas con tubos cubiertos con telas o fundas de plástico                                                                        | Todos los procesos de fangos activados                             |
| Sistema de burbujas gruesas           | Burbujas generadas con orificios, inyectoras y toberas, o placas de cizalladura                                                              | Todos los procesos de fangos activados                             |
| Turbina                               | Consiste en una turbina de baja velocidad y sistema de inyección de aire comprimido                                                          | Todos los procesos de fangos activados                             |
| Mezclador estático                    | Tubos de corta longitud con deflectores internos proyectados para mantener el aire inyectado en el fondo del tubo en contacto con el líquido | Lagunas aireadas y procesos de fangos activados                    |
| Tobera                                | Aire comprimido inyectado en líquido mezcla al ser bombeado bajo presión a través de una tobera.                                             | Todos los procesos de fangos activados                             |
| Superficial:                          |                                                                                                                                              |                                                                    |
| Aireador de turbina de baja velocidad | Turbina de gran diámetro utilizada para promover la exposición de las gotas de líquido en la atmósfera                                       | Procesos convencionales de fangos activados y lagunas de aireación |
| Aireador flotante de alta velocidad   | Turbina de pequeño diámetro utilizada para promover la exposición de las gotas de líquido en atmósfera                                       | Lagunas aireadas                                                   |



|                              |                                                                                                                                                                                                                        |                                                              |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Aireador de rotor horizontal | Las paletas montadas sobre un eje central giran en el líquido. El oxígeno se introduce en el líquido por la acción de salpicadura creada por las paletas y por la exposición de las gotas del líquido en la atmosfera. | Zanjas de oxidación, canales de aireación y lagunas aireadas |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|

(Tabla tomada de Metcalf y Eddy, inc. Capítulo 7, tabla 7.3)

**Adsorción:** Básicamente la adsorción es el proceso en el que se agrega un elemento solido al agua a tratar para que éste elimine sustancias solubles que pueda contener. Específicamente el sólido utilizado es el carbón activado y en algunos casos el óxido de aluminio también conocido como alúmina. En nuestro caso hablaremos solamente del carbón activo ya que es el utilizado mayormente en los procesos de adsorción.

La adsorción se utiliza solo en los casos que se requiera un depurado de agua más detallado, por ejemplo en la reutilización del agua o incluso potabilización.

La forma en que trabajan los adsorbentes que sería el carbón activado, es atrayendo la materia indeseada y adhiriéndose a ella por medio de enlaces físicos y químicos con la diferencia que en los enlaces químicos, una vez adherido el material con el contaminante el enlace creado es muy fuerte y la unión es irreversible, en cambio en la adsorción física la unión entre el material con el contaminante puede romperse y estos dos separarse, es por eso que para el tratamiento de aguas residuales se buscan más los enlaces físicos para de ésta forma poder reutilizar el carbón posteriormente.

Los contaminantes que puede eliminar éste proceso son el color, olor, turbiedad, sabor y plaguicidas.

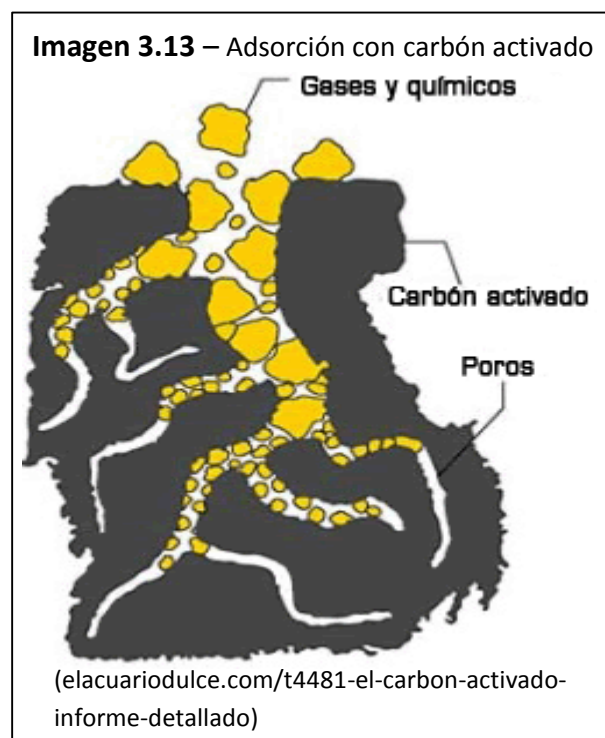
También cabe mencionar, el carbón activado es carbón ordinario hecho a base de madera el cual pasa por un proceso para para crear grietas en él, ya que por sí solo es un elemento muy compacto entre sus partículas y al activarse se crean vacíos donde se depositan los contaminantes, así que mientras más poros tenga, más contaminantes puede retener en su interior. Existen 2 formas en las que se puede usar, en forma de partículas granulares o en forma de polvo.

Cuando se utiliza carbón granular, se hace dentro de un contenedor cilíndrico en forma de columna el cual contiene el lecho granular dentro, de ésta manera por la parte superior entra el agua residual y pasa por toda la columna formada por carbón para ser recolectada al fondo de éste, el carbón una vez saturado se hace un lavado a contracorriente y es



retirada aquella parte que ya haya cumplido su vida útil siendo remplazada por carbón activo virgen y así poder realizar otro ciclo y reutilizar el carbón disponible.

La otra manera de emplearlo es en forma de polvo, el cual es agregado directamente al contenedor donde se encuentra el agua a tratar, ahí se deja trabajar durante algunos minutos y posteriormente es retenido por medio de un tamiz o se sedimenta pudiéndose agregar algún coagulante para agilizar el proceso, una vez sedimentado el polvo de carbón activado es retirado y ya que las partículas de éste son muy finas, no puede ser utilizado nuevamente, ese es el inconveniente con su contraparte granular ya que al utilizar polvo el carbón actúa solamente una vez.



**Desinfección:** La desinfección es de los procesos químicos más realizados en el TAR, consiste en eliminar aquellos microorganismos patógenos para el ser humano presentes en el efluente, en particular existen 3 microorganismos presentes en las aguas negras peligrosos para el ser humano los cuales se pretende eliminar con la desinfección, estos son los *Virus* causantes de la poliomielitis y la hepatitis infecciosa, las *Bacterias* que pueden transmitir por medio del agua el tifus, cólera, paratífus y disentería bacilar, y finalmente en tercer lugar se encuentran los *Quistes Amebianos*.

Cabe mencionar que la desinfección en las PTAR elimina o rebaja a una concentración inofensiva para el ser humano los organismos mencionados, pero deja vivos los demás



organismos encargados de realizar los procesos biológicos necesarios para depurar el agua.

Existen diversos agentes químicos que pueden eliminar los organismos ya mencionados, pero se utilizan solamente algunos ya que deben de actuar adecuadamente al entrar en contacto con las aguas negras, las características relevantes a considerar para elegir el desinfectante ideal se muestran en la siguiente tabla, la cual se extrajo del libro de Metcalf y Eddy, tratamiento y depuración de las aguas residuales.

**Tabla 3.3** Aspectos de un agente químico desinfectante ideal

| Características                              | Observaciones                                                                   |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Toxicidad a los microorganismos              | Deberán poseer un amplio espectro de actividad de altas diluciones              |
| Solubilidad                                  | Deberá ser soluble en agua o tejido celular                                     |
| Estabilidad                                  | La pérdida de acción germicida al estar en reposo deberá ser pequeña            |
| No tóxico para las formas superiores de vida | Deberá ser tóxico a los organismos y no tóxico para el humano y otros animales. |
| Homogeneidad                                 | La solución deberá tener una composición uniforme                               |
| Interacción con materias extrañas            | No deberá ser absorbido por la materia orgánica                                 |
| Toxicidad a temperatura ambiente             | Deberá ser eficaz en el intervalo de temperatura ambiente                       |
| Penetración                                  | Deberá tener capacidad de penetrar a través de las superficies                  |
| No corrosivo y que no manche                 | No deberá atacar lo metales ni manchar la ropa                                  |
| Aptitud desodorizante                        | Deberá desodorizar mientras desinfecta                                          |
| Capacidad detergente                         | Deberá poseer acción limpiadora para mejorar la efectividad del desinfectante   |
| Disponibilidad                               | Deberá estar disponible en grandes cantidades a precios razonables              |

(Tabla tomada de Metcalf y Eddy, tratamiento y depuración de las aguas residuales. Capítulo 9, tabla 9.4)



Dichas características mencionadas es lo que se busca en todos los desinfectantes para poder tener la sustancia ideal que podamos utilizar, desgraciadamente a la fecha no existe ninguna sustancia que cumpla con todos éstos requisitos ya que, por ejemplo, todos los agentes químicos para desinfectar son tóxicos para el ser humano ni tampoco los hay que no corroan el metal, es por eso que se busca aquella sustancia que se adapte mejor a nuestra necesidades y cumpla la mayor parte de los requisitos, por eso se debe tener especial cuidado en la características de nuestra agua tratar, ya que dependiendo de los organismos que contenga, algunos químicos serán más efectivos que otros y así se podrá saber de igual forma en que cantidad o concentración debe de aplicarse y cuánto tiempo deben de estar en contacto los organismos para que el químico los elimine, se deberá cuidar también la temperatura, se sabe que éste factor está estrechamente relacionado con la tasa de mortandad de los organismos ya que a mayor temperatura, los microorganismos tienden a morir con mayor rapidez.

Los elementos químicos más utilizados se enumeran en el libro de *Metcalf y Eddy, tratamiento y depuración de las aguas residuales*, de donde se extrae el siguiente fragmento de texto;

“Los agentes químicos utilizados como desinfectantes son:

- 1) Fenol y compuestos fenólicos,
- 2) Alcoholes,
- 3) Yodo,
- 4) Cloro y sus compuestos,
- 5) Bromo,
- 6) Ozono,
- 7) Metales pesados y compuestos afines,
- 8) Colorantes,
- 9) Jabones y detergentes sintéticos,
- 10) Compuestos amoniacales cuaternarios
- 11) Agua oxigenada,
- 12) Diversos álcalis y ácidos.

Los desinfectantes más corrientes son los productos químicos oxidantes, de los cuales el cloro es el más universalmente utilizado. El bromo y el yodo son, a veces, utilizados en



piscinas, pero no en aguas residuales tratadas. El ozono es un desinfectante muy eficaz y, aunque no deja ozono residual, su uso va en aumento. Se ha utilizado también para la eliminación de olores del aire evacuado por las estaciones de bombeo, tanques de tratamiento y espesadores cubiertos. También se ha empleado agua alcalina o muy ácida para destruir bacterias patógenas, ya que el agua con un pH mayor de 11 o inferior a 3 es relativamente tóxica para la mayoría de las bacterias.”

(Metcalf y Eddy inc. *Tratamiento y depuración de las aguas residuales*, capítulo 9.5.1 Agentes y Medios, sobre los Agentes Químicos)

Como se menciona, el cloro y sus compuestos, así como el ozono, son los elementos más utilizados en el tratamiento de aguas residuales debido a que cumplen en mayor parte los requerimientos para un desinfectante ideal, así que para fines del presente trabajo solo se analizaran dichos elementos.

El *Cloro* es el desinfectante más ampliamente utilizado para la desactivación o destrucción de los organismos patógenos presentes en los procesos del tratamiento de aguas residuales, esto debido a la experiencia histórica con la que se cuenta para trabajar con dicho químico, es fácil de obtener, fácil de transportar, tiene un costo muy accesible para satisfacer la demanda que requieren las aguas negras para desinfectarse y tiene un gran porcentaje de efectividad.

Como ya se mencionó el cloro es un elemento altamente oxidante, así que la forma de eliminar los organismos es mediante la oxidación del material celular, es decir que al entrar en contacto con las bacterias la reacción química que provoca interrumpe los procesos celulares destruyendo la estructura celular causando la muerte del organismo. Se puede usar de diferentes formas las principales son en su versión líquida, en forma gaseosa, sólido en forma de tabletas o gránulos de hipoclorito de calcio, soluciones de hipoclorito, además de diferentes compuestos clorinados.

Como es de esperarse, éste método de desinfección tiene sus ventajas y desventajas en relación a las demás alternativas, para saber cuáles son las más relevantes y conocerlas mejor a continuación se muestra una parte del *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales* en relación con la *Desinfección con cloro* publicado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés);

#### “Ventajas:

- \* La cloración es una tecnología bien establecida.
- \* En la actualidad la cloración es más eficiente en términos de costos que la radiación UV o la desinfección con ozono (excepto cuando la decloración y el cumplimiento con requisitos de la prevención de incendios son requeridos).



- \* El cloro residual que permanece en el efluente del agua residual puede prolongar el efecto de desinfección aún después del tratamiento inicial, y puede ser medido para evaluar su efectividad.
- \* La desinfección con cloro es confiables y efectiva para un amplio espectro de organismos patógenos.
- \* El cloro es efectivos en la oxidación de ciertos compuestos orgánicos e inorgánicos.
- \* La cloración permite un control flexible de la dosificación.
- \* El cloro puede eliminar ciertos olores molestos durante la desinfección.

#### **Desventajas:**

- \* El cloro residual, aún a bajas concentraciones, es tóxico a los organismos acuáticos y por ello puede requerirse la descloración.
- \* Todas las formas de cloro son muy corrosivas y tóxicas. Como consecuencia, el almacenamiento, el transporte y el manejo presentan riesgos más exigentes de seguridad industrial.
- \* EL cloro oxida ciertos tipos de materiales orgánicos del agua residual generando compuestos más peligrosos (tales como los metanos trihalogenados [MTH]).
- \* El nivel total de sólidos disueltos se incrementa en el agua efluente.
- \* El cloro residual es inestable en presencia de altas concentraciones de materiales con demanda de cloro, por lo cual pueden requerirse mayores dosis para lograr una desinfección adecuada.
- \* Algunas especies parásitas han demostrado resistencia a dosis bajas de cloro, incluyendo los oocistos de *Cryptosporidium parvum*, los quistes de *Entamoeba histolytica* y *Giardia lamblia*, y los huevos de gusanos parásitos.
- \* Se desconocen los efectos a largo plazo de la descarga de compuestos de la descloración al medio ambiente.”

(Fragmento tomado del *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, Desinfección con cloro* publicado por la EPA que se encuentra en [water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004\\_07\\_07\\_septics\\_cs-99-062.pdf](http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004_07_07_septics_cs-99-062.pdf))

Como se puede notar, a pesar de ser un desinfectante muy efectivo, quizás su principal inconveniente es la toxicidad que representa para los seres humanos y animales, es por eso que al usarse en el TAR, si se quiere descargar el efluente ya tratado sobre cuerpos receptores de agua naturales, se necesita hacer un procesos posterior de *decloración*, esto debido a los altos contenidos de cloro que persisten en el agua tratada durante muchas



horas, el cual le causa daño a la flora y fauna acuática, así como a los seres humanos que tengan contacto con ella.

La decloración es la eliminación total o en su caso rebajar a un nivel no tóxico el cloro residual que queda en el agua ya tratada para que no represente ningún peligro para la naturaleza o riesgo en los humanos. Las formas más utilizadas para realizar este proceso son la utilización de Dióxido de azufre y el Carbón activado, cabe mencionar que el único inconveniente al realizar la decloración es el costo adicional que genera en la PTAR al realizar la desinfección del efluente.

La desinfección con el *Dióxido de azufre* se hace agregándolo en forma de gas al efluente, se sabe que este gas elimina los compuestos del cloro residual que se encuentran en el agua con una relación de 0.9:1, así que en base a la experiencia con la que se cuenta de utilizar dicho componente, para una planta tratadora es perfectamente aceptable el utilizar 1 mg/l de dióxido de azufre para eliminar 1 mg/l de cloro residual, siempre y cuando no exista una cantidad significativa de nitrógeno orgánico ya que dicho compuesto interfiere en el proceso y solo se conseguirá rebajar el cloro en lugar de su eliminación total. La ventaja de utilizar gas de dióxido de azufre en el agua es que la reacción se lleva a cabo con gran velocidad, casi instantáneamente al momento que el gas hace contacto con el agua, así que no es necesario un periodo de contacto significativo, pero si es requerido saber qué cantidad de residuos de cloro contiene el agua y tener precaución de la cantidad suministrada para evitar el uso de gas innecesario lo cual se refleja en un mayor costo de operación, además de que el exceso produce una mayor demanda de oxígeno y en consecuencia un aumento del DBO y DQO, además de la disminución del pH

Por otra parte se tiene la decloración con Carbón Activado, el cual como ya se ha explicado anteriormente es capaz de adsorber no únicamente sólidos en suspensión, si no también tiene la capacidad de adsorber sustancias o agentes químicos, en este caso los residuos del cloro. El mejor método para utilizar el carbón en este proceso es utilizarlo en una columna con un lecho granular de este elemento trabajando con el efluente en flujo descendente ya sea a gravedad o presión, simplemente se hace correr el agua ya desinfectada por el contenedor cilíndrico para que pase a través del lecho granular y así lograr la eliminación de cloro residual presente en el agua antes de ser expulsada. La ventaja de este método es que si la planta cuenta con las instalaciones para hacer la adsorción de sólidos suspendidos, se pueden utilizar estas mismas para realizar la decloración, además que el carbón posee la cualidad que una vez saturado de elemento ajenos al material, puede ser reactivado por medio de calor y así volver a reutilizar el mismo lecho granular.



Una de los principales factores para utilizar uno u otro elemento para decolorar reside en los sólidos suspendidos que se generan con la misma cloración, ya que si se tiene una cantidad considerable de éstos, lo más recomendable es usar el carbón activado por la eliminación que tiene de sustancias y sólidos en el agua.

El Ozono es igualmente muy utilizado para la desinfección de las aguas residuales, el efecto que causa sobre éstas es prácticamente el mismo que es la eliminación de los organismos patógenos por medio de la oxidación química que genera sobre éstos.

Dicho elemento es el mayor oxidante conocido y que se pueda fabricar de forma industrial y a un precio razonable. Éste elemento tiene varias ventajas sobre los demás elementos que se utilizan para desinfectar, uno de ellos es la gran rapidez que posee para eliminar los organismos no deseado en el efluente, por dar un ejemplo, en comparación con el cloro, el ozono es capaz de eliminar por completo los elementos patógenos con un contacto con el agua de solamente 5 minutos, a diferencia de los 30 minutos como mínimo que necesita el cloro para hacerlo, llevándose en ocasiones hasta 2 horas. La rapidez no es su única ventaja, también se encarga de eliminar el color, olor y sabor en el agua, reduce la turbiedad así como el contenido de sólidos suspendidos, no deja ningún residuo en el agua así que no necesita procesos posteriores, y finalmente a diferencia del cloro, no solo elimina las bacterias patógenas, también inactiva los virus y microorganismos que son resistentes al cloro.

La única y gran desventaja que tiene el ozono es el costo, ya que tiene un mayor precio que los demás desinfectantes.

### 3.1.2.2 - PROCESOS BIOLÓGICOS UNITARIOS

Por último se tiene a los *Procesos Biológicos Unitarios*, éste método de tratamiento se refiere a la eliminación de contaminantes mediante actividad biológica de microorganismos en los que destacan las bacterias que atacan la materia no deseada alimentándose de ella. Debido a que éste tipo de proceso es totalmente natural, los elementos a eliminar son provenientes de materia orgánica la cual es biodegradable cuyos principales contaminantes son el nitrógeno, partículas coloidales o disueltas, así como diferentes bacterias. El método biológico para tratar las aguas residuales elimina las sustancias o elementos mencionados convirtiéndolos en energía que se utilizan para realizar diferentes procesos o es utilizada por microorganismos, por lo cual puede terminar transformándose en un gas el cual puede ser captado para su posterior utilización como es el caso del gas metano o simplemente se dispersa en la atmosfera, otra forma en la que trabaja, es en la conversión de la materia en una biomasa la cual se sedimenta y es



fácil de retirar del agua tratada. El proceso biológico es de las opciones más viables para tratar las aguas residuales ya que, debido a que no se necesita de agentes químicos externos y su consecuente costo, es la manera más económica de tratarlas, claro que todo tiene un inconveniente y en éste caso, como ya se mencionó, solo se puede eliminar materia biodegradable y se necesita contar con dimensiones mayores de terreno para realizar los procesos.

Si hablamos de procesos biológicos para tratar las aguas residuales provenientes de aguas municipales, uno de los métodos más utilizados son las lagunas o también llamado método de lagunaje, consisten en descargar el agua a tratar en estanques los cuales son las llamadas “lagunas”, aquí se dejan reposar y el método de depuración se lleva a cabo de manera natural por medio de diferentes factores ya sean físicos, químicos y biológicos, al hablar de procesos biológicos se debe recordar que se está trabajando en un procesos natural, por lo tanto los factores químicos son propios del medio donde se ésta trabajando y se realizan de manera natural sin la necesidad de agregar elementos externos a la laguna.

Es muy importante resaltar que las descargas de aguas negras son todas con características diferentes dependiendo de su procedencia, es por eso que no se puede tener un Tren de Tratamiento estandarizado para todas las descargas existentes, se debe de hacer el análisis del agua a tratar para de ésta manera elegir el método más adecuado y que se adapte a nuestras posibilidades ya que según el modo de operación, los trenes varían en costo y dimensiones.



# Capítulo 4



## **SISTEMAS DE LAGUNA**

Como ya se mencionó los sistemas de laguna se basan en la degradación de la materia orgánica por medio de bacterias que la utilizan como energía, se utilizan diferentes lagunas con características especiales cada una colocándose en serie formando así el sistema, el porqué de utilizar diferentes tipos se debe a la diversidad de materia que puede contener un agua residual y se utiliza una laguna para atacar una variante a la vez hasta llegar a una pureza deseada evitando de éste modo el uso de químicos y procesos ajenos a la naturaleza del agua bajando considerablemente el costo para la depuración del líquido, es por esto que si se trata de descargas Municipales en las que las descargas de aguas residuales no contienen grandes cantidad de materia inorgánica, las lagunas son la mejor opción para el tratamiento de éstas ya que, aun que el gasto de inversión para su construcción es relativamente costoso, los gastos de mantenimiento son muy bajos y no se necesita de personal especializado para su operación por lo que resultan ser mucho más económicas que sus contrapartes de métodos convencionales.

Tres de las lagunas más utilizadas son las “Lagunas Anaerobias”, “Lagunas Facultativas” y las “Lagunas de maduración”, de las cuales a continuación se hace una explicación sobre el funcionamiento de cada una.

### **4.1 - LAGUNA ANAEROBIA**

La laguna anaerobia, como su nombre lo indica, se trata de un birreactor en el cual se lleva a cabo la descomposición de materia orgánica en un ambiente carente de oxígeno, es decir que el proceso de depuración del agua lo realizan bacterias que no necesitan oxígeno para sobrevivir. Este tipo de método trabaja con efluentes que contienen una gran cantidad de residuos orgánicos los cuales son biodegradables, como lo pueden ser las aguas provenientes de las descargas municipales y algunas descargas industriales, la carga optima con la que trabajan dichos reactores es de  $100 - 400 \text{ gr DBO}_5/\text{m}^3 \text{ Día}$ , la razón por la cual no es recomendable para cargas mayores a las señaladas es que se necesitarían lagunas de dimensiones muy elevadas así como mayor tiempo y el método no sería viable, en contraparte si se trabajara con cargas menores, la materia orgánica no sería suficiente para que las bacterias anaerobias encargadas de descomponer la materia pudieran subsistir y el método no se lograría, en relación al tiempo se recomienda trabajar en periodos de retención de 2 a 5 días para evitar el crecimiento de algas y la consecuente oxigenación del efluente provocando de igual forma la muerte de las bacterias utilizadas. Es muy importante mencionar que debido a que se trata de un proceso biológico y se



trabaja con grandes cantidades de materia biodegradable, éste tipo de procesos no elimina por completo los contaminantes y la materia no deseada, la principal función de un birreactor anaerobio es reducir las cantidades de orgánicos presentes en el agua, a un nivel mínimo convirtiéndolos en gas o sedimentándolos en lodos al fondo de la laguna de donde son fáciles de extraer, es por ésta razón que las lagunas anaerobias necesitan trabajar en conjunto con otros procesos diferentes a éste ya que, dicho de alguna forma, los reactores anaerobios no purifican ni dan un tratamiento completo al agua residual, simplemente elimina toda aquella materia presente en agua que sea más difícil de tratar y convierte el efluente en un líquido mucho más fácil de pulir y purificar con posteriores métodos.

Existen diferentes procesos que suceden en las lagunas anaerobias, en especial suceden tres procesos en tres etapas diferentes las cuales logran el correcto tratamiento del agua residual, dichas etapas son la *Hidrólisis*, la *Formación de Ácidos* y la *Formación del Gas Metano*.

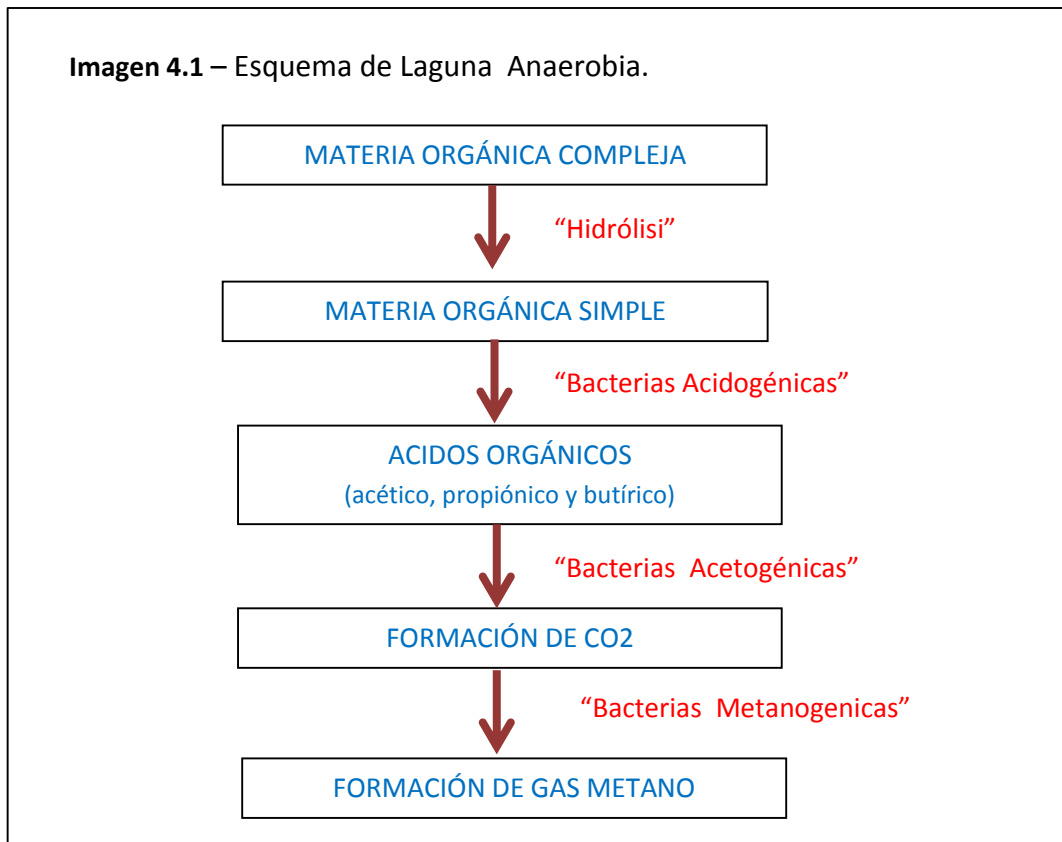
La *hidrólisis* consiste en transformar toda aquella materia orgánica compleja e insoluble en materia mucho más fácil de trabajar, es decir, simplifica los compuestos presentes para que las bacterias anaerobias puedan utilizarlas como energía y de esta manera eliminarlas posteriormente ya que de otra forma seria muy difícil trabajar con dichos elementos, es por eso que la hidrólisis es fundamental como primera etapa del proceso anaerobio.

*Formación de ácidos*, ésta es la segunda etapa, aquí ya se cuenta con un efluente simplificado y la materia orgánica cuenta con las características adecuadas para servir como fuente de energía a las bacteria, en especial a las bacterias fermentativas acidogénicas, las cuales se alimentan de la materia presente y la convierten en acido orgánico como lo son el acético, propiónico y butírico que son ácidos volátiles. La conversión generada por las bacterias de materia orgánica a ácidos sucede con rapidez, es por esto que la reducción del  $\text{DBO}_5$  es mínima.

La tercera y etapa final la compone la formación de gas metano, en ésta etapa se presentan nuevas bacteria que son las llamadas las bacterias acetogénicas y las bacterias metanogénicas, las primeras se alimentan de los ácidos formados anteriormente y los convierten en dióxido de carbono, posteriormente las metanogenicas convierten éste dióxido de carbono en gas metano es finalmente expulsado a la atmosfera reduciendo de ésta forma el  $\text{DBO}_5$  presente en el agua residual.

Para ayudar a comprender mejor la secuencia en que sucede el proceso anaerobio se presenta el siguiente esquema:

Imagen 4.1 – Esquema de Laguna Anaerobia.



Es de ésta forma que reduce los niveles orgánicos del agua residual, en conjunto con la sedimentación de materia, la cual puede alcanzar volúmenes considerables, es por eso que se recomienda construir más de una laguna anaerobia, así cuando los volúmenes de sedimentación alcancen el 50% de la capacidad del estanque, las descargas de agua residual pueden conducirse a una nueva laguna dejando que los lodos recolectados se sequen para posteriormente ser retirados y utilizados principalmente como fertilizante agrícola.

Es por eso que, aun que una laguna anaerobia requiera de una extensión grande de terreno para su construcción, como primera fase de tratamientos biológicos es una opción muy factible ya que el costo de operación es mínimo, básicamente solo se debe cuidar los niveles de concentración de elementos orgánicos en el agua, así como su PH y el resto del trabajo se encarga de realizarlo la propia laguna.



## **4.2 - LAGUNA FACULTATIVA**

Las lagunas facultativas son aquellas en las que se combinan las condiciones aerobias y las condiciones anaerobias en el mismo estanque y por ende se tienen distintas bacterias para las dos condiciones, las bacterias aerobias se sitúan en la zona oxigenada que es la parte superior de la laguna que es la que se encuentra en contacto con la superficie, por el contrario las bacterias anaerobias se sitúan en la parte más aleja de la parte aireada que es la zona donde se sedimentan los lodos al fondo del estanque, además de éstas, se tiene un nuevo tipo de bacterias las cuales son capaces de desarrollarse en ambientes con o sin oxígeno, éstas son llamadas “bacterias heterótrofas facultativas”.

Las lagunas facultativas no son eficaces al trabajar con elementos orgánicos complejos, pero al trabajar con un efluente que ya ha sido simplificado o que no cuentes con materia de esa característica, son capaces de eliminar la mayor parte de materia biodegradable presente en el agua, es por eso que son utilizadas como etapas secundarias de los procesos biológicos para el tratamiento de aguas residuales. Logran disminuir a niveles mínimos la materia orgánica presente gracias a las dos condiciones que presenta (anaerobia y aerobia), ya que los sólidos suspendidos presentes en el agua son atacados por las bacterias que se encuentran en la superficie y aquellos sólidos que se sedimenten al igual que los lodos generados son eliminados por las bacterias existentes en el fondo de estanque, es por eso que la cantidad de lodos generados por este tipo de tratamientos es mínima, maximizando así la eliminación de solidos presentes en el agua.

Como ya se mencionó, siempre y cuando no haya materia orgánica presente, éste tipo de lagunas son las más eficaces hablando de sistemas no convencionales de PTAR ya que son sistemas totalmente autosustentables, además de poseer una versatilidad para las variaciones de las descargas de aguas residuales. Se dice que son autosustentables ya que la forma en que trabajan se compone de un circuito en donde todos sus componentes de las diferentes zonas que contiene, trabajan en conjunto para lograr la depuración del agua, para entenderlo un poco mejor se explicara los diferentes procesos que se llevan a cabo desde la superficie de la laguna al fondo de ésta.

La laguna se compone básicamente de 3 zonas que son la zona aireada la cual se encuentra en adyacente a la superficie, la zona facultativa que se encuentra en la parte intermedia del estanque y finalmente la zona anaerobia que la componen los lodos que se sedimentan al fondo.

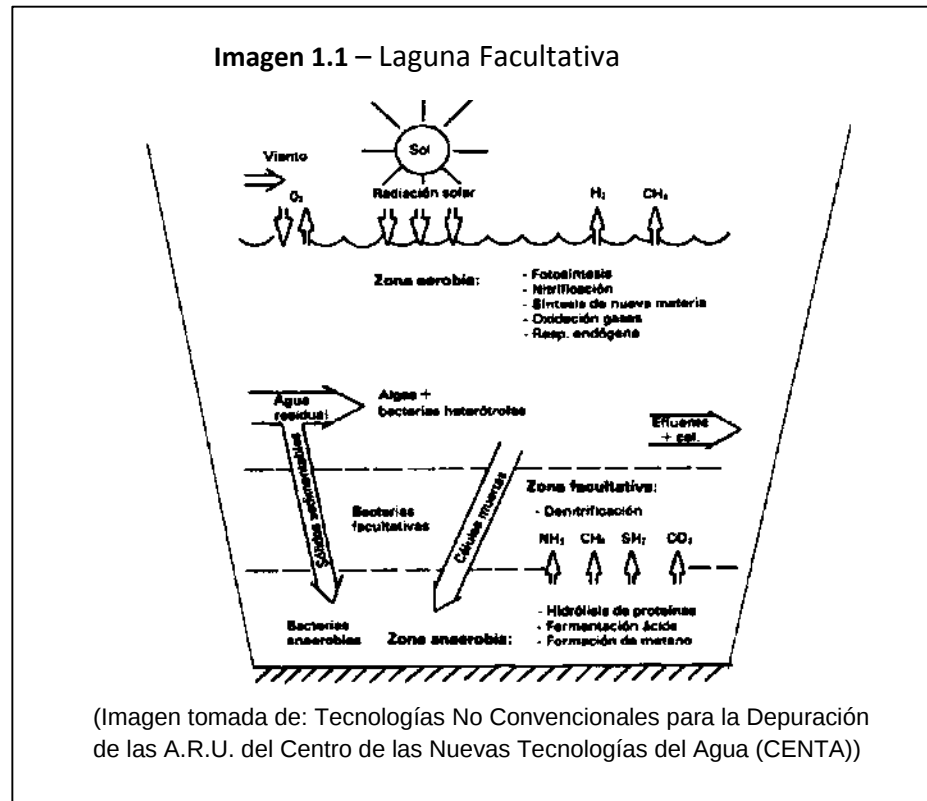


Si bien se ha comentado que las bacterias facultativas pueden adaptarse a medios sin oxígeno, la presencia de éste favorece su crecimiento y por ende aumenta la velocidad con la que pueden depurar el agua residual, es por eso que la oxigenación de las lagunas son parte vital para su óptimo funcionamiento y que mejor manera de suministrar oxígeno que haciéndose valer de la madre naturaleza, es de ésta forma la mayor parte del oxígeno que recibe el agua proviene de algas gracias a su actividad fotosintética, las cuales se forman en la zona aerobia que se encuentra en la parte superior, es por eso que la luz solar resulta de vital importancia para una laguna facultativa de tal modo que las profundidades con las que se trabaja deben ser bajas, generalmente van de 1 a 2 m para garantizar que la mayor parte de la columna de agua se encuentre iluminada y los rayos solares sean aprovechados por las algas, también se alimentan de los nutrientes presentes (nitratos, fosfatos), así como de  $\text{CO}_2$ , eliminando dichos componentes y convirtiéndolos en el oxígeno que suministra al agua.

Posteriormente en la etapa inferior se encuentra la *zona facultativa*, dicha zona se diferencia de la zona aerobia principalmente en que puede trabajar con o sin oxígeno, soportando de ésta forma las variaciones del caudal, por lo que sus bacterias facultativas siempre están trabajando degradando la materia orgánica, en menor o mayor velocidad pero sin detenerse. Las bacterias facultativas, también llamadas bacterias heterótrofas, utilizan como fuente de energía la materia orgánica presente en el agua y, como ya se mencionó, pueden sobrevivir en ambientes carentes de oxígeno pero en presencia de éste se reproducen a mayor velocidad, así que hacen uso del oxígeno suministrado para crecer en población y de esta forma degradar un mayor volumen de los sólidos suspendidos, al metabolizar dichos componentes, las bacterias dan lugar a nuevas células y al mismo tiempo generan dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) el cual es utilizado por las algas para crear nuevo oxígeno, así de ésta forma ambas capas se ayudan para sobrevivir y mutuamente consumir mutuamente los elementos producidos.

Finalmente se cuenta con la *zona anaerobia*, la cual está constituida por el fondo de la laguna, ahí se sedimentan la materia que no se pudo degradar en la etapa facultativa, por lo general es la materia compleja que aun contiene el agua residual como pueden ser grasas y proteínas, así como las células muertas que se hayan creado en los procesos anteriores. En ésta zona se vuelven a generar los procesos propios de los procesos anaerobios; se procede con la hidrólisis de las grasas y proteínas, se crean ácidos volátiles que se convierten en  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ , el cual sube y es utilizado por las algas o expulsado a la superficie, cerrando así un ciclo en el que las tres zonas presentes dependen entre sí para su correcto y óptimo funcionamiento, es debido a esto que las lagunas facultativas no

generan gran cantidad de lodos por que se procesa la mayor cantidad de materia disponible obteniendo así un efluente de la mayor calidad posible.



### 4.3 - LAGUNAS DE MADURACIÓN

Las lagunas de maduración son por lo general una etapa final en los procesos no convencionales de depuración del agua, si bien no se colocan en la etapa final al menos deben colocarse como procesos secundario en el tratamiento de agua, la razón es que su función no es la de eliminar la materia orgánica que se encuentra en el agua, si no eliminar las bacterias patógenas que en ella se encuentren, es decir, las lagunas de maduración son la etapa en la que el agua residual se desinfecta, es por esto que debe contener la cantidad más mínima posible de sólidos suspendidos, además de que en ella se puede la clarificación del líquido, se eliminan los nutrientes y se oxigena el agua.

Como se trata de un proceso biológico y se quiere evitar a toda costa agregar químicos externos al agua, la desinfección y pulimento de ésta se realiza gracias a diversos factores



presentes en ésta etapa, de los cuales destacan los factores físicos, físico-químicos y bioquímicos.

Los factores Físicos son en primer lugar la temperatura ya que afecta las condiciones de supervivencia de los microorganismos patógenos, propiciando su muerte, así que a mayor temperatura se obtiene una más pronta eliminación de éstos. La sedimentación o precipitación, por su parte, se encarga de la destrucción de todos aquellos microorganismos que tengan un peso específico mayor al del agua y que por ende, caigan al fondo de la laguna donde son atacados por bacterias que los metabolizan y eliminan.

En los factores Físico-Químicos los agentes a considerar son el PH, el Oxígeno y la Luz, estos tres factores destruyen a los agentes patógenos presentes en el agua, es por eso que resulta ser de vital importancia generar su presencia en la laguna. El aumento de estos factores se debe a que en la etapa de pulimento, como también se llama a la laguna facultativa, se tienen muy bajos niveles de materia orgánica, así que hay una disminución del CO<sub>2</sub>, lo que ocasiona un aumento de PH y Oxígeno disuelto en el agua, principalmente gracias a la actividad fotosintética. De igual manera la presencia de luz, debido a los rayos ultravioleta, aumenta la velocidad con la que mueren los microorganismos, por lo que las lagunas se construyen de baja profundidad para evitar tener zonas oscuras y propiciar que todo el líquido se encuentre iluminado.

Por último se tiene a los Factores Bioquímicos, en ésta clasificación caen los nutrientes y compuestos tóxicos para los patógenos. En relación a los nutrientes lo que se pretende es su eliminación del efluente para limitar las fuentes de alimento de todos los microorganismos y de ésta forma alentar a que luchen con organismos más adaptados que ellos como son los protozoos, bacteriófagos, microcrustáceos y rotíferos, logrando su eliminación. La eliminación de los nutrientes que son principalmente el nitrógeno, se logra con las algas las cuales hacen uso de ello y que al mismo tiempo secretan sustancias tóxicas para los patógenos.

De ésta forma se da el último toque al agua residual, lográndose la máxima calidad para sus posteriores usos cumpliendo con todos los reglamentos establecidos por las normas a cargo.



# Capítulo 5



# **PROPUESTAS DE TRATAMIENTO**

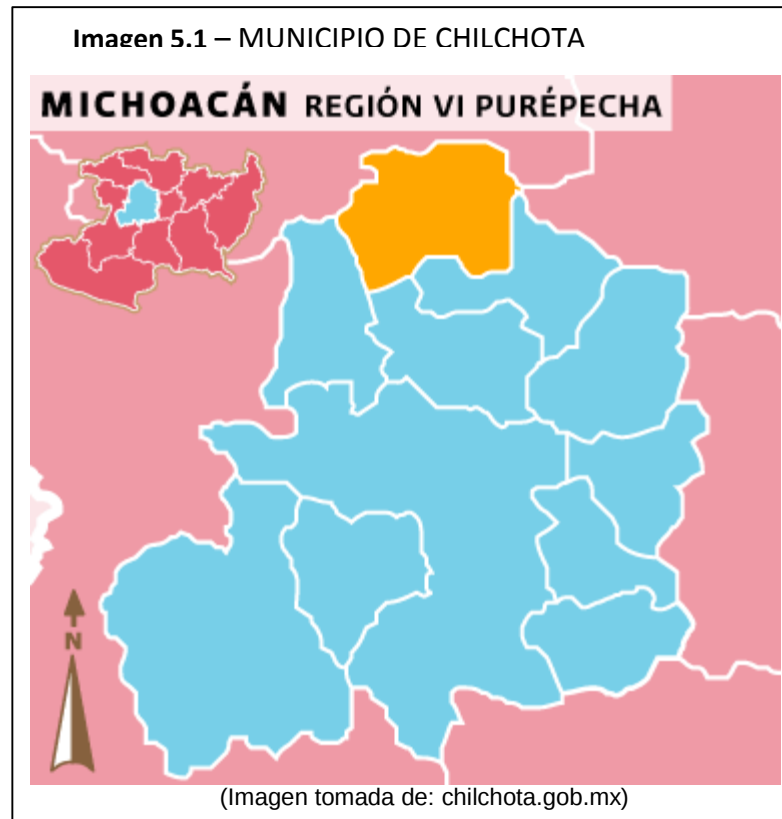
## **5.1 – RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE LA COMUNIDAD DE CHILCHOTA.**

La comunidad de Chilchota cuenta con el paso de la carretera federal número 15, dicha carretera conecta al éste con la Ciudad de Morelia y al Oeste con Zamora, Tangancícuaro y el resto del Municipio, es de esta manera que son el paso obligado hacia el valle de Zamora y hacia la Capital del Estado, lo cual coloca a la comunidad en una posición estratégica para el desarrollo turístico, el cual no ha sido aprovechado ya que igualmente presenta en manera de contraste un alto índice de marginación, falta de servicios, infraestructura y fuentes de empleo, es por esto que se debe voltear a ver con su debida importancia el desarrollo de ésta comunidad ya que contribuiría en el crecimiento económico del estado, es por esto que una PTAR basada en métodos no convencionales y autosustentables ayudaría a combatir el rezago social que sufre la población sin afectar el entorno en el que se encuentra, de hecho todo lo contrario, ayudaría a preservar sus paisajes naturales y dar así un mayor atractivo turístico sin mencionar una mayor calidad de vida y de salud para todos sus habitantes.

Para conocer mejor la comunidad mencionada se ha recabado información general de ésta, la cual se sustrajo de la información en línea proporcionada por el propio municipio en la página “[chilchota.gob.mx](http://chilchota.gob.mx)” la cual ha sido complementada por la información presentada de igual forma por el municipio y dada a conocer en el “Periódico Oficial Del Gobierno Constitucional Del Estado De Michoacán De Ocampo” publicado el 12 de Julio del 2010 en relación al “Programa De Desarrollo Urbano De Centro De Población De Chilchota”, obteniendo de ambas la siguiente información de la comunidad de chilchota.

### **- Localización Geográfica del Municipio Chilchota**

Se localiza al noroeste del Estado, en las coordenadas 19°51' de latitud norte y 101°87' de longitud oeste, a una altura de 1,770 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Tangancícuaro y Purépero, al este con Zacapu y Cherán, al sur con Charapan y Paracho y al oeste con Tangancícuaro. Su distancia a la capital del Estado es de 120 km.



## - Principales Localidades

### **Chilchota.**

Es la cabecera municipal, su principal actividad económica es la elaboración de azahares y pan. Cuenta con 10,907 habitantes.

### **Carapan.**

Sus principales actividades económicas son el comercio, la agricultura y la ganadería. Su distancia a la cabecera municipal es de 8 kms. Cuenta con 5,341 habitantes.

### **Ichán.**

La música, filarmónicos y la alfarería son las principales actividades económicas. Se localiza a 6 kms de la cabecera municipal. Cuenta con 2,847 habitantes.

### **Huáncito.**

Sus actividades preponderantes son la agricultura, ganadería, comercio y alfarería. Se encuentra 4.5 kms respecto de la cabecera municipal. Cuenta con 2,399 habitantes.



#### **Acachuén.**

Sus principales actividades son la agricultura, ganadería y comercio. Su distancia a la cabecera municipal es de 3 km.

#### **Zopoco.**

La agricultura, alfarería, comercio y ganadería son principales actividades. Se localiza a 4 km de la cabecera municipal, cuenta con 2,146 habitantes.

#### **Tanaquillo.**

Sus principales actividades son la agricultura, ganadería y comercio. Se ubica a 2.5 km de la cabecera municipal.

#### **Tacuro.**

La agricultura, ganadería y comercio son sus principales actividades. Su distancia a la cabecera municipal es de 6.5 km. Cuenta con 1,479 habitantes.

#### **Santo Tomás.**

Tiene como actividades económicas la agricultura, ganadería y comercio. Se encuentra a la cabecera municipal es de 3.5 kms. Cuenta con 993 habitantes.

### **- Orografía**

Su relieve se constituye por el sistema volcánico transversal; cerros Viejo, Cobre y San Ignacio.

### **- Hidrografía**

El área de estudio se encuentra enclavada totalmente en la Región Lerma-Chapala-Santiago, en la subregión río Lerma -Chapala, esta región cubre una superficie aproximada de 14,818.25 Km.2

Su hidrografía en cuanto a los cuerpos de agua superficiales existentes, se constituye por el río Duero que pasa por el norte del centro de población y tiene su origen en los cerros el Tecolote y el Tule, Es formado por la confluencia de los ríos Chilchota, Tlazazalca y El Pejo, toma el nombre del Río Duero a partir de la estación Camécuaro, cruza el Valle de Zamora con dirección sureste-noroeste, y atraviesa la Ciénega de Chapala para confluir finalmente con el Río Lerma; Y los Ríos Tanaquillo y San Pedro (de escurrimientos perennes) y tres arroyos intermitentes uno en Santo Tomás Arroyo Verde y otros sin nombre en el límite de Chilchota y Urén que desembocan al río Duero.

Así mismo como factibilidad de agua subterránea, se localizan dos manantiales uno al sur de la Chilchota conocido como el ojo de agua cercano al centro de Chilchota, y otro al



norte de Tanaquillo denominado como Parque eco turístico Tanaquillo, estos manantiales de la cañada de los once pueblos se aprovechan para el riego de 1,200 Has.

### **- Clima**

El centro de Población de Chilchota se encuentra en la franja del eje neovolcánico, registra un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, (28.64%), así mismo, se localiza en la franja correspondiente a las temperaturas medias anuales de los 17 a los 21 grados centígrados, con una precipitación promedio anual de 1000 mm, encontrándose el área de estudio dentro de la zona. La humedad del suelo es de 8 meses, siendo la evaporación de esta zona de 600mm.

El clima predominante es el denominado C (w) Cálido subhúmedo con lluvias en verano, el cual afecta el 100% del Municipio de Chilchota, los escurrimientos superficiales es de 0 a 5% en algunas zonas y de 5% a 10% y de 10% a 20% en otras.

### **- Asoleamiento**

En lo que respecta a la insolación, en el área se presentan 2300 horas anuales, el mes de mínima insolación (mayo) se llega a las 260 horas. Temperaturas promedio. El centro de población se localiza a 1780msnm y cuenta con una precipitación pluvial promedio anual de 1000mm, lo que da una humedad relativa de 63%. Vientos dominantes variables, del Noroeste al Sureste en primavera y verano; el Norte en otoño; y del Oeste y Sur en invierno.

### **- Diversidad Biológica.**

En el Municipio así como en la zona de estudio, predomina el bosque mixto con especies de pino y encino, que en la zona de estudio se encuentra una fuerte deforestación y gran presencia de eucaliptos y fresnos. Su fauna se conforma con cacomixtle, zorrillo, mapache, liebre, tlacuache y coyote, aunque en las zonas cercanas al centro de población la mayoría de estas especies no tienen presencia frecuente. En cuanto a los recursos naturales, existe una fuerte presencia de ríos tanto perennes como intermitentes y zonas cercanas de explotación maderable (pino y encino), aunque no en los límites del centro de población.

### **- Actividades Agropecuarias**

La conformación en el área de estudio se da de manera principal por agricultura de riego y en segundo lugar por la agricultura de temporal seguida de pastizales inducidos.



Al norte de la zona de estudio se localiza un área de agricultura de riego y pastizal inducido, así como al sur, del centro de población se localizan zonas de agricultura de riego y agricultura de temporal, al igual que al este de la misma se ubica una zona de agricultura de temporal, al oeste se encuentran zonas de agricultura de temporal, agricultura de riego y de pastizal inducido y dentro de la zona urbana se ubica zona de uso agrícola tanto de riego como de temporal, la primera como predominante.

### **- Características y Uso de Suelo**

Los suelos del municipio datan del periodo cenozoico y corresponden principalmente a los del tipo podzólico. Su uso es primordialmente ganadero y en menor proporción agrícola y forestal.

### **- Agua Potable**

Actualmente se estima, de acuerdo a información proporcionada por el Sistema de Agua Potable Alcantarillado, y Saneamiento de Chilchota, (OAPAS), que el área cubierta con el servicio de agua potable es de un aproximado del 95% de la población correspondiente a la cabecera municipal. Y en las 4 localidades restantes que componen el centro de población el 85%. Según la misma fuente, existen 2,600 tomas de agua potable atendidas, entre tomas domésticas y tomas comerciales, de las cuales únicamente pagan el 32%. Se tienen adeudos desde el 2004.

Las fuentes de abastecimiento se encuentran en las localidades de Chilchota en la colonias la Mesa, 4 tanques, un tanque elevado de 140,000 litros, dos tanques de regulación y almacenamiento uno de 260,000 litros y otro de 320,000 litros y el otro es de 312,000 litros, otro se encuentra en la colonia el Rocío. En Tanaquillo en la colonia El Calvario, se encuentran unos tanques de regulación y almacenamiento de 200,000 litros, y otro en el parque ecológico de 62,000 litros. En Acachuén en la colonia El Mogote un tanque de regulación y almacenamiento de 200,000 litros. El agua que es extraída para su distribución en la población, no sufre ningún tipo de tratamiento previo, excepto la cloración que se realiza en los tanques ubicados en Chilchota, para posteriormente ser distribuida por gravedad a la población.

### **- Drenaje**

El drenaje es combinado, es decir es sanitario y pluvial. El área cubierta por este servicio es de aproximadamente el 88% de la población en la cabecera municipal, en Urén el 23%, en Tanaquillo el 62%, en Acachuén el 44% y en Santo Tomás el 15% esto de acuerdo a la información proporcionada por el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio.



Actualmente **no existe una planta de tratamiento de aguas residuales**, el centro de población cuenta con el 78% del drenaje.

## **5.2 - EVALUACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL**

Los recursos naturales más seriamente afectados, debido al desarrollo urbano del Centro de Población y a la sobreexplotación, son el agua, el suelo y el aire, y en menor medida pero no en menor importancia, la fauna y la flora silvestre y acuática. Respecto a la contaminación del agua, la principal fuente es proveniente de las descargas de aguas domiciliarias que deriva de la presencia de microorganismos patógenos, aceites, grasas, producto de las descargas domésticas, comercial e industria artesanal, aguas residuales que en su mayoría sin previo tratamiento son vertidas al cauce del Río Duero, San Pedro y Tanaquillo de donde posteriormente se extrae el agua para el riego agrícola para distribución de agua potable, industrial y para la fabricación de tabique, esta última actividad, es generadora de fuertes problemas de contaminación del aire en el Centro de Población.

## **5.3 – Aforo y Muestreo.**

Para conocer las características del agua de la zona del Municipio de Chilchota ya se contaba con información recabada por medio de estudios de la misma hechos con anterioridad en el año 2010, debido a los altos costos de éstos estudios se optó por utilizar la misma información para fines del presente trabajo, estos fueron hechos por el laboratorio ubicado en Morelia, Mich. Llamado “CENTRO DE ESTUDIOS EN MEDIO AMBIENTE, S.C.” (CEMA), de los cuales se obtuvo la siguiente información:



## INFORME DE ENSAYO

| MUESTRA <b>No. 342</b>                                                                                                                            |           |                  |            |             |            |            |             |            |            |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|
| <b>MONITOREO:</b> Las muestras fueron tomadas los días 17 y 18 de Junio del 2010, en la descarga 1 Tanaquillo, Municipio de Chilchota, Michoacán. |           |                  |            |             |            |            |             |            |            |             |
| <b>TIPO DE MUESTRA:</b> Agua Residual.                                                                                                            |           |                  |            |             |            |            |             |            |            |             |
| <b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b> 18 de Junio del 2010.                                                                                                  |           |                  |            |             |            |            |             |            |            |             |
| <b>PERIODO DE PUEBA:</b> 18 de Junio al 2 de Julio del 2010.                                                                                      |           |                  |            |             |            |            |             |            |            |             |
| REPORTE DE CAMPO                                                                                                                                  |           |                  |            |             |            |            |             |            |            |             |
| PARÁMETROS                                                                                                                                        | UNIDAD    | HORA DE MUESTREO |            |             |            |            |             | PROM.      | MIN.       | MAX         |
|                                                                                                                                                   |           | 13:00            | 17:00      | 21:00       | 01:00      | 05:00      | 09:00       |            |            |             |
| POTENCIAL DE HIDROGENO                                                                                                                            | UNIDAD    | 7                | 7          | 7.2         | 7.0        | 6.8        | 7.1         | 7.02       | 6.80       | 7.20        |
| MATERIA FLOTANTE                                                                                                                                  | -         | P                | P          | P           | P          | P          | P           | -          | -          | -           |
| TEMPERATURA AMBIENTE                                                                                                                              | °C        | 28               | 23         | 22          | 18         | 18         | 25          | 22.33      | 18.0       | 28.0        |
| TEMPERATURA DEL AGUA                                                                                                                              | °C        | 24               | 23         | 23          | 23         | 22         | 23          | 23.0       | 22.0       | 24.0        |
| GASTO                                                                                                                                             | l/s       | 5.07             | 4.23       | 3.42        | 3.26       | 2.31       | 4.56        | 3.81       | 2.3        | 5.07        |
| P = Presente                                                                                                                                      |           |                  |            |             |            |            |             |            |            |             |
| REPORTE DE MUESTRAS INDIVIDUALES                                                                                                                  |           |                  |            |             |            |            |             |            |            |             |
| PARÁMETROS                                                                                                                                        | UNIDAD    | HORA DE MUESTREO |            |             |            |            |             | PROM.      | MIN.       | MAX         |
|                                                                                                                                                   |           | 13:00            | 17:00      | 21:00       | 01:00      | 05:00      | 09:00       |            |            |             |
| GRASAS Y ACEITES                                                                                                                                  | mg/l      | 12.24            | 87.64      | 16.12       | 13.54      | 87.71      | 17.11       | 39.06      | 12.24      | 87.71       |
| COLIFORMES FECALES                                                                                                                                | NMP/100ml | 24,000,000       | 46,000,000 | 110,000,000 | 24,000,000 | 46,000,000 | 110,000,000 | 49,520,754 | 24,000,000 | 110,000,000 |

## ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO

| PARÁMETROS                    | UNIDADES  | CONCENTRACIÓN | INCERTIDUMBRE |      | METODOLOGÍA           |
|-------------------------------|-----------|---------------|---------------|------|-----------------------|
| COLIFORMES FECALES            | NMP/100ml | 39520754      | -             | -    | NMX-AA-042-1987       |
| MATERIA FLOTANTE              | -         | PRESENTE      | -             | -    | NMX-AA-006-SCFI-2000  |
| TEMPERATURA                   | °C        | 23            | ±             | 0.11 | NMX-AA-007-SCFI-2000  |
| POTENCIAL DE HIDROGENO        | U         | 6.93          | +/-           | 0.1  | NMX-AA-008-SCFI-2000  |
| DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO | mg/l      | 310.4         | +/-           | 35.6 | NMX-AA-028-SCFI-200 1 |
| FOSFORO TOTAL                 | mg/l      | 5.19          | -             | -    | NMX-AA-029-SCFI-2001  |
| NITROGENO TOTAL K             | mg/l      | 46.06         | +/-           | -    | NMX-AA-026-SCFI-2001  |
| SOLIDOS SEDIMENTABLES         | ml/l      | 1.3           | -             | -    | NMX-AA-004-SCFI-2000  |
| SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES   | mg/l      | 260           | +/-           | 0.28 | NMX-AA-034-SCFI-200 1 |
| CADMIO                        | mg/l      | < 0.014       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001  |
| COBRE                         | mg/l      | < 0.027       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001  |
| CROMO TOTAL                   | mg/l      | < 0.065       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001  |
| PLOMO                         | mg/l      | < 0.090       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001  |
| NIQUEL                        | mg/l      | < 0.027       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001  |
| ZINC                          | mg/l      | 0.273         | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001  |
| GRASAS Y ACEITES              | mg/l      | 39.06         | +/-           | 0.03 | NMX-AA-005-SCFI-2001  |
| ARSENICO                      | mg/l      | < 0.001       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001  |
| CIANUROS                      | mg/l      | < 0.02        | -             | -    | NMX-AA-058-SCFI-2001  |
| H. HELMINTO                   | U/L       | < 1           | -             | -    | NMX-AA-113-SCFI-1996  |
| MERCURIO                      | mg/l      | < 0.002       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001  |



## INFORME DE ENSAYO

| MUESTRA <b>No. 343</b>                                                                                                                          |           |                  |             |            |            |            |            |            |            |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| <b>MONITOREO:</b> Las muestras fueron tomadas los días 17 y 18 de Junio del 2010, en la descarga 2 Acachuen, Municipio de Chilchota, Michoacán. |           |                  |             |            |            |            |            |            |            |             |
| <b>TIPO DE MUESTRA:</b> Agua Residual.                                                                                                          |           |                  |             |            |            |            |            |            |            |             |
| <b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b> 18 de Junio del 2010.                                                                                                |           |                  |             |            |            |            |            |            |            |             |
| <b>PERIODO DE PUEBA:</b> 18 de Junio al 2 de Julio del 2010.                                                                                    |           |                  |             |            |            |            |            |            |            |             |
| REPORTE DE CAMPO                                                                                                                                |           |                  |             |            |            |            |            |            |            |             |
| PARÁMETROS                                                                                                                                      | UNIDAD    | HORA DE MUESTREO |             |            |            |            |            | PROM.      | MIN.       | MAX         |
|                                                                                                                                                 |           | 13:10            | 17:10       | 21:10      | 01:10      | 05:10      | 09:10      |            |            |             |
| POTENCIAL DE HIDROGENO                                                                                                                          | UNIDAD    | 7                | 7           | 7.0        | 7.2        | 7          | 7          | 7.03       | 7.00       | 7.20        |
| MATERIA FLOTANTE                                                                                                                                | -         | P                | P           | P          | P          | P          | P          | -          | -          | -           |
| TEMPERATURA AMBIENTE                                                                                                                            | °C        | 28               | 23          | 22         | 18         | 18         | 25         | 22.33      | 18.0       | 28.0        |
| TEMPERATURA DEL AGUA                                                                                                                            | °C        | 24               | 23          | 23         | 23         | 22         | 23         | 23.00      | 22.0       | 24.0        |
| GASTO                                                                                                                                           | l/s       | 2.07             | 1.63        | 1.23       | 0.76       | 1.12       | 2.33       | 1.52       | 0.8        | 2.33        |
| P = Presente                                                                                                                                    |           |                  |             |            |            |            |            |            |            |             |
| REPORTE DE MUESTRAS INDIVIDUALES                                                                                                                |           |                  |             |            |            |            |            |            |            |             |
| PARÁMETROS                                                                                                                                      | UNIDAD    | HORA DE MUESTREO |             |            |            |            |            | PROM.      | MIN.       | MAX         |
|                                                                                                                                                 |           | 13:10            | 17:10       | 21:10      | 01:10      | 05:10      | 09:10      |            |            |             |
| GRASAS Y ACEITES                                                                                                                                | mg/l      | 13.0             | 13.95       | 10.10      | 12.0       | 14.13      | 9.02       | 12.03      | 9.02       | 14.13       |
| COLIFORMES FECALIS                                                                                                                              | NMP/100ml | 46,000,000       | 110,000,000 | 46,000,000 | 24,000,000 | 11,000,000 | 46,000,000 | 37,602,064 | 11,000,000 | 110,000,000 |

## ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO

| PARÁMETROS                    | UNIDADES  | CONCENTRACIÓN | INCERTIDUMBRE |      | METODOLOGÍA          |
|-------------------------------|-----------|---------------|---------------|------|----------------------|
| COLIFORMES FECALIS            | NMP/100ml | 37602064      | -             | -    | NMX-AA-042-1987      |
| MATERIA FLOTANTE              | -         | PRESENTE      | -             | -    | NMX-AA-006-SCFI-2000 |
| TEMPERATURA                   | °C        | 23            | ±             | 0.11 | NMX-AA-007-SCFI-2000 |
| POTENCIAL DE HIDROGENO        | U         | 7.05          | +/-           | 0.1  | NMX-AA-008-SCFI-2000 |
| DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO | mg/l      | 514.50        | +/-           | 59.0 | NMX-AA-028-SCFI-2001 |
| FOSFORO TOTAL                 | mg/l      | 8.84          | -             | -    | NMX-AA-029-SCFI-2001 |
| NITRÓGENO TOTAL K             | mg/l      | 79.52         | +/-           | -    | NMX-AA-026-SCFI-2001 |
| SÓLIDOS SEDIMENTABLES         | ml/l      | 3.0           | -             | -    | NMX-AA-004-SCFI-2000 |
| SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES   | mg/l      | 430           | +/-           | 0.46 | NMX-AA-034-SCFI-2001 |
| CADMIO                        | mg/l      | < 0.014       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| COBRE                         | mg/l      | < 0.027       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| CROMO TOTAL                   | mg/l      | < 0.065       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| PLOMO                         | mg/l      | < 0.090       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| NIQUEL                        | mg/l      | < 0.027       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| ZINC                          | mg/l      | 0.349         | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| GRASAS Y ACEITES              | mg/l      | 12.03         | +/-           | 0.01 | NMX-AA-005-SCFI-2001 |
| ARSENICO                      | mg/l      | < 0.001       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| CIANUROS                      | mg/l      | < 0.02        | -             | -    | NMX-AA-058-SCFI-2001 |
| H. HELMINTO                   | U/L       | < 1           | -             | -    | NMX-AA-113-SCFI-1996 |
| MERCURIO                      | mg/l      | < 0.002       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |



## INFORME DE ENSAYO

| MUESTRA <u>No. 344</u>                                                                                                                                |           |                                     |           |           |            |           |           |           |           |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| <b>MONITOREO:</b> Las muestras fueron tomadas los días 17 y 18 de Junio del 2010, en la descarga 3 Clínica ISSSTE, Municipio de Chilchota, Michoacán. |           |                                     |           |           |            |           |           |           |           |            |
| <b>TIPO DE MUESTRA:</b>                                                                                                                               |           | Agua Residual.                      |           |           |            |           |           |           |           |            |
| <b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b>                                                                                                                            |           | 18 de Junio del 2010.               |           |           |            |           |           |           |           |            |
| <b>PERIODO DE PUEBA:</b>                                                                                                                              |           | 18 de Junio al 2 de Julio del 2010. |           |           |            |           |           |           |           |            |
| REPORTE DE CAMPO                                                                                                                                      |           |                                     |           |           |            |           |           |           |           |            |
| PARÁMETROS                                                                                                                                            | UNIDAD    | HORA DE MUESTREO                    |           |           |            |           |           | PROM.     | MIN.      | MAX        |
|                                                                                                                                                       |           | 13:20                               | 17:20     | 21:20     | 01:20      | 05:20     | 09:20     |           |           |            |
| POTRNCIAL DE HIDROGENO                                                                                                                                | UNIDAD    | 7                                   | 7         | 7         | 7          | 7         | 7         | 7.00      | 7.00      | 7.00       |
| MATERIA FLOTANTE                                                                                                                                      | -         | P                                   | P         | P         | P          | P         | P         | -         | -         | -          |
| TEMPERATURA AMBIENTE                                                                                                                                  | °C        | 28                                  | 23        | 22        | 18         | 18        | 25        | 22.33     | 18.0      | 28.0       |
| TEMPERATURA DEL AGUA                                                                                                                                  | °C        | 24                                  | 23        | 23        | 23         | 22        | 23        | 23.00     | 22.0      | 24.0       |
| GASTO                                                                                                                                                 | l/s       | 0.98                                | 0.87      | 0.51      | 0.32       | 0.81      | 1.05      | 0.76      | 0.3       | 1.05       |
| P = Presente                                                                                                                                          |           |                                     |           |           |            |           |           |           |           |            |
| REPORTE DE MUESTRAS INDIVIDUALES                                                                                                                      |           |                                     |           |           |            |           |           |           |           |            |
| PARÁMETROS                                                                                                                                            | UNIDAD    | HORA DE MUESTREO                    |           |           |            |           |           | PROM.     | MIN.      | MAX        |
|                                                                                                                                                       |           | 13:20                               | 17:20     | 21:20     | 01:20      | 05:20     | 09:20     |           |           |            |
| GRASAS Y ACEITES                                                                                                                                      | mg/l      | 87.89                               | 12.62     | 12.31     | 87.11      | 12.83     | 11.81     | 37.42     | 11.81     | 87.89      |
| COLIFORMES FECALES                                                                                                                                    | NMP/100ml | 2,400,000                           | 2,100,000 | 4,600,000 | 11,000,000 | 4,600,000 | 2,400,000 | 3,757,725 | 2,100,000 | 11,000,000 |

## ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO

| PARÁMETROS                    | UNIDADES  | CONCENTRACIÓN | INCERTIDUMBRE |      | METODOLOGÍA          |
|-------------------------------|-----------|---------------|---------------|------|----------------------|
| COLIFORMES FECALIS            | NMP/100ml | 3757725       | -             | -    | NMX-AA-042-1987      |
| MATERIA FLOTANTE              | -         | AUSENTE       | -             | -    | NMX-AA-006-SCFI-2000 |
| TEMPERATURA                   | °C        | 21            | ±             | 0.10 | NMX-AA-007-SCFI-2000 |
| POTENCIAL DE HIDROGENO        | U         | 6.99          | +/-           | 0.1  | NMX-AA-008-SCFI-2000 |
| DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO | mg/l      | 53.9          | +/-           | 6.2  | NMX-AA-028-SCFI-2001 |
| FOSFORO TOTAL                 | mg/l      | 3.15          | -             | -    | NMX-AA-029-SCFI-2001 |
| NITRÓGENO TOTAL K             | mg/l      | 31.50         | +/-           | -    | NMX-AA-026-SCFI-2001 |
| SÓLIDOS SEDIMENTABLES         | ml/l      | < 0.1         | -             | -    | NMX-AA-004-SCFI-2000 |
| SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES   | mg/l      | 45.71         | +/-           | 0.05 | NMX-AA-034-SCFI-2001 |
| CADMIUM                       | mg/l      | < 0.014       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| COBRE                         | mg/l      | < 0.027       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| CROMO TOTAL                   | mg/l      | < 0.065       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| PLOMO                         | mg/l      | < 0.090       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| NIQUEL                        | mg/l      | < 0.027       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| ZINC                          | mg/l      | 0.186         | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| GRASAS Y ACEITES              | mg/l      | 37.42         | +/-           | 0.03 | NMX-AA-005-SCFI-2001 |
| ARSENICO                      | mg/l      | < 0.001       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| CIANUROS                      | mg/l      | < 0.02        | -             | -    | NMX-AA-058-SCFI-2001 |
| H. HELMINTO                   | U/L       | < 1           | -             | -    | NMX-AA-113-SCFI-1996 |
| MERCURIO                      | mg/l      | < 0.002       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |



## INFORME DE ENSAYO

| MUESTRA <u>No. 345</u>                                                                                                                                                       |           |                                     |            |            |            |            |            |            |            |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>MONITOREO:</b> Las muestras fueron tomadas los días 17 y 18 de Junio del 2010, en la descarga 4 Clínica ISSSTE (puente rio chilchota), Municipio de Chilchota, Michoacán. |           |                                     |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <b>TIPO DE MUESTRA:</b>                                                                                                                                                      |           | Agua Residual.                      |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b>                                                                                                                                                   |           | 18 de Junio del 2010.               |            |            |            |            |            |            |            |            |
| <b>PERIODO DE PUEBA:</b>                                                                                                                                                     |           | 18 de Junio al 2 de Julio del 2010. |            |            |            |            |            |            |            |            |
| REPORTE DE CAMPO                                                                                                                                                             |           |                                     |            |            |            |            |            |            |            |            |
| PARÁMETROS                                                                                                                                                                   | UNIDAD    | HORA DE MUESTREO                    |            |            |            |            |            | PROM.      | MIN.       | MAX        |
|                                                                                                                                                                              |           | 13:30                               | 17:30      | 21:30      | 01:30      | 05:30      | 09:30      |            |            |            |
| POTRNCIAL DE HIDROGENO                                                                                                                                                       | UNIDAD    | 7                                   | 7          | 7          | 7          | 7          | 7          | 7.00       | 7.00       | 7.20       |
| MATERIA FLOTANTE                                                                                                                                                             | -         | P                                   | P          | P          | P          | P          | P          | -          | -          | -          |
| TEMPERATURA AMBIENTE                                                                                                                                                         | °C        | 28                                  | 23         | 22         | 18         | 18         | 25         | 22.33      | 18.0       | 28.0       |
| TEMPERATURA DEL AGUA                                                                                                                                                         | °C        | 24                                  | 23         | 23         | 23         | 22         | 23         | 23.00      | 22.0       | 24.0       |
| GASTO                                                                                                                                                                        | l/s       | 0.48                                | 0.39       | 0.18       | 0.08       | 0.26       | 1.04       | 0.41       | 0.1        | 1.04       |
| P = Presente                                                                                                                                                                 |           |                                     |            |            |            |            |            |            |            |            |
| REPORTE DE MUESTRAS INDIVIDUALES                                                                                                                                             |           |                                     |            |            |            |            |            |            |            |            |
| PARÁMETROS                                                                                                                                                                   | UNIDAD    | HORA DE MUESTREO                    |            |            |            |            |            | PROM.      | MIN.       | MAX        |
|                                                                                                                                                                              |           | 13:30                               | 17:30      | 21:30      | 01:30      | 05:30      | 09:30      |            |            |            |
| GRASAS Y ACEITES                                                                                                                                                             | mg/l      | 172.66                              | 19.92      | 89.03      | 130.55     | 18.81      | 89.04      | 86.66      | 18.81      | 172.66     |
| COLIFORMES FECALES                                                                                                                                                           | NMP/100ml | 11,000,000                          | 46,000,000 | 24,000,000 | 46,000,000 | 15,000,000 | 24,000,000 | 24,204,922 | 11,000,000 | 46,000,000 |

## ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO

| PARÁMETROS                    | UNIDADES  | CONCENTRACIÓN | INCERTIDUMBRE |      | METODOLOGÍA          |
|-------------------------------|-----------|---------------|---------------|------|----------------------|
| COLIFORMES FECALIS            | NMP/100ml | 24204922      | -             | -    | NMX-AA-042-1987      |
| MATERIA FLOTANTE              | -         | PRESENTE      | -             | -    | NMX-AA-006-SCFI-2000 |
| TEMPERATURA                   | °C        | 22.5          | ±             | 0.11 | NMX-AA-007-SCFI-2000 |
| POTENCIAL DE HIDROGENO        | U         | 7.55          | +/-           | 0.1  | NMX-AA-008-SCFI-2000 |
| DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO | mg/l      | 205.5         | +/-           | 23.6 | NMX-AA-028-SCFI-2001 |
| FOSFORO TOTAL                 | mg/l      | 10.34         | -             | -    | NMX-AA-029-SCFI-2001 |
| NITRÓGENO TOTAL K             | mg/l      | 64.26         | +/-           | -    | NMX-AA-026-SCFI-2001 |
| SÓLIDOS SEDIMENTABLES         | ml/l      | 0.5           | -             | -    | NMX-AA-004-SCFI-2000 |
| SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES   | mg/l      | 140           | +/-           | 0.15 | NMX-AA-034-SCFI-2001 |
| CADMIUM                       | mg/l      | < 0.014       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| COBRE                         | mg/l      | < 0.027       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| CROMO TOTAL                   | mg/l      | < 0.065       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| PLOMO                         | mg/l      | < 0.090       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| NIQUEL                        | mg/l      | < 0.027       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| ZINC                          | mg/l      | 0.422         | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| GRASAS Y ACEITES              | mg/l      | 86.66         | +/-           | 0.06 | NMX-AA-005-SCFI-2001 |
| ARSENICO                      | mg/l      | < 0.001       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| CIANUROS                      | mg/l      | < 0.02        | -             | -    | NMX-AA-058-SCFI-2001 |
| H. HELMINTO                   | U/L       | < 1           | -             | -    | NMX-AA-113-SCFI-1996 |
| MERCURIO                      | mg/l      | < 0.002       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |



## INFORME DE ENSAYO

| MUESTRA <b>No. 346</b>                                                                                                                                  |           |                  |             |            |            |            |            |            |            |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| <b>MONITOREO:</b> Las muestras fueron tomadas los días 17 y 18 de Junio del 2010, en la descarga 5 Huertas Zazamora, Municipio de Chilchota, Michoacán. |           |                  |             |            |            |            |            |            |            |             |
| <b>TIPO DE MUESTRA:</b> Agua Residual.                                                                                                                  |           |                  |             |            |            |            |            |            |            |             |
| <b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b> 18 de Junio del 2010.                                                                                                        |           |                  |             |            |            |            |            |            |            |             |
| <b>PERIODO DE PUEBA:</b> 18 de Junio al 30 de Julio del 2010.                                                                                           |           |                  |             |            |            |            |            |            |            |             |
| REPORTE DE CAMPO                                                                                                                                        |           |                  |             |            |            |            |            |            |            |             |
| PARÁMETROS                                                                                                                                              | UNIDAD    | HORA DE MUESTREO |             |            |            |            |            | PROM.      | MIN.       | MAX         |
|                                                                                                                                                         |           | 13:40            | 17:40       | 21:40      | 01:40      | 05:40      | 09:40      |            |            |             |
| POTENCIAL DE HIDROGENO                                                                                                                                  | UNIDAD    | 7                | 7           | 7          | 7          | 7          | 7          | 7.00       | 7.00       | 7.20        |
| MATERIA FLOTANTE                                                                                                                                        | -         | P                | P           | P          | P          | P          | P          | -          | -          | -           |
| TEMPERATURA AMBIENTE                                                                                                                                    | °C        | 28               | 23          | 22         | 18         | 18         | 25         | 22.33      | 18.0       | 28.0        |
| TEMPERATURA DEL AGUA                                                                                                                                    | °C        | 24               | 23          | 23         | 23         | 22         | 23         | 23.00      | 22.0       | 24.0        |
| GASTO                                                                                                                                                   | l/s       | 27.94            | 19.20       | 6.99       | 5.99       | 10.27      | 19.20      | 14.93      | 6.0        | 27.94       |
| P = Presente                                                                                                                                            |           |                  |             |            |            |            |            |            |            |             |
| REPORTE DE MUESTRAS INDIVIDUALES                                                                                                                        |           |                  |             |            |            |            |            |            |            |             |
| PARÁMETROS                                                                                                                                              | UNIDAD    | HORA DE MUESTREO |             |            |            |            |            | PROM.      | MIN.       | MAX         |
|                                                                                                                                                         |           | 13:40            | 17:40       | 21:40      | 01:40      | 05:40      | 09:40      |            |            |             |
| GRASAS Y ACEITES                                                                                                                                        | mg/l      | 18.81            | 23.44       | 17.48      | 18.94      | 22.81      | 15.08      | 19.42      | 15.08      | 23.44       |
| COLIFORMES FECALIS                                                                                                                                      | NMP/100ml | 46,000,000       | 110,000,000 | 46,000,000 | 15,000,000 | 24,000,000 | 46,000,000 | 18,379,264 | 15,000,000 | 110,000,000 |

## ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO

| PARÁMETROS                    | UNIDADES  | CONCENTRACIÓN | INCERTIDUMBRE |      | METODOLOGÍA          |
|-------------------------------|-----------|---------------|---------------|------|----------------------|
| COLIFORMES FECALIS            | NMP/100ml | 18379264      | -             | -    | NMX-AA-042-1987      |
| MATERIA FLOTANTE              | -         | AUSENTE       | -             | -    | NMX-AA-006-SCFI-2000 |
| TEMPERATURA                   | °C        | 22.5          | ±             | 0.11 | NMX-AA-007-SCFI-2000 |
| POTENCIAL DE HIDROGENO        | U         | 6.98          | +/-           | 0.11 | NMX-AA-008-SCFI-2000 |
| DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO | mg/l      | 66.3          | +/-           | 7.6  | NMX-AA-028-SCFI-2001 |
| FOSFORO TOTAL                 | mg/l      | 1.70          | -             | -    | NMX-AA-029-SCFI-2001 |
| NITRÓGENO TOTAL K             | mg/l      | 23.74         | +/-           | -    | NMX-AA-026-SCFI-2001 |
| SÓLIDOS SEDIMENTABLES         | ml/l      | 0.4           | -             | -    | NMX-AA-004-SCFI-2000 |
| SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES   | mg/l      | 52.42         | +/-           | 0.06 | NMX-AA-034-SCFI-2001 |
| CADMIUM                       | mg/l      | < 0.014       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| COBRE                         | mg/l      | < 0.027       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| CROMO TOTAL                   | mg/l      | < 0.065       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| PLOMO                         | mg/l      | < 0.090       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| NIQUEL                        | mg/l      | < 0.027       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| ZINC                          | mg/l      | 0.147         | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| GRASAS Y ACEITES              | mg/l      | 19.42         | +/-           | 0.01 | NMX-AA-005-SCFI-2001 |
| ARSENICO                      | mg/l      | < 0.001       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| CIANUROS                      | mg/l      | < 0.02        | -             | -    | NMX-AA-058-SCFI-2001 |
| H. HELMINTO                   | U/L       | < 1           | -             | -    | NMX-AA-113-SCFI-1996 |
| MERCURIO                      | mg/l      | < 0.002       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |



## INFORME DE ENSAYO

| MUESTRA <b>No. 347</b>                                                                                                                                 |           |                  |           |            |           |            |           |           |         |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|---------|------------|
| <b>MONITOREO:</b> Las muestras fueron tomadas los días 17 y 18 de Junio del 2010, en la descarga 6 Colonia Chapala, Municipio de Chilchota, Michoacán. |           |                  |           |            |           |            |           |           |         |            |
| <b>TIPO DE MUESTRA:</b> Agua Residual.                                                                                                                 |           |                  |           |            |           |            |           |           |         |            |
| <b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b> 18 de Junio del 2010.                                                                                                       |           |                  |           |            |           |            |           |           |         |            |
| <b>PERIODO DE PUEBA:</b> 18 de Junio al 30 de Julio del 2010.                                                                                          |           |                  |           |            |           |            |           |           |         |            |
| REPORTE DE CAMPO                                                                                                                                       |           |                  |           |            |           |            |           |           |         |            |
| PARÁMETROS                                                                                                                                             | UNIDAD    | HORA DE MUESTREO |           |            |           |            |           | PROM.     | MIN.    | MAX        |
|                                                                                                                                                        |           | 13:50            | 17:50     | 21:50      | 01:50     | 05:50      | 09:50     |           |         |            |
| POTENCIAL DE HIDROGENO                                                                                                                                 | UNIDAD    | 7                | 7         | 7          | 7         | 7          | 7         | 7.00      | 7.00    | 7.20       |
| MATERIA FLOTANTE                                                                                                                                       | -         | P                | P         | P          | P         | P          | P         | -         | -       | -          |
| TEMPERATURA AMBIENTE                                                                                                                                   | °C        | 28               | 23        | 22         | 18        | 18         | 25        | 22.33     | 18.0    | 28.0       |
| TEMPERATURA DEL AGUA                                                                                                                                   | °C        | 24               | 23        | 23         | 23        | 22         | 23        | 23.00     | 22.0    | 24.0       |
| GASTO                                                                                                                                                  | l/s       | 1.88             | 1.96      | 1.42       | 0.96      | 1.77       | 2.03      | 1.67      | 1.0     | 2.03       |
| P = Presente                                                                                                                                           |           |                  |           |            |           |            |           |           |         |            |
| REPORTE DE MUESTRAS INDIVIDUALES                                                                                                                       |           |                  |           |            |           |            |           |           |         |            |
| PARÁMETROS                                                                                                                                             | UNIDAD    | HORA DE MUESTREO |           |            |           |            |           | PROM.     | MIN.    | MAX        |
|                                                                                                                                                        |           | 13:50            | 17:50     | 21:50      | 01:50     | 05:50      | 09:50     |           |         |            |
| GRASAS Y ACEITES                                                                                                                                       | mg/l      | 15.79            | 10.07     | 6.97       | 5.97      | 8.86       | 16.55     | 10.70     | 5.97    | 16.55      |
| COLIFORMES FECALIS                                                                                                                                     | NMP/100ml | 930,000          | 4,600,000 | 11,000,000 | 4,600,000 | 11,000,000 | 4,600,000 | 4,712,560 | 930,000 | 11,000,000 |

## ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO

| PARÁMETROS                    | UNIDADES  | CONCENTRACIÓN | INCERTIDUMBRE |      | METODOLOGÍA          |
|-------------------------------|-----------|---------------|---------------|------|----------------------|
| COLIFORMES FECALIS            | NMP/100ml | 4712560       | -             | -    | NMX-AA-042-1987      |
| MATERIA FLOTANTE              | -         | PRESENTE      | -             | -    | NMX-AA-006-SCFI-2000 |
| TEMPERATURA                   | °C        | 22            | ±             | 0.11 | NMX-AA-007-SCFI-2000 |
| POTENCIAL DE HIDROGENO        | U         | 6.93          | +/-           | 0.1  | NMX-AA-008-SCFI-2000 |
| DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO | mg/l      | 302.10        | +/-           | 34.7 | NMX-AA-028-SCFI-2001 |
| FOSFORO TOTAL                 | mg/l      | 1.57          | -             | -    | NMX-AA-029-SCFI-2001 |
| NITRÓGENO TOTAL K             | mg/l      | 21.28         | +/-           | -    | NMX-AA-026-SCFI-2001 |
| SÓLIDOS SEDIMENTABLES         | ml/l      | < 0.1         | -             | -    | NMX-AA-004-SCFI-2000 |
| SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES   | mg/l      | 280           | +/-           | 0.30 | NMX-AA-034-SCFI-2001 |
| CADMIUM                       | mg/l      | < 0.014       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| COBRE                         | mg/l      | < 0.027       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| CROMO TOTAL                   | mg/l      | < 0.065       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| PLOMO                         | mg/l      | < 0.090       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| NIQUEL                        | mg/l      | < 0.027       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| ZINC                          | mg/l      | 0.110         | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| GRASAS Y ACEITES              | mg/l      | 10.70         | +/-           | 0.01 | NMX-AA-005-SCFI-2001 |
| ARSENICO                      | mg/l      | < 0.001       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |
| CIANUROS                      | mg/l      | < 0.02        | -             | -    | NMX-AA-058-SCFI-2001 |
| MERCURIO                      | mg/l      | < 0.002       | -             | -    | NMX-AA-051-SCFI-2001 |



## 5.4 – Propuesta y Descripción del Proyecto

Como es posible observar en los análisis los metales pesados y cianuros están dentro de los límites máximos permisibles de acuerdo a la **NOM-001-ECOL-96** por lo que no es necesario aplicar algún proceso químico para su degradación y basta con un proceso biológico, es por esto que se propone implementar un sistema de lagunas el cual se llevara a cabo por el “Método de Yañez” el cual consta de tres tipos de lagunas que son las lagunas anaerobias, facultativas y de maduración colocándolas en ese orden además de calcular las dimensiones de cada una.

Para llevar a cabo el método se requiere de la siguiente información:

**Tabla 5.3.1:** Información Requerida Para El Método De Yañez

| PARAMETRO                              |
|----------------------------------------|
| GASTO MEDIO                            |
| DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO          |
| COLIFORMES FECALES                     |
| TEMPERATURA DE DISEÑO                  |
| TEMP. AMBIENTE DURANTE P. TRATABILIDAD |
| TASA DE EVAPORACION NETA               |
| PROFUNDIDAD DE LA LAGUNA ANAEROBIA     |
| PROFUNDIDAD DE LA LAGUNA FACULTATIVA   |
| PROFUNDIDAD DE LA LAGUNA DE MADURACION |

## 5.5– Dimensionamientos de la PTAR Propuesta.

Para establecer el gasto medio se utiliza una población de proyecto que tendrá la comunidad de Chilchota durante los años de vida útil del sistema para la cual se establece hasta el año 2030 que es aproximadamente el tiempo que trabajara la PTAR, se calcula en base al total de viviendas que existen en la comunidad y el índice de hacinamiento con el que cuenta, dichos valores son tomados de la información proporcionada por el INEGI teniéndose una Tasa de Crecimiento Estatal de 2.20% y una población al 2010 que fue el último año censado de 7,673 pobladores, obteniéndose la siguiente tabla:

**Tabla 5.4.1:** Población de Proyecto.



| AÑO  | Pob. Proyecto. |
|------|----------------|
| 2010 | 7,673          |
| 2011 | 7,842          |
| 2012 | 8,014          |
| 2013 | 8,191          |
| 2014 | 8,371          |
| 2015 | 8,555          |
| 2016 | 8,743          |
| 2017 | 8,936          |
| 2018 | 9,132          |
| 2019 | 9,333          |
| 2020 | 9,538          |
| 2021 | 9,748          |
| 2022 | 9,963          |
| 2023 | 10,182         |
| 2024 | 10,406         |
| 2025 | 10,635         |
| 2026 | 10,869         |
| 2027 | 11,108         |
| 2028 | 11,352         |
| 2029 | 11,602         |
| 2030 | 11,857         |

Población Proyecto para el año 2030 =**11,857**

Ahora bien, tomando en cuenta que la dotación de agua para la población se estima en 175 l/hab. día, de los cuales se genera una aportación del 75% los cuales son captados para su tratamiento , podemos obtener el gasto medio.

**Tabla 5.4.2:** Gasto a tratar para la población estimada

| Población | Dotación<br>lts/día | Aportación 75%<br>l/día | Lts/seg | m3/dia  |
|-----------|---------------------|-------------------------|---------|---------|
| 11857.00  | 175.00              | 1556231.25              | 18.01   | 1556.23 |

Los valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y Coliformes Fecales se toman de las pruebas de laboratorio realizadas en las descargas de la comunidad de las cuales se resume lo siguiente:



### Descarga 1

Tanaquillo, Municipio de Chilchota, Mich.

| FECHA       | HORA     | GASTO<br>(l/s) | Q PROM.<br>(l/s) | DBO<br>(mg/l) | COLIFORMES<br>FECALES<br>(NMP/100ml) |
|-------------|----------|----------------|------------------|---------------|--------------------------------------|
| 17/06/2010  | 13:00:00 | 5.07           | 3.81             | 310.40        | 49,520,754.00                        |
|             | 17:00:00 | 4.23           |                  |               |                                      |
|             | 21:00:00 | 3.42           |                  |               |                                      |
| 18/06/20010 | 1:00:00  | 3.26           |                  |               |                                      |
|             | 5:00:00  | 2.31           |                  |               |                                      |
|             | 9:00:00  | 4.56           |                  |               |                                      |

### Descarga 2

Acachuen, Municipio de Chilchota, Mich.

| FECHA       | HORA     | GASTO<br>(l/s) | Q PROM.<br>(l/s) | DBO<br>(mg/l) | COLIFORMES<br>FECALES<br>(NMP/100ml) |
|-------------|----------|----------------|------------------|---------------|--------------------------------------|
| 17/06/2010  | 13:10:00 | 2.07           | 1.52             | 514.50        | 37,602,064.00                        |
|             | 17:10:00 | 1.63           |                  |               |                                      |
|             | 21:10:00 | 1.23           |                  |               |                                      |
| 18/06/20010 | 1:10:00  | 0.76           |                  |               |                                      |
|             | 5:10:00  | 1.12           |                  |               |                                      |
|             | 9:10:00  | 2.33           |                  |               |                                      |

### Descarga 3

Clinica ISSSTE, Municipio de Chilchota, Mich.

| FECHA       | HORA     | GASTO<br>(l/s) | Q PROM.<br>(l/s) | DBO<br>(mg/l) | COLIFORMES<br>FECALES<br>(NMP/100ml) |
|-------------|----------|----------------|------------------|---------------|--------------------------------------|
| 17/06/2010  | 13:20:00 | 0.98           | 0.76             | 53.90         | 3,757,725.00                         |
|             | 17:20:00 | 0.87           |                  |               |                                      |
|             | 21:20:00 | 0.51           |                  |               |                                      |
| 18/06/20010 | 1:20:00  | 0.32           |                  |               |                                      |
|             | 5:20:00  | 0.81           |                  |               |                                      |
|             | 9:20:00  | 1.05           |                  |               |                                      |



#### Descarga 4

Clinica ISSSTE (puente rio chilchota), Municipio de Chilchota, Mich.

| FECHA      | HORA     | GASTO (l/s) | Q PROM. (l/s) | DBO (mg/l) | COLIFORMES FECALIS (NMP/100ml) |
|------------|----------|-------------|---------------|------------|--------------------------------|
| 17/06/2010 | 13:30:00 | 0.48        | 0.41          | 205.50     | 24,204,922.00                  |
|            | 17:30:00 | 0.39        |               |            |                                |
|            | 21:30:00 | 0.18        |               |            |                                |
| 18/06/2010 | 1:30:00  | 0.08        |               |            |                                |
|            | 5:30:00  | 0.26        |               |            |                                |
|            | 9:30:00  | 1.04        |               |            |                                |

#### Descarga 5

Huertas Zarzamora, Municipio de Chilchota, Mich.

| FECHA      | HORA     | GASTO (l/s) | Q PROM. (l/s) | DBO (mg/l) | COLIFORMES FECALIS (NMP/100ml) |
|------------|----------|-------------|---------------|------------|--------------------------------|
| 17/06/2010 | 13:40:00 | 27.94       | 14.93         | 66.30      | 18,379,264.00                  |
|            | 17:40:00 | 19.20       |               |            |                                |
|            | 21:40:00 | 6.99        |               |            |                                |
| 18/06/2010 | 1:40:00  | 5.99        |               |            |                                |
|            | 5:40:00  | 10.27       |               |            |                                |
|            | 9:40:00  | 19.20       |               |            |                                |

#### Descarga 6

Colonia Chapala, Municipio de Chilchota, Mich.

| FECHA      | HORA     | GASTO (l/s) | Q PROM. (l/s) | DBO (mg/l) | COLIFORMES FECALIS (NMP/100ml) |
|------------|----------|-------------|---------------|------------|--------------------------------|
| 17/06/2010 | 13:50:00 | 1.88        | 1.67          | 302.10     | 4,712,560.00                   |
|            | 17:50:00 | 1.96        |               |            |                                |
|            | 21:50:00 | 1.42        |               |            |                                |
| 18/06/2010 | 1:50:00  | 0.96        |               |            |                                |
|            | 5:50:00  | 1.77        |               |            |                                |
|            | 9:50:00  | 2.03        |               |            |                                |

|             |        |
|-------------|--------|
| DBO prom. = | 155.20 |
|-------------|--------|

|                   |               |
|-------------------|---------------|
| Coliformes prom.= | 23,417,249.32 |
|-------------------|---------------|



La temperatura de diseño la tomamos igualmente de los datos obtenidos por las pruebas realizadas obteniendo una temperatura del agua de 23°C.

Los datos de la Temperatura Ambiente y la Tasa De Evaporación Neta se toman del “Programa De Desarrollo Urbano De Centro De Población De Chilchota” publicado en el PERIODICO OFICIAL DEL GOBIERNO CONSTITUCIONAL DEL ESTADO DE MICHOACAN DE OCAMPO publicado el 12 de Julio del 2010 obteniendo la siguiente información:

Temperatura Ambiente: **19 °C**

Tasa De Evaporación: **6 mm/d**

Finalmente la profundidad de las lagunas es propuesta siendo la laguna anaerobia la más profunda debido a que se quiere evitar la presencia de oxígeno y en contraparte la laguna de pulimento debe de poseer menos profundidad ya que se requiere aumentar el oxígeno para la desinfección del agua.

**Tabla 5.4.3: DATOS DEL PROYECTO**

| PARAMETRO                               | NOMENCLATURA   |              | VALOR    | UNIDAD       |
|-----------------------------------------|----------------|--------------|----------|--------------|
| GASTO MEDIO                             | Q med.         | <b>18.01</b> | 1556.06  | (m3/d)       |
| DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO           | DBO            |              | 155.20   | (mg/l)       |
| COLIFORMES FECALES                      | No,Ni          |              | 2.34E+07 | NMP/100 ml   |
| TEMPERATURA DE DISEÑO                   | T <sub>d</sub> |              | 23.0     | (°C)         |
| TEMP. AMBIENTE DURANTE P. TRATABILIDAD  | T              |              | 19.00    | (°C)         |
| TASA DE EVAPORACION NETA                | e              |              | 6        | (mm/d)       |
| COLIFORMES FECALES EN EL EFLUENTE <1000 | Ne             |              | 1000     | (NMP/100 ml) |
| PROFUNDIDAD DE LA LAGUNA ANAEROBIA      | Z1             |              | 4.5      | (m)          |
| PROFUNDIDAD DE LA LAGUNA FACULTATIVA    | Z2             |              | 2.0      | (m)          |
| PROFUNDIDAD DE LA LAGUNA DE MADURACION  | Z3             |              | 1.5      | (m)          |

**Tabla 5.4.4: LAGUNA ANAEROBIA**

| PARAMETRO         | FORMULAS     | VALORES | UNIDADES |
|-------------------|--------------|---------|----------|
| CARGA VOLUMETRICA | CV = 20T-100 | 360     | g/m3d    |



|                                                |                                                  |        |                |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------|----------------|
| VOLUMEN                                        | $V_a = ((\text{DBO} \times Q_{\text{med}})/C_v)$ | 671    | m <sup>3</sup> |
| TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRAULICO                | $\text{TRH}_a = V_a/Q_{\text{med}}$              | 0.43   | d              |
| AREA                                           | $A_{an} = V_a/Z_1$                               | 149.08 | m <sup>2</sup> |
| RELACION LARGO/ANCHO                           | $X_1$                                            | 6.00   |                |
| LARGO                                          | $L$                                              | 29.91  | m              |
| ANCHO                                          | $W$                                              | 4.98   | m              |
| % DE REMOCION DE DBO PARA LA EST. MAS FRIA     | $R = 2T_d + 20$                                  | 66     | %              |
| PARA LA ESTACION CALIDA DE 20 ° C              |                                                  | 64     | %              |
| DBO EN EL EFLUENTE PARA LA ESTACIÓN MAS FRIA   | $R \text{ DBO} = (\%R \times \text{DBO})$        | 102    | mg/l           |
| DBO EN EL EFLUENTE PARA LA ESTACIÓN MAS CALIDA | $R \text{ DBO} = (\%R \times \text{DBO})$        | 99     | mg/l           |

**Tabla 5.4.5: LAGUNA FACULTATIVA**

| PARAMETRO                                    | FORMULAS                                        | VALORES   | UNIDADES         |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------|------------------|
| CARGA SUPERFICIAL                            | $C_{sf} = 250(1.085)^{(T_d - 20)}$              | 319.32    | Kg/(Ha-d)        |
| CARGA ORGANICA                               | $C.O. = Q \times R_{\text{DBO}}$                | 159.39    | kg/d             |
| AREA DE LA LAGUNA                            | $A_f = ((C.O.)/C_s) \times 10000$               | 4991.54   | m <sup>2</sup>   |
| RELACION LARGO / ANCHO                       | $X = L / W$                                     | 10.00     |                  |
| ANCHO DE LA LAGUNA                           | $W = V_a/X$                                     | 22.34     | m.               |
| LARGO DE LA LAGUNA                           | $L = W \times X$                                | 223.42    | m.               |
| DISPERSION                                   | $d = X / (-0.26118 + 0.25392X + 1.0135X^2)$     | 0.10      |                  |
| COEFICIENTE DE DECAIMIENTO (C.F.)            | $K_b = 0.841(1.075)^{T_d - 20}$                 | 1.04      |                  |
| VOLUMEN                                      | $V_f = W \times L_a \times Z_2$                 | 9983.08   | m <sup>3</sup> . |
| TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRAULICA              | $\text{TRH}_f = V/Q_{\text{med.}}$              | 6.42      | d.               |
| COEFICIENTE $a_1$ (C.F.)                     | $a_1 = \sqrt{1 + 4K_b \text{TRH}_d}$            | 1.89      |                  |
| COLIF. FEC. EN EL EFLUENTE                   | $N_f/N_o = (4a_1 e^{((1-a_1)/2d)}) / (1+a_1)^2$ | 0.01      |                  |
| COLIF. FEC. EN EL TIEMPO $i$ DEL EXPERIMENTO | $N_f = N_o \times N_f/N_o$                      | 206173.36 | NMP/100 ml       |



|                                             |  |       |      |
|---------------------------------------------|--|-------|------|
| COEFICIENTE DE REMOCION DE DBO              |  | 0.24  |      |
| DBO EN EL INFLUENTE DE L. FACULTATIVA       |  | 99.33 |      |
| DBO EN EL EFLUENTE DE LA LAGUNA FACULTATIVA |  | 23.84 | mg/l |

**Tabla 5.4.6: LAGUNA DE MADURACIÓN**

| PARAMETRO                                  | FORMULA                                     | VALOR    | UNIDAD           |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------|----------|------------------|
| ANCHO DE LA LAGUNA                         | $Wm1 =$                                     | 17.93    | m.               |
| LARGO DE LA LAGUNA                         | $Lm1 =$                                     | 179.33   | m.               |
| RELACION LARGO / ANCHO                     | $X = Lm1 / Wm1$                             | 10.00    |                  |
| VOLUMEN                                    | $V = TRHm1 \times Qmed$                     | 4823.80  | m <sup>3</sup> . |
| AREA                                       | $A = V/Z3$                                  | 3215.87  | m <sup>2</sup>   |
| DISPERSION                                 | $d = X / (-0.26118 + 0.25392X + 1.0135X^2)$ | 0.10     |                  |
| COEFICIENTE DE DECAIMIENTO                 | $Kb = 0.841(1.075)^{Td-20}$                 | 1.04     |                  |
| COEFICIENTE "a2" PARA LA LAGUNA            | $a2 = \text{SQRT}(1+4KbTRHd)$               | 1.50     |                  |
| COLIFORMES FECALES EN EL EFLUENTE          | $Nf/No = (4a2e^{((1-a2)/2d)})/(1+a2)^2$     | 0.07     |                  |
| COLIF. FEC. EN EL TIEMPO i DEL EXPERIMENTO | $Nf = No * NfNo * 1$                        | 14833.82 | NMP/100 ml       |
| COEFICIENTE DE REMOCION DE DBO             |                                             | 0.21     |                  |
| COEFICIENTE a PARA DBO                     | $a = \text{SQRT}(1+4KdTRHd)$                | 1.12     |                  |
| DBO EN EL INFLUENTE DE L. MADURACION 1     |                                             | 23.84    |                  |
| DBO EN EL EFLUENTE EN L MADURACIÓN 1       | $Nf = No * 0.75$                            | 17.88    | mg/l             |



# Capítulo 6



## CONCLUSIONES

Habiendo hecho los cálculos necesarios para obtener el dimensionamiento de las lagunas, se puede resumir en una tabla las medidas obtenidas;

**Tabla 6.1: RESUMEN DEL DIMENSIONAMIENTO DE LAS LAGUNAS**

| Tipo de laguna       | No. de Lagunas | Largo (m) | Ancho (m) | Área (m <sup>2</sup> ) | Profundidad (m) | Área Acumulada (m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|----------------|-----------|-----------|------------------------|-----------------|----------------------------------|
| LAGUNA ANAEROBIA     | 1.00           | 29.91     | 4.98      | 149.08                 | 4.50            | 149.08                           |
| LAGUNA FACULTATIVA   | 1.00           | 223.42    | 22.34     | 4,991.54               | 2.00            | 4,991.54                         |
| LAGUNA DE MADURACION | 1.00           | 179.33    | 17.93     | 3,215.87               | 1.50            | 3,215.87                         |

De los resultados obtenidos se puede observar que el área necesaria para llevar a cabo el sistema propuesto es relativamente grande, lo que conlleva a un inversión inicial elevada, no obstante, se tiene la ventaja de que la comunidad donde se propone la construcción de la PTAR cuenta con una extensión de terreno suficiente para abastecer dicha necesidad, además que no debemos olvidar el objetivo principal que es tratar el agua residual generada por el municipio a un bajo costo y con el mínimo requerimiento para operar, es por eso que el método de lagunaje sigue siendo una opción bastante viable y recomendada para la comunidad rural ya que sus costos de operación son bastante bajos y la energía eléctrica requerida es mínima, recuperando así la inversión ejercida y asegurando un correcto funcionamiento durante el periodo de vida de la planta.

Todo esto ayudara a mantener la belleza natural que el pueblo posee, la cual se está acabando debido en gran parte a la contaminación generada por la mancha urbana y para este caso en particular, por el agua residual que es vertida directamente sobre los cuerpos de agua sin tener un adecuado tratamiento ocasionando el deterioro de la flora y fauna.



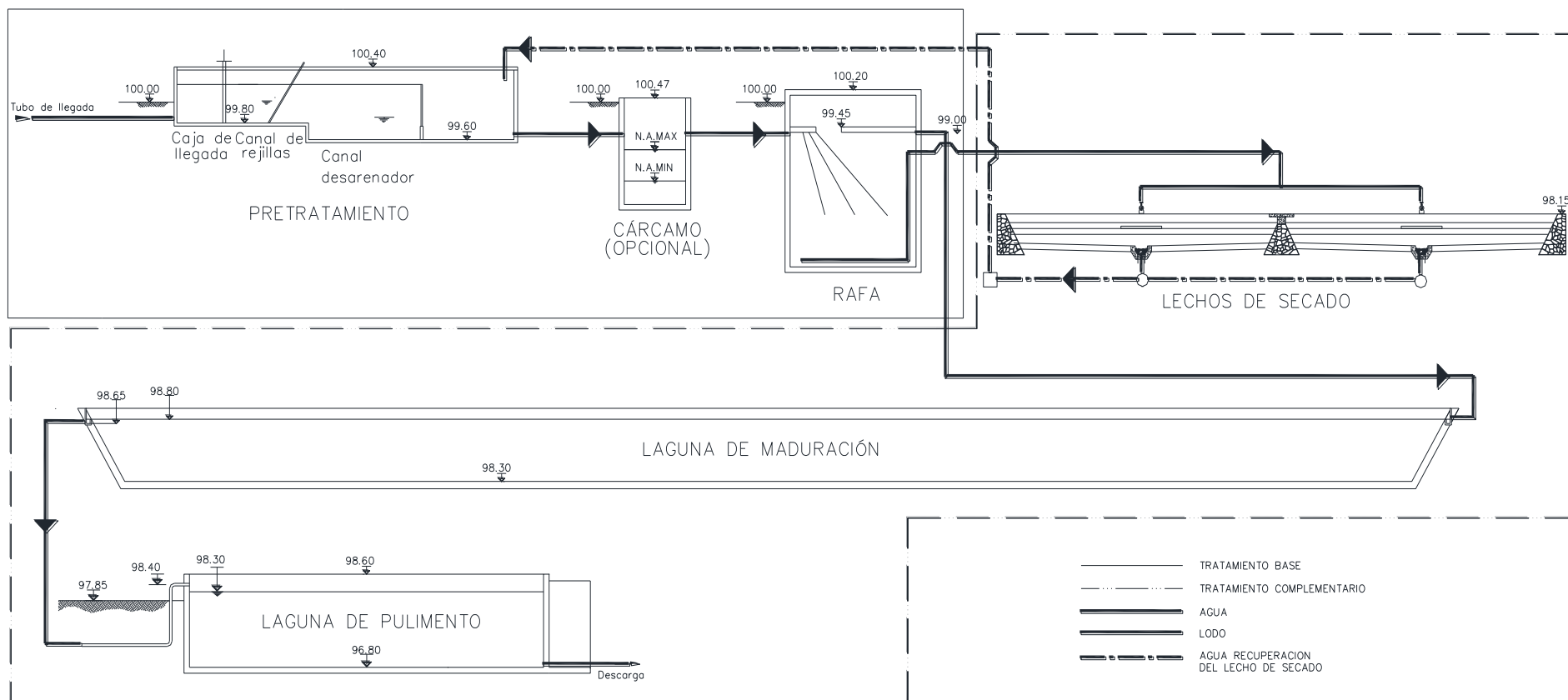
# Anexos



Para la realización del proyecto, el comité de agua potable, alcantarillado y saneamiento del estado de Michoacán, proporciona los planos de diferentes plantas tipo, facilitando así la planeación para su construcción, adaptando los planos proporcionados a las dimensiones calculadas.

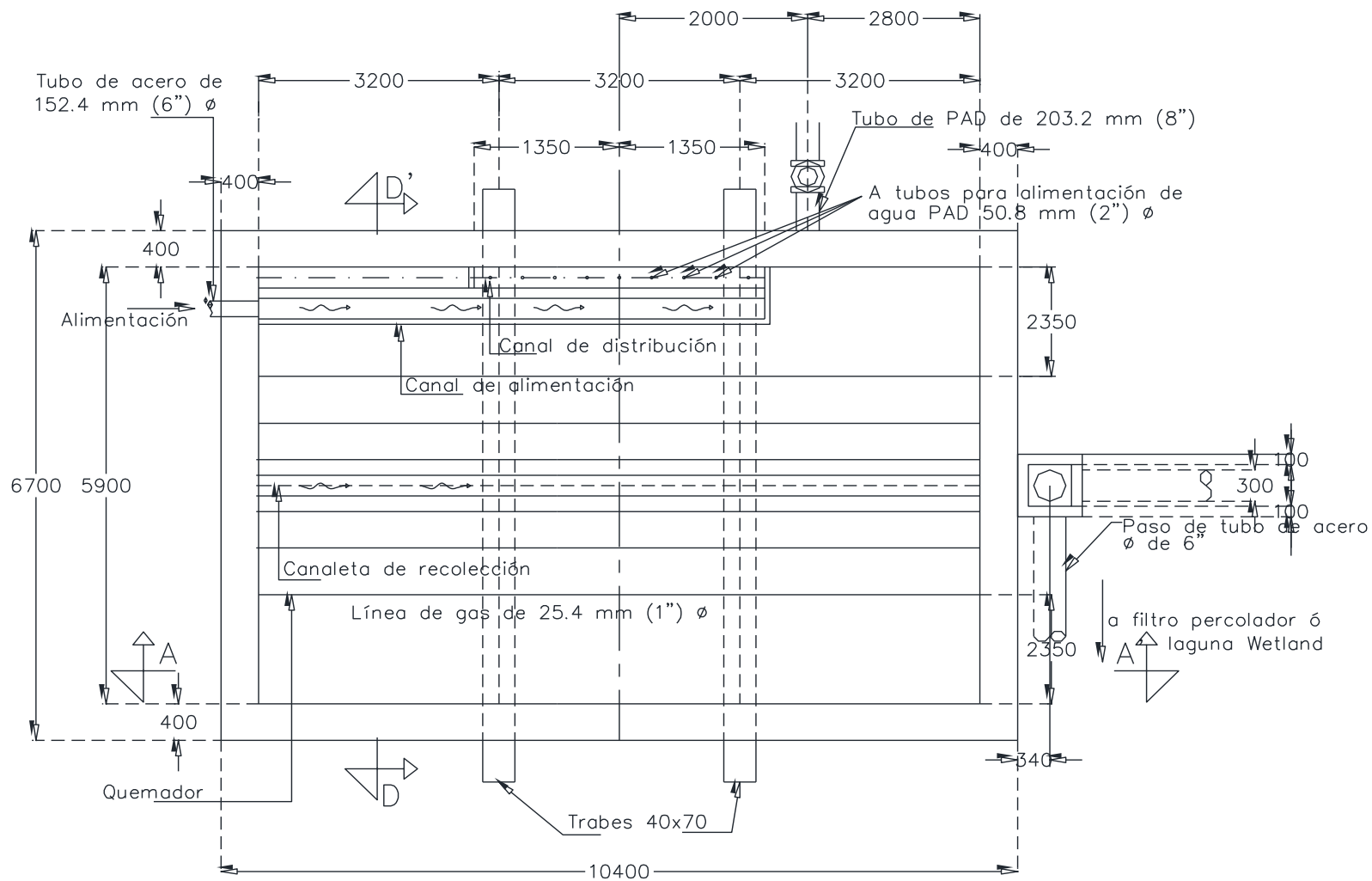


ANEXO 1- DIAGRAMA DE FLUJOS DE LA PLANTA TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES

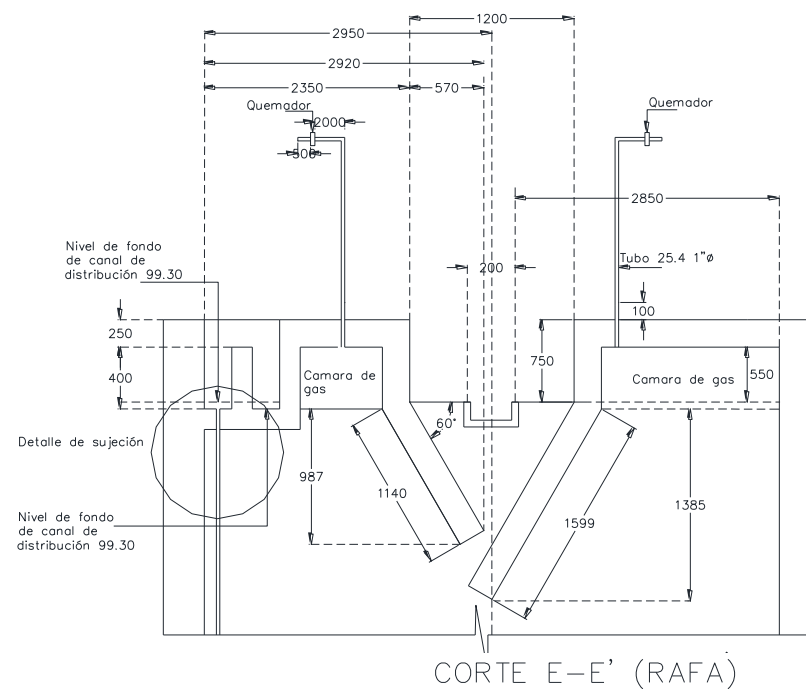
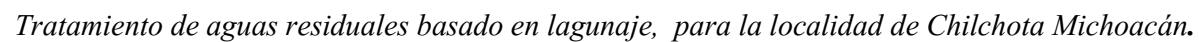




## ANEXO 2- REACTOR ANAEROBIO

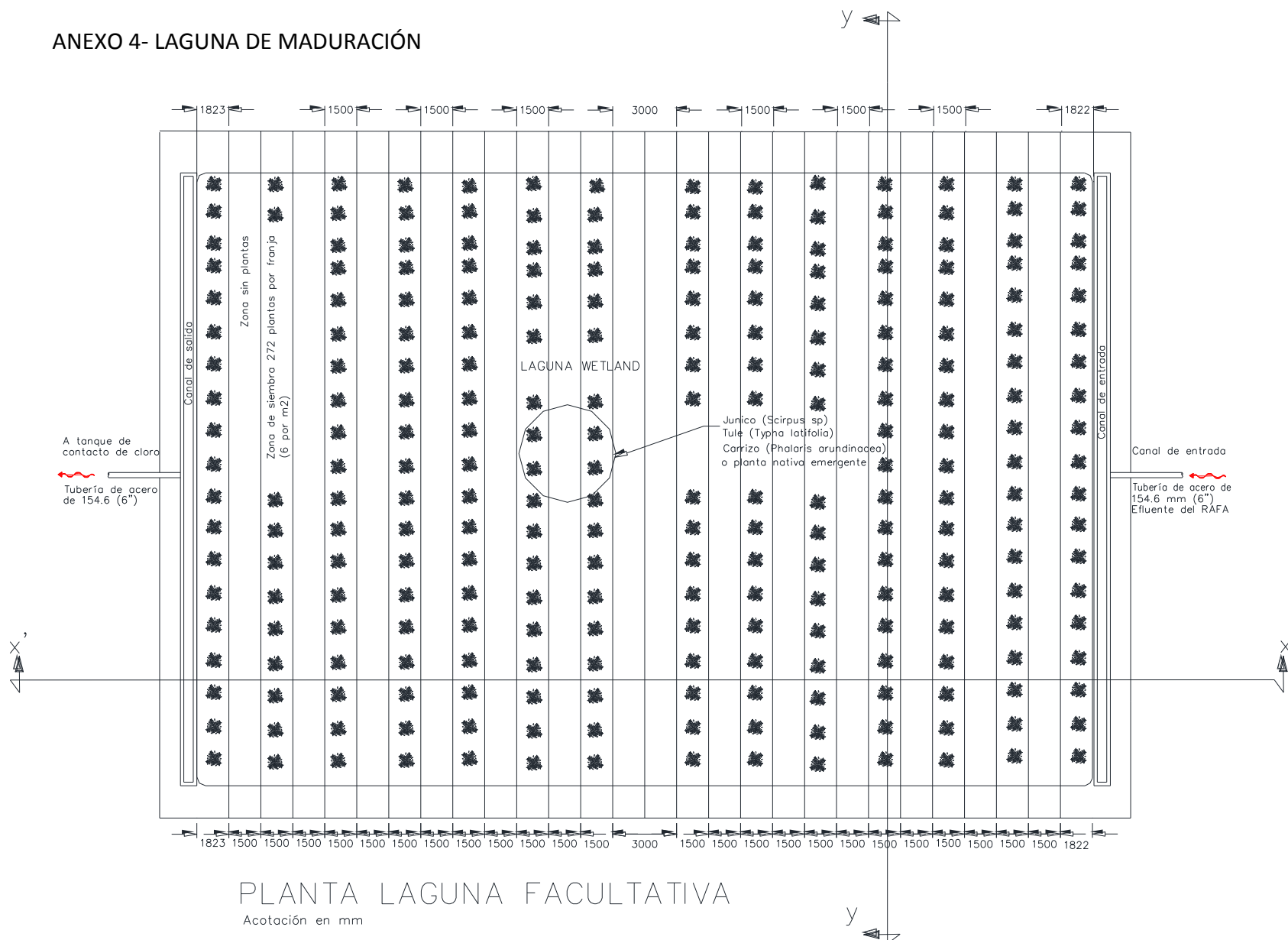


PLANTA  
REACTOR ANAEROBIO(RAFA)





#### ANEXO 4- LAGUNA DE MADURACIÓN

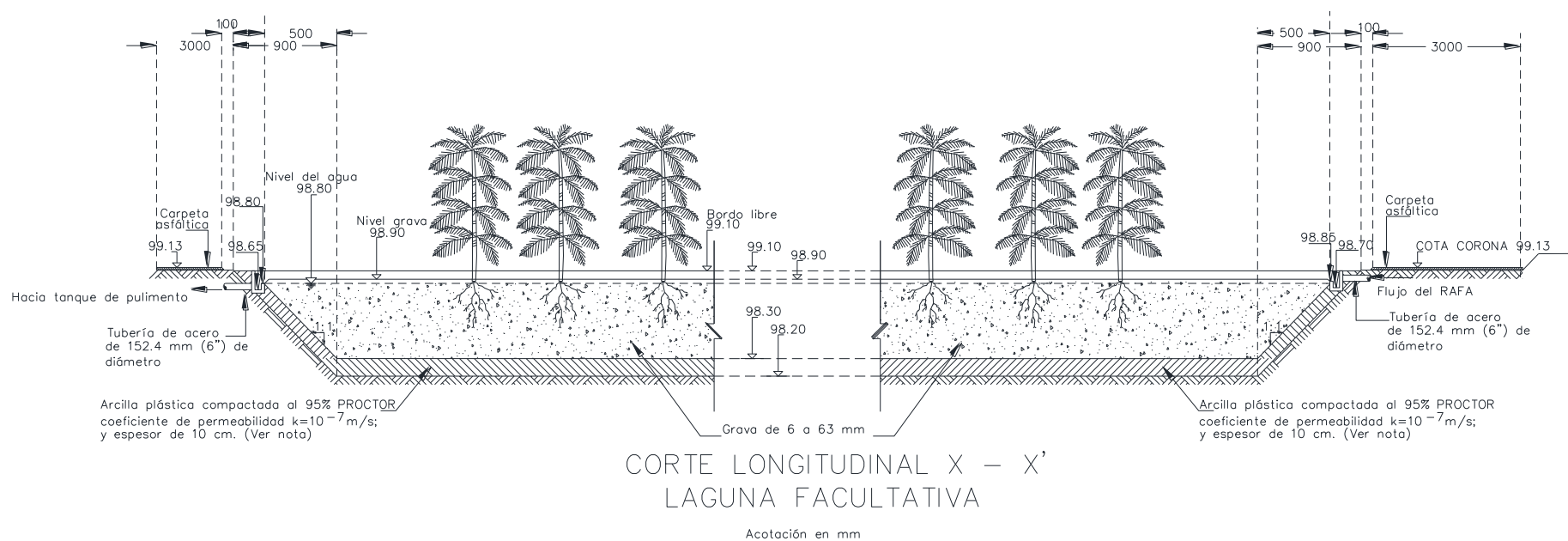


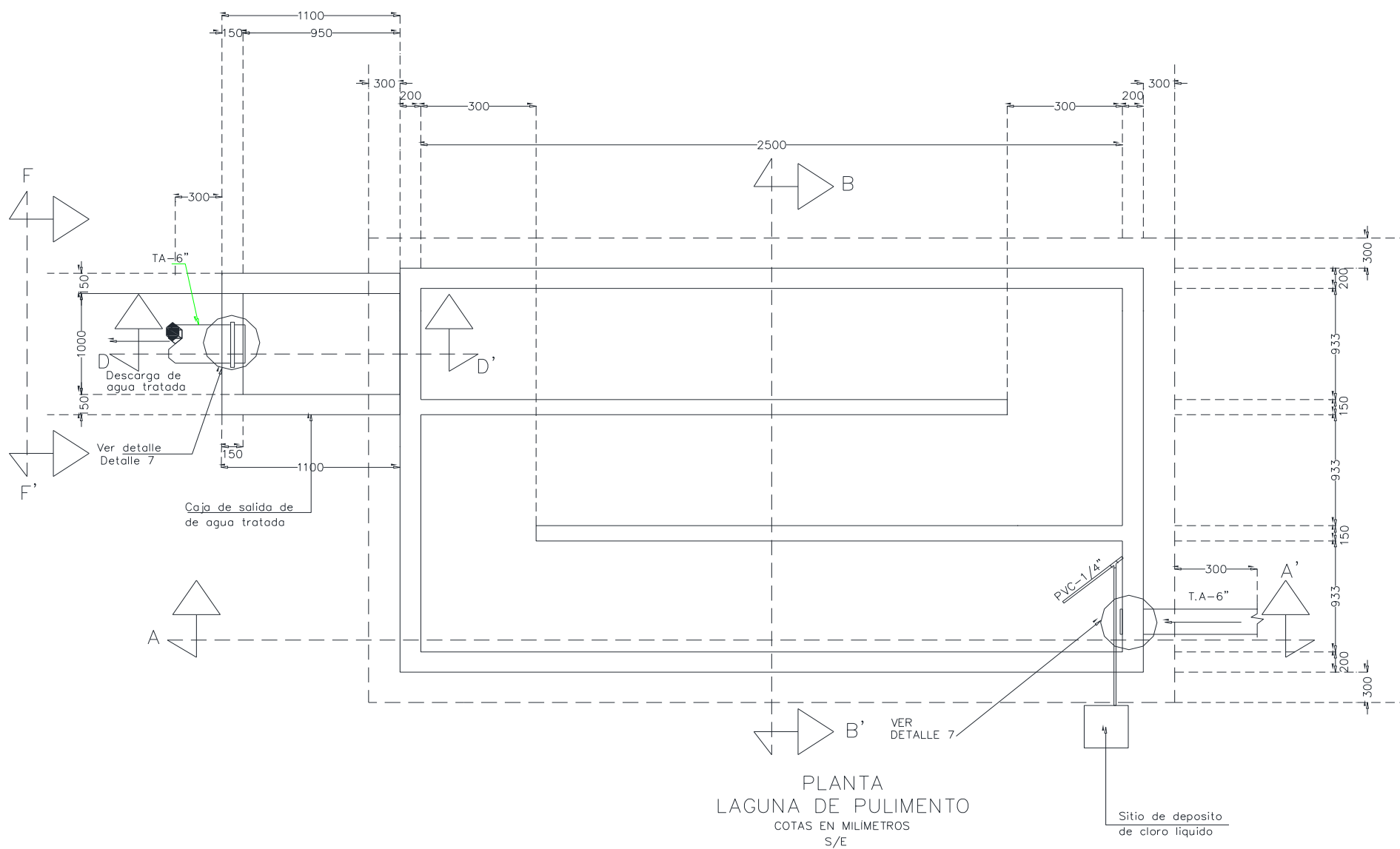
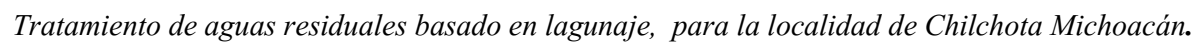
PLANTA LAGUNA FACULTATIVA

Acotación en mm



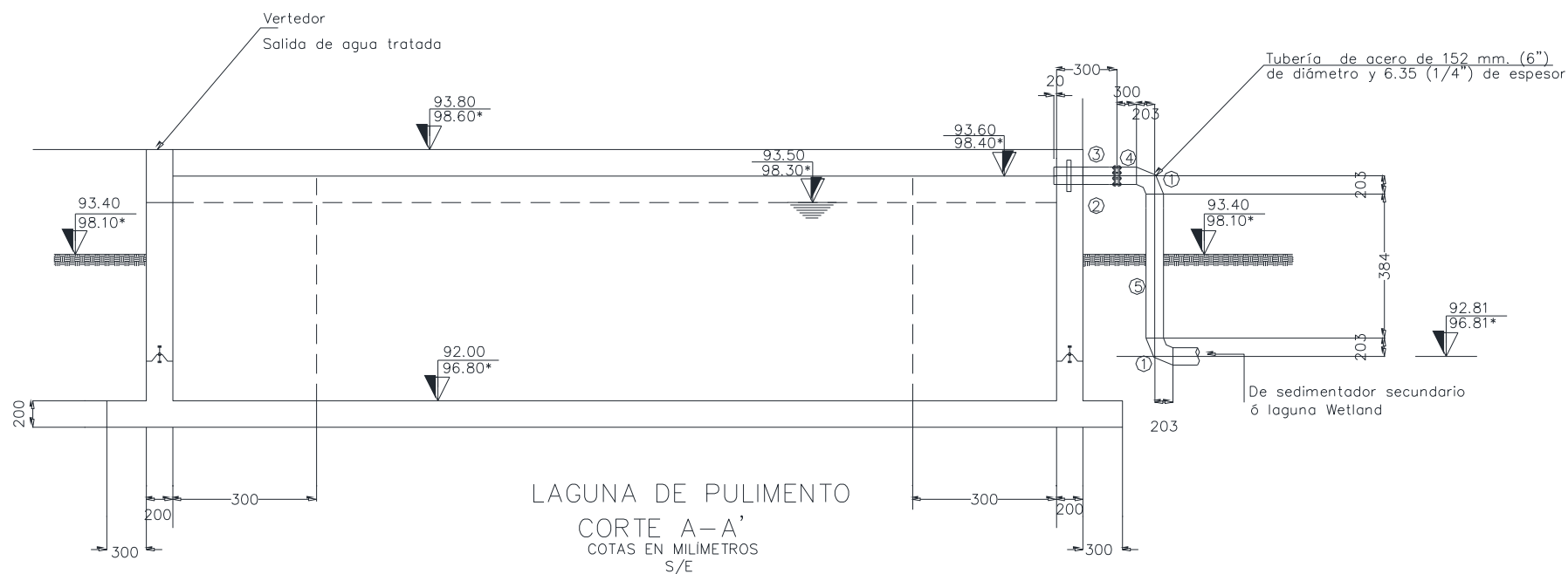
## ANEXO 5- CORTE LAGUNA DE MADURACIÓN





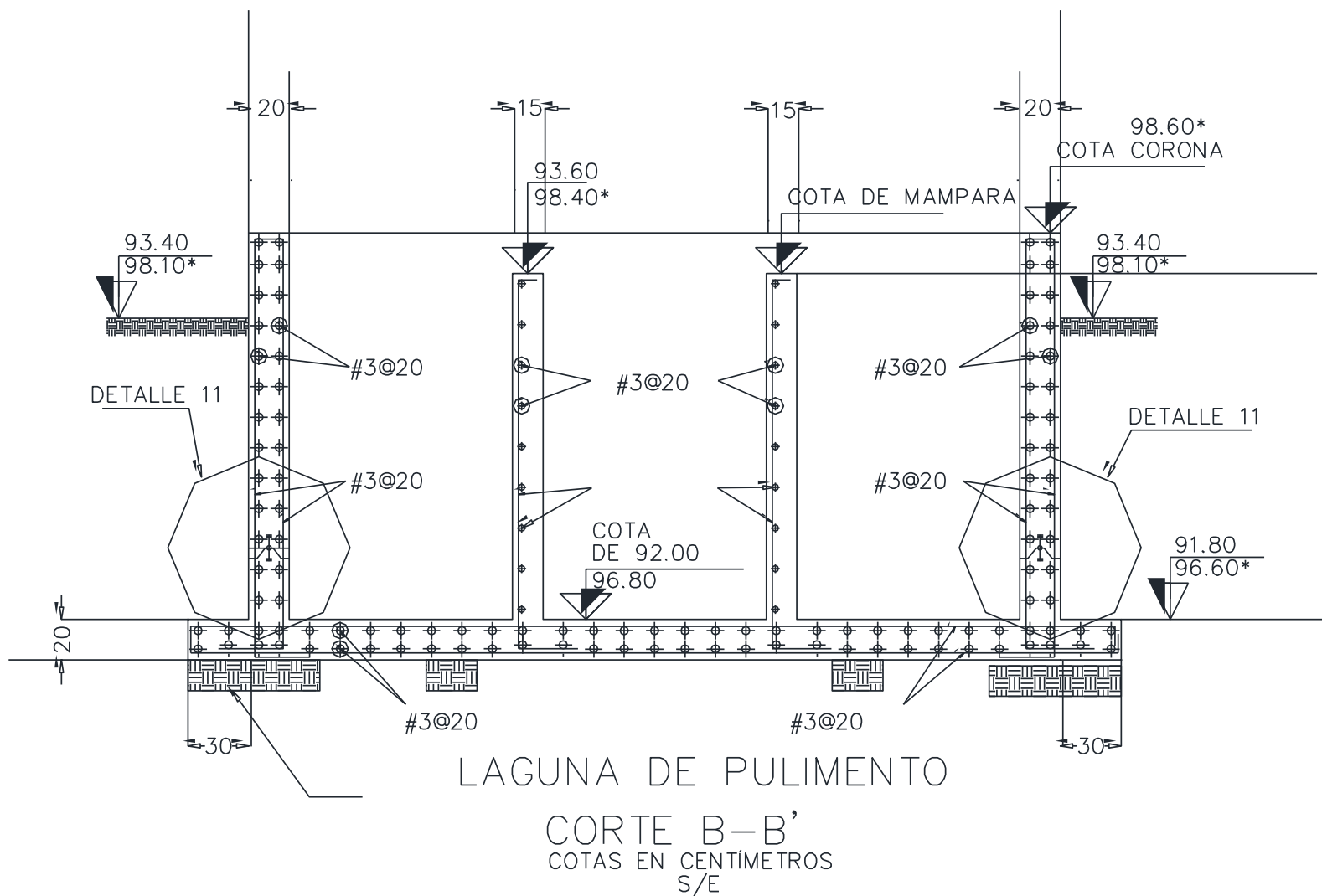


## ANEXO 7- CORTE LAGUNA DE PULIMENTO





ANEXO 8- CORTE LAGUNA DE PULIMENTO





# BIBLIOGRAFÍA



- SISTEMAS DE MANEJO DE AGUAS RESIDUALES, PARA NÚCLEOS PEQUEÑOS Y DESCENTRALIZADOS.  
R. CRITES, R. TCHOBANOGLOUS, MC GRAW HILL, 2000.
- SISTEMAS ALTERNATIVOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y LODOS PRODUCIDOS  
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
- TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN  
3ª EDICIÓN  
JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS
- MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO  
DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN  
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
- INGENIERIA SANITARIA\_  
TRATAMIENTO, EVACUACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES  
METCALF & EDDY, INC.
- TRATAMIENTO Y DEPURACION DE LAS AGUAS RESIDUALES  
METCALF & EDDY, INC.
- BROCK BIOLOGIA DE LOS MICROORGANISMOS  
MICHAEL T. MANDIGAN, JOHN M. MARTINKO
- ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MÉXICO.  
EDICIÓN 2011  
SEMARTAN
- TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
R.S. RAMALHO
- INGENIERÍA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES.  
ENRIQUE, CÉSAR VALDEZ, ALBA B., VÁZQUEZ GONZÁLEZ
- OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA  
CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE
- SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES  
NOM-001-ECOL-96



- [mexico.cnn.com/planetacnn](http://mexico.cnn.com/planetacnn)
- [www.fao.org/](http://www.fao.org/)
- [www.elecologista.com.mx](http://www.elecologista.com.mx)
- [nationalgeographic.es/medio-ambiente](http://nationalgeographic.es/medio-ambiente)
- [www.explorandomexico.com.mx](http://www.explorandomexico.com.mx)
- [www.proyectopv.org](http://www.proyectopv.org)