



*"Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre"*

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS  
ECONÓMICO-ADMINISTRATIVAS**

**Programa de Doctorado en Ciencias en Economía  
Agrícola**

**TESIS**

**MICROPLANTA DE TRATAMIENTO SMART,  
COMO HERRAMIENTA, PARA LA  
SUSTENTABILIDAD HÍDRICA DE MÉXICO**



DIRECCION GENERAL ACADEMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

**PRESENTA:  
CRISTÓBAL MUÑOZ YASUNARI**

**Que como requisito parcial para obtener el grado de:  
DOCTOR EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA**

Chapingo-Texcoco, Estado de México. Diciembre, del 2015.



**MICROPLANTA DE TRATAMIENTO SMART, COMO HERRAMIENTA, PARA LA SUSTENTABILIDAD HÍDRICA DE MÉXICO.**

Tesis realizada por Yasunari Cristóbal Muñoz bajo la dirección del Dr. José María Salas González revisada y aprobada por el comité revisor y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

*"DOCTOR EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA"*

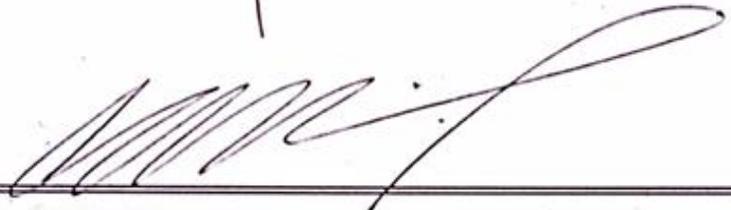
DIRECTOR



---

DR. JOSÉ MARÍA SALAS GONZÁLEZ

ASESOR



---

DR. IGNACIO CAAMAL CAUICH

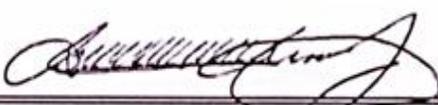
ASESOR



---

DR. MARCOS PORTILLO VÁZQUEZ.

LECTOR EXTERNO



---

DR. DAVID CRISTOBAL ACEVEDO

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la Universidad Autónoma Chapingo, mi alma mater, por darme los elementos necesarios para enfrentar la vida profesional.**

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), que generosamente me otorgo la beca, lo que permitió dedicarme de tiempo completo a los estudios de posgrado**

**A mi comité revisor, integrado por el Dr. José María Salas González, Dr. Ignacio Caamal Cauich, Dr Marcos Portillo Vázquez y al lector externo Dr. David Cristóbal Acevedo por su valiosa aportación y asesoría durante el desarrollo de este trabajo de tesis.**

**A mis maestros por sus invaluable conocimientos transmitidos en el desarrollo de sus cátedras a través de los 4 años de mi estancia en esta institución.**

**A mis compañeros y amigos, en especial a Placido, Elizabeth y Bibiana, por su apoyo a lo largo del Doctorado.**

**A la Licenciada Mayadebhi Isabel Lobato García por su apoyo a lo largo de esta tesis y su comprensión.**

**A David Cristóbal Acevedo padre y maestro cuyas enseñanzas y consejos quedaran imborrables en mi persona.**

**A la Ing. Edith Muñoz Ibarra mi madre, por su cariño e instrucción durante estos 29 años.**

**A mis hermanos David e Irouri Cristóbal Muñoz por su apoyo y compañía.**

## DEDICATORIA

*A mis padres, el Dr. David Cristóbal Acevedo y la Ing. Edith Muñoz Ibarra, seres ejemplares que siempre han trabajado y velado por sus hijos, por su amor, apoyo, cariño y comprensión.*

*A mis hermanos David e Irouri por su apoyo incondicional durante mi vida.*

## DATOS BIOGRÁFICOS

*Yasunari Cristóbal Muñoz, nació el 21 de agosto de 1986 en la ciudad de Texcoco de Mora, Estado de México, desde su infancia ha vivido en este municipio.*

*Del año 2001 a 2008 realizó sus estudios profesionales en la Universidad autónoma Chapingo, donde obtuvo el título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables; evaluó la dinámica del agua y de nitrógeno bajo tratamiento convencional y orgánico. Esta investigación constituyó su tesis profesional.*

*En el periodo 2009 – 2011, curso los estudios de Maestría en Ciencias en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales en la Universidad Autónoma Chapingo, donde realizó una investigación que ofrece una alternativa en el combate de la pobreza alimentaria, titulada, IMPACTO ECONÓMICO, SOCIAL Y AMBIENTAL DEL MODELO, “GRANJA ORGÁNICA, EFRAÍM HERNÁNDEZ X” EN ITZTAZACUALA, HIDALGO.*

*En el periodo 2011 – 2015, curso los estudios de Doctorado en Ciencias en Economía Agrícola en la Universidad Autónoma Chapingo, donde realizó una investigación que ofrece una herramienta para el manejo sustentable del agua, intitulada, MICROPLANTA DE TRATAMIENTO SMART, COMO HERRAMIENTA, PARA LA SUSTENTABILIDAD HÍDRICA DE MÉXICO.*

*En el periodo 2014 a la fecha, ha participado en eventos científicos difundiendo sus trabajos de investigación referidos y dando pláticas sobre temas relacionados con la economía y el ambiente de forma específica en economía de los recursos naturales.*

## ÍNDICE GENERAL

	Pag.
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>VI</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>VII</b>
<b>I.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>001</b>
<b>II.- OBJETIVOS</b>	<b>002</b>
<b>III.- HIPÓTESIS</b>	<b>003</b>
<b>IV.- REVISIÓN LITERARIA</b>	<b>004</b>
4.1.- El Agua.	004
4.1.1.- Concepto	004
4.1.2.- Desarrollo	005
4.1.3.- Escases del agua dulce	006
4.1.4.- Importancia del agua en las plantas	007
4.1.5.- Calidad	007
4.1.6.- Tipos de agua residuales	009
4.2.- Tratamiento del agua.	010
4.2.1.- Concepto	010
4.2.2.- Tratamientos físicos	012
4.2.3.- Tratamientos químicos	012
4.2.4.- Tratamientos biológicos:	013
4.2.5.- Uso de aguas residuales	014
4.3.- Sustentabilidad.	016
4.3.1.- Concepto	016
4.3.2.- Desarrollo verde	019
4.3.3.- El estudio de la sustentabilidad	019
4.3.4.- Sustentabilidad Hídrica	021
4.4.- El Agua como un Bien Económico	028
4.4.1.- Concepto	028
4.4.2.- Productividad del agua	030
<b>V.- MÉTODO Y PROCEDIMIENTO</b>	<b>031</b>

5.1.- Método.	031
5.1.1- Sitio de estudio, México	032
5.1.2.- Población	034
5.1.3.- El agua en México	036
5.1.4.- Calidad del Agua	037
5.1.5.- La problemática en zonas secas	038
5.1.6.- Consumo del agua	039
5.1.7.- Infraestructura Hidráulica	039
5.1.8.- Tarifas del agua en México	040
5.1.9.- Aguas residuales en México	043
5.1.10.- Riesgos a la salud por agua contaminada	043
5.2.- Entrevista a Especialistas	045
5.3.- Metodología SMART	046
5.3.1- Diseño Smart	047
5.4.- Normas oficiales mexicanas del agua	048
5.4.1- NOM-001-SEMARNAT-1996	048
5.4.2- NOM-002-SEMARNAT-1996	050
5.4.3- NOM-003-SEMARNAT-1997	051
5.5.- Análisis Económico	052
<b>VI.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>053</b>
6.1.- Entrevista a Especialistas	053
6.1.1- Pretratamiento	054
6.1.2- Tratamientos Primarios	055
6.1.3- Tratamientos Secundarios	056
6.1.4- Tratamientos Terciarios	058
6.1.5- Químicos	060
6.2.- Microplanta de Tratamiento Smart	065
6.2.1- Modulo 1	065
6.2.2- Modulo 2	067
6.2.3- Modulo 3	068
6.2.4- Modulo 4	068
6.2.5- Modulo 5	069

6.2.6- Microplanta SMART Vs Expertos	069
6.3.- Cumplimiento de la norma NOM-003-SEMARNAT-1997	070
6.4.- Análisis económico	074
<b>VII.- CONCLUSIONES</b>	<b>078</b>
<b>VIII.- BIBLIOGRAFIA</b>	<b>079</b>
<b>IX.- ANEXOS</b>	<b>085</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Población mexicana y proyecciones del 2007 al 2030 .....	18
Cuadro 2.-Inversión mexicana en infraestructura hidráulica en millones de pesos mexicanos .....	19
Cuadro 3. Tarifas 2015, del agua en México para: agua potable, alcantarillado, saneamiento y total para 30 m <sup>3</sup> .....	25
Cuadro 4.- Límites máximos requeridos para el cumplimiento de la NOM-003-SEMARNAT-1997.....	53
Cuadro 5.- Procesos y tratamientos más frecuentes en el pretratamiento de aguas residuales, según los expertos.....	61
Cuadro 6.- Procesos y tratamientos más frecuentes en el tratamiento primario de aguas residuales, según los expertos.....	82
Cuadro 7. Procesos y tratamientos más frecuentes en el tratamiento secundario de aguas residuales, según los expertos .....	84
Cuadro 8. Procesos y tratamientos más frecuentes en el tratamiento terciario de aguas residuales, según los expertos.....	87
Cuadro 9. Microplanta SMART Vs Expertos.....	88
Cuadro 10. Resultados del análisis de aguas tratadas con el uso de la microplanta SMART.....	88
Cuadro 11. Resultados del análisis de aguas tratadas con uso de químicos en la microplanta SMART.....	89
Cuadro 12. Análisis económico para microplanta de tratamiento SMART .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Filtrado simple .....	21
Figura 2.- Procesos de planta de tratamiento. ....	66
Figura 3. Localización de México en el Mundo. ....	67
Figura 4. Consumo mundial del agua .....	68
Figura 5. Prueba de Jarras. ....	70
Figura 6. Esquema de la Microplanta de tratamiento SMART.....	71

## MICROPLANTA DE TRATAMIENTO SMART, COMO HERRAMIENTA, PARA LA SUSTENTABILIDAD HÍDRICA DE MÉXICO.

### WASTE WATER TREATMENT "SMART" MICROPLANT, A TOOL, FOR THE HYDRIC SUSTAINABILITY OF MÉXICO.

Diciembre del 2011

December 2011.

(Bajo la dirección del Dr. José María Salas González (Under the direction of Ph. D. Dr. José María Salas González)

#### RESUMEN

Con la finalidad de Evaluar la eficiencia de la microplanta de tratamiento SMART, en el tratamiento de aguas residuales. Para proponerla como una alternativa, en el combate de la contaminación del agua y favorecer la sustentabilidad hídrica de México. Se realizó una entrevista a especialistas e investigadores en el tratamiento de aguas residuales. Poniendo especial atención; en la inversión, volumen de tratamiento, costos, procesos, módulos, espacio y tecnologías más recientes e innovadoras.

Posteriormente se diseñó una planta de tratamiento optimizando sus costos y tamaño, sin descuidar su capacidad en el tratamiento de aguas residuales. Utilizando como apoyo el método SMART.

Consecutivamente se construyó un modelo a escala de esta microplanta de tratamiento SMART y se instaló en: una empresa, un hogar y una escuela. Analizando las aguas tratadas antes y después de la instalación de la misma, usando la *NOM-003-SEMARNAT-1997* como guía.

Finalmente se agregaron a los diferentes tratamientos los siguientes químicos:  $TiO_2$ ,  $Al_2(OH)_5Cl_2 \cdot 5H_2O$  y  $Ca(ClO)_2$  en una dosis de 80, 24 y 2 mg/L respectivamente.

Obteniendo resultados favorables ya que el agua adquirida del análisis con excepción de  $DBO_5$  en el caso de la empresa evaluada, se encuentran dentro de los límites máximos permisibles para su uso tanto en el riego de bosques, áreas verdes y en la agricultura para producción de alimentos ganaderos, fomentando la sustentabilidad hídrica de México.

**Palabras Clave:** Planta de tratamiento, sustentabilidad hídrica y México.

#### ABSTRACT

With the goal to evaluate the efficiency of the SMART microplant treatment in wastewater treatment and to aim it, as an alternative against water pollution, and promoting water sustainability in Mexico. An interview with specialists and researchers was performed in the treatment of wastewater. Focusing in, on investment, treatment volume, costs, processes, modules, space and latest technologies and innovative.

Later, a treatment plant was designed; its cost and its size were optimized, without neglecting its capacity in the sewage treatment. Using, as supporting, the SMART method.

Consecutively a model was built to scale this microplant SMART treatment and settled on: an enterprise, a home and a school. Analyzing the treated water before and after installing it, using *NOM-003-SEMARNAT-1997* as a guide.

Finally the different treatments were added the following chemicals:  $TiO_2$ ,  $Al_2(OH)_5Cl_2 \cdot 5H_2O$  and  $Ca(ClO)_2$  in a dose of 80, 24 and 2 mg/L respectively.

Favorable results were obtained from water samples by the analysis method, except the  $DBO_5$ , for the specific case of the company which was evaluated. The results, showed those maximum permissible limits for using in the forest irrigation, landscaping and agriculture for food production that promotes water sustainability in Mexico.

**Key words:** Waste Water Treatment, hydric sustainability and México.

## I.- INTRODUCCIÓN

El aumento constante de las aguas residuales producidas por las comunidades urbanas y las industrias de todo el mundo plantea problemas potenciales para la salud y el medio ambiente. Todos los países están buscando métodos seguros, inocuos y eficaces para proteger el medio ambiente en función de los costos; Para depurar y/o utilizar las aguas residuales como una herramienta para el crecimiento sustentable.

México es un país megadiverso debido a su distribución en el planeta (latitud, longitud) y a su orografía, proporcionando un mosaico de climas y ecosistemas. Si bien en algunas regiones del país el agua es suficiente para satisfacer las demandas sin conflicto de por medio, en dos tercios del territorio, donde ocurre el mayor desarrollo económico y la concentración demográfica, existe una gran presión sobre el vital líquido, de por sí escaso, al encontrarse comprometido para usos previamente establecidos. Entonces, resulta de gran importancia articular un modelo de gestión de recursos hídricos cada vez más eficiente y flexible, acorde con su entorno, sin limitar el desarrollo económico y social del país.

Actualmente el agua ha sido reconocida como un bien estratégico y de seguridad nacional, y se ha convertido en el elemento central de las actuales políticas ambientales y económicas, así como un factor clave del desarrollo social. Lograr que todos los cuerpos de agua superficiales y subterráneos del país recuperen su salud, aporten caudales para satisfacer las necesidades de la población y contribuyan al crecimiento económico y calidad de vida de la población; requiere indudablemente del tratamiento de sus aguas contaminadas y su reintroducción al ciclo hidrológico de forma salubre y eficiente. Planteando la necesidad de innovar de forma constante en las técnicas de tratamiento y aportando conocimientos y estrategias para conseguir la sustentabilidad hídrica del país.

## **II.- OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la eficiencia de la microplanta de tratamiento SMART, en el tratamiento de aguas residuales, para favorecer la sustentabilidad hídrica de México.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

- \*Analizar diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales con uso eficiente del espacio.
  
- \*Cuantificar los costos de la implementación de la microplanta de tratamiento SMART.
  
- \*Construir un modelo a escala de la microplanta de tratamiento SMART.
  
- \*Cuantificar la eficiencia de la microplanta de tratamiento SMART en el tratamiento de aguas residuales.
  
- \*Enumerar las ventajas de la microplanta SMART en comparación con sus contrapartes más cercanas.
  
- \*Enlistar los usos y beneficios ambientales y económicos que se generan al implementar la microplanta de tratamiento SMART en México

### **III.- HIPÓTESIS**

1. La microplanta de tratamiento SMART tiene un bajo costo de inversión he instalación.
2. La construcción de la microplanta de tratamiento SMART se realiza en un periodo corto de tiempo.
3. La microplanta de tratamiento SMART es eficiente en el tratamiento de aguas residuales.
4. La microplanta de tratamiento SMART tiene una mayor cantidad de ventajas que desventajas al compararla con otras microplantas de tratamiento existentes.
5. El agua obtenida de la microplanta de tratamiento Smart puede usarse en el riego de áreas verdes, en la agricultura y en el riego de bosques.
6. La microplanta de tratamiento SMART favorece la sustentabilidad hídrica de México.

## IV.-Revisión de Literatura

### 4.1.- El Agua.

#### 4.1.1.- Concepto

Agua: Acu o aqu (latín), ak (maya), atl (náhuatl), xúdig (pima), bá-a (yaqui), hidro (griego) itsiamani (tarasco o purépecha), compuesto formado por la combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, dispuestos en un ángulo de  $105^\circ$ , con el oxígeno en el vértice. Es un líquido inodoro e insípido, que en pequeña cantidad es incoloro, y en grandes masas adquiere tonos verdosos; que refracta la luz, disuelve las sustancias, se solidifica por el frío, se evapora por el calor y, más o menos puro, forma la lluvia, los manantiales, los ríos y los mares. El agua es buena acumuladora de calor de la naturaleza y equilibra las fluctuaciones térmicas (CONAGUA, 2012).

El agua es la parte esencial del protoplasma vegetal, constituye un elemento de la fotosíntesis y un medio indispensable de suministro de elementos nutritivos, además, el agua proporciona humedad al suelo, de donde las plantas la absorben mediante el sistema radical para los procesos fisiológicos (Aguilera, 1980).

En muchas unidades de producción se obtienen rendimientos muy bajos en la cosecha de cultivos, las causas de estas, son muchas; sin embargo entre estas es frecuente observar primero que no se proporcionan la cantidad de agua necesaria al cultivo y segundo que los riegos no se aplican con oportunidad (Palacios, 1973).

En algunas condiciones de la agricultura de temporal no ofrece seguridad en la producción, dada la escasez y lo aleatorio de las lluvias (Anaya, 1973)

#### **4.1.2.- Desarrollo**

Desde el momento en que el hombre apareció y pobló la Tierra, el agua se convirtió en una fuente esencial para su supervivencia y desarrollo, desde entonces, también ha sido motivo de competencia tanto con otras especies como con la suya. Los asentamientos humanos florecieron, en su mayoría, junto a cuerpos de agua que hacían posible la agricultura y el abastecimiento de dicho recurso, que brindaba la seguridad alimentaria y la hidratación de sus cuerpos, así como los de sus animales domésticos. El agua es fundamental para la seguridad alimentaria. El ganado y los cultivos necesitan agua para vivir. La agricultura requiere grandes cantidades de agua para riego, además de agua de calidad para los distintos procesos productivos. El sector agrícola se postula como el mayor consumidor de agua del planeta dada su función productiva, no solo de alimentos, sino también de otros cultivos no comestibles como el algodón, el hule o los aceites industriales, cuya producción, no deja de crecer. El riego exige cerca del 70% del agua dulce originalmente destinada para uso humano (ONU, 2014).

La disponibilidad de agua es apremiante para el bienestar de la sociedad, sin embargo miles de m<sup>3</sup> son utilizados por la agricultura, la ganadería y la industria. Las fuentes de agua superficial son eje de desarrollo de los seres humanos que permiten el abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas llevadas a cabo en los asentamientos poblacionales; no obstante, de forma paradójica muchas de estas actividades causan alteración y deterioro de las mismas (Torres et al., 2009).

#### **4.1.3.- Escases del agua dulce**

Aunque el 70% de la superficie del mundo está cubierta de agua, sólo el 2,5% del volumen total es agua dulce, mientras que el 97,5% es agua salada. Casi el 77% de esa agua dulce está congelada en los casquetes polares y glaciares. Del 23% restante, la mayor parte (el 22,5%) se presenta como humedad del suelo o se encuentra en profundos acuíferos subterráneos inaccesibles. Menos del 1% de los recursos de agua dulce del mundo está al alcance del consumo humano en ríos y lagos. Lo anterior se desprende de un informe publicado por las Naciones Unidas después de la Cumbre de Johannesburgo (Pónton, 2008).

De acuerdo con el Banco Mundial (2004), las cifras del agua dulce renovable, en metros cúbicos per cápita al año 2000 para el mundo en su conjunto es de 8513; el Congo 227509; Papua New Guinea 148940; Gabon 124715; Canadá 92532; Noruega 86602; Perú 65797; Chile 56707; Colombia 48293; Brasil 41941; Argentina 23693; Indonesia 3405; Estados Unidos 9772; Alemania 2158; Inglaterra 2482; China 2210; Irán 1961; India 1819 e Israel 259.

Analizando la distribución de agua dulce por continente;

- América Latina y el Caribe participan con el 31% del total.
- Asia del Este y Pacífico participan con el 22% del total.
- Los países de alto ingreso en el mundo participan con el 21% del total.
- Europa y Asia Central participan con el 12% del total.
- Los países africanos al sur del Sahara participan con el 9% del total.
- Sur de Asia participa con el 4% del total.

- Medio Oriente y Norte de África participan con el 1% del total.

#### **4.1.4.- Importancia del agua en las plantas**

Sin agua, la vida tal como la conocemos no podría existir, los organismos vivos se originan en un ambiente acuoso y en el curso de la evolución han llegado ser absolutamente dependientes del agua en diversos sentidos, el agua es esencial para las plantas, ya que es un constituyente del protoplasma y a veces puede contener hasta 95 por ciento o más del peso total. Cuando el protoplasma se deshidrata deja de ser activo y, por debajo de un cierto contenido hídrico muere. Esto se debe que a que casi todas las sustancias orgánicas del protoplasma, comprendidos los carbohidratos, proteínas y ácidos nucleicos, están hidratados en su estado natural y si se elimina el agua se ven afectadas sus propiedades físicas y químicas (Sutcliffe, 1977).

#### **4.1.5.- Calidad**

De acuerdo con la ONU (2014) la calidad del agua es más una condición respecto al uso que una variable cuantificable, dependerá del fin al que este predestinada; esta se modifica por acción climática, como lo son el exceso de sedimentos después de un evento de arrastre por acción de la lluvia, cambios de temperatura y estados tróficos con respecto a la ubicación del cuerpo de agua; sin embargo actualmente el desarrollo antrópico con la industria y la agricultura, se ha dedicado a sobreexplotar este recurso y a contaminar como reacción directa o secundaria de sus acciones, la calidad a nivel mundial es multivariable, desde la gran reserva de agua en el lago Baikal en Rusia, siendo el más profundo y

transparente, hasta la preocupante situación de la franja de gaza en el suroeste de Israel, la cual tiene una de las mayores densidades de población con más de 3200 habitantes por kilómetro cuadrado, el 90% de sus recursos hídricos no son potables, lo que anexa múltiples muertes a su situación actual, enfermedades como el cólera y el tifus son el resultado del incremento de nitratos en el suelo proveniente de aguas residuales (sólo la tercera parte del agua residual en gaza es tratada) estos residuos van a dar a los mantos freáticos que es la principal fuente de agua de gaza, dado que su consumo es de agua fósil (ONU, 2014).

Urbanización, crecimiento poblacional, crecimiento industrial, todo esto repercute en cierto sentido en la calidad del agua, desde el aumento en su demanda, hasta su contaminación, miles de m<sup>3</sup> son utilizados por la agricultura, la ganadería y la industria, esta agua se consume y sufre cambios, mismos que no siempre son tratados por lo que es pertinente identificar cuáles son los parámetros de calidad de agua potable, los anexos 1, 2, y 3 muestran las directrices de la OMS para la calidad del agua potable, establecidas en Génova, 1993, las cuales son el punto de referencia internacional para el establecimiento de estándares y seguridad del agua potable. Casi 900 millones de personas en el mundo no tienen acceso al agua potable.

El informe OMS-UNICEF 2012b menciona que china tiene 119 millones de personas sin acceso al agua potable mejorada, seguida por la India (97 millones), Nigeria (66 millones) y Etiopía (46 millones). Respecto al tema de saneamiento el 63% de la población mundial utiliza baños y sistemas de saneamiento adecuados, la ODM se ha propuesto para el 2015 aumentar dicho porcentaje a un 75%, sin

embargo 2500 millones de personas carecen de sistemas de saneamiento, aproximadamente el 15% de la población mundial defecan al aire libre de las cuales 950 millones viven en zonas rurales.

#### **4.1.6.- Tipos de agua residuales**

Existe una variedad de formas en que se presentan las aguas antes de comenzar un proceso de tratamiento algunas de las más conocidas son las siguientes (Metcalf & Eddy, 1996):

**AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (ARD):** son las provenientes de las actividades domésticas de la vida diaria como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza, etc. Estos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas. Su composición varía según los hábitos de la población que los genera.

**AGUAS LLUVIAS (ALL):** Son las originadas por el escurrimiento superficial de las lluvias que fluyen desde los techos, calles, jardines y demás superficies del terreno. Los primeros flujos de ALL son generalmente muy contaminados debido al arrastre de basura y demás materiales acumulados en la superficie. La naturaleza de esta agua varía según su procedencia: zonas urbanas, rurales, semi rurales y aún dentro de estas zonas, se presentan enormes variaciones según el tipo de actividad o uso del suelo que se tenga.

**RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES (RLI):** son los provenientes de los diferentes procesos industriales. Su composición varía según el tipo de proceso industrial y aún para un mismo proceso industrial, se presentan características

diferentes en industrias diferentes. Los RLI pueden ser alcalinos o ácidos, tóxicos, coloreados, etc, su composición refleja el tipo de materias primas utilizado dentro del proceso industrial.

**AGUAS RESIDUALES AGRÍCOLAS (ARA):** son las que provienen de la escorrentía superficial de las zonas agrícolas. Se caracterizan por la presencia de pesticidas, sales y un alto contenido de sólidos en suspensión. La descarga de esta agua es recibida directamente por los ríos o por los alcantarillados.

## 4.2.- Tratamiento del agua.

### 4.2.1.- Concepto

El tratamiento de aguas es uno de las formas más antiguas de protección para la salud pública. Desde hace muchos años, el hombre ha tratado el agua para eliminar residuos, reducir los riesgos a la salud y mejorar su calidad en cuanto a su apariencia, olor color y sabor. Desde épocas tan antiguas se trataba el agua hirviéndola, exponiéndola al sol, depositándola en recipientes para su sedimentación o filtrándola a través de arena o grava para purificarla (Figura 2). En la actualidad muchas de estas técnicas son utilizadas para tratamiento de las aguas ya sean de abastecimiento o aguas residuales y se complementan con las técnicas físicas y químicas modernas (Arellano y Guzmán 2011).

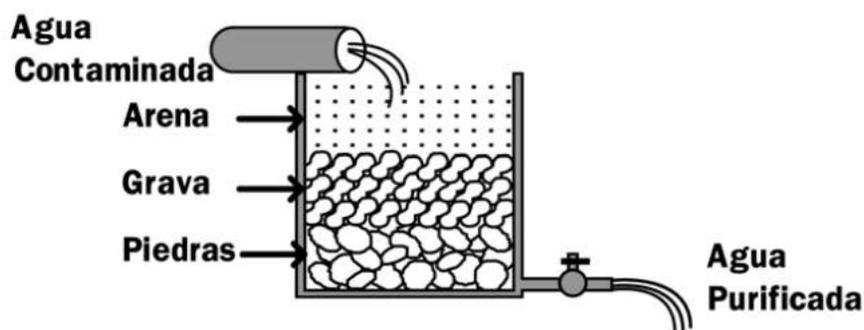


Figura 1. Filtrado simple.

Los asentamientos urbanos son la causa principal de contaminación de las fuentes de agua. Más del 80% de las aguas residuales en los países en desarrollo se descargan sin tratamiento, contaminando ríos, lagos y zonas costeras (WWAP, 2015). Incluso en algunos países desarrollados, el tratamiento de las aguas residuales urbanas está lejos de ser satisfactorio. Las aguas residuales urbanas constituyen una carga de contaminación importante y es particularmente peligrosa cuando se mezcla con residuos industriales sin tratar— una práctica usual, poco castigada y en crecimiento—. Muchas grandes ciudades no tienen todavía plantas de tratamiento o las que tienen no se dan abasto, ya que el incremento de la población urbana ha superado las acciones e inversiones (WWDR3, 2009).

El mayor riesgo sobre la salud pública se da a través de los cuerpos de agua para suministro, tan sólo en el estado de Hidalgo en el Anuario de estadística 2013 reportó 109, 028 nuevos casos de infecciones intestinales por organismos patógenos y 20 ,363 nuevos casos de Amebiasis intestinal para 2012 (OMS-UNICEF, 2012b).

La descarga de aguas residuales municipales e industriales, así como los fenómenos climáticos alteran las características físicas, químicas del agua alterando la concentración de oxígeno disuelto propiciando el desarrollo de colonias bacterianas como Escherichia Coli y la proliferación de Cestodos y Helmintos. A su vez esta presencia microbiana fija el nitrógeno atmosférico y el disuelto en los desechos humanos, oxidando estos compuestos hasta nitritos y nitratos (OMS- UNICEF, 2012).

De acuerdo con Arellano y Guzmán (2011) existe una cantidad considerable de procesos para tratamiento de aguas, los cuales se pueden clasificar en tres categorías: físicos, químicos y biológicos.

#### **4.2.2.- Tratamientos físicos**

Estos tratamientos no generan sustancias nuevas, sino que concentran los contaminantes al evaporar el agua o filtran los sólidos de tamaño considerable. Los tratamientos físicos más comunes son: filtración, adsorción, aireación, floculación, sedimentación y filtración (Lapeña, 1989).

#### **4.2.3.- Tratamientos químicos**

Estos tratamientos dan como resultado la formación de nuevas sustancias, los más comunes son: coagulación, desinfección, ablandamiento y oxidación (Lapeña, 1989).

#### 4.2.4.- Tratamientos biológicos:

De acuerdo con La peña (1989) son aquellos que utilizan organismos vivos para provocar cambios químicos, este tipo de tratamientos puede ser visto como una modalidad de tratamiento químico, de estos podemos mencionar la digestión aerobia y la anaerobia.

Todos estos tratamientos tienen lugar en lo que se conoce como planta de tratamiento, cuya finalidad principal es acondicionar el agua para consumo humano (Figura 2).

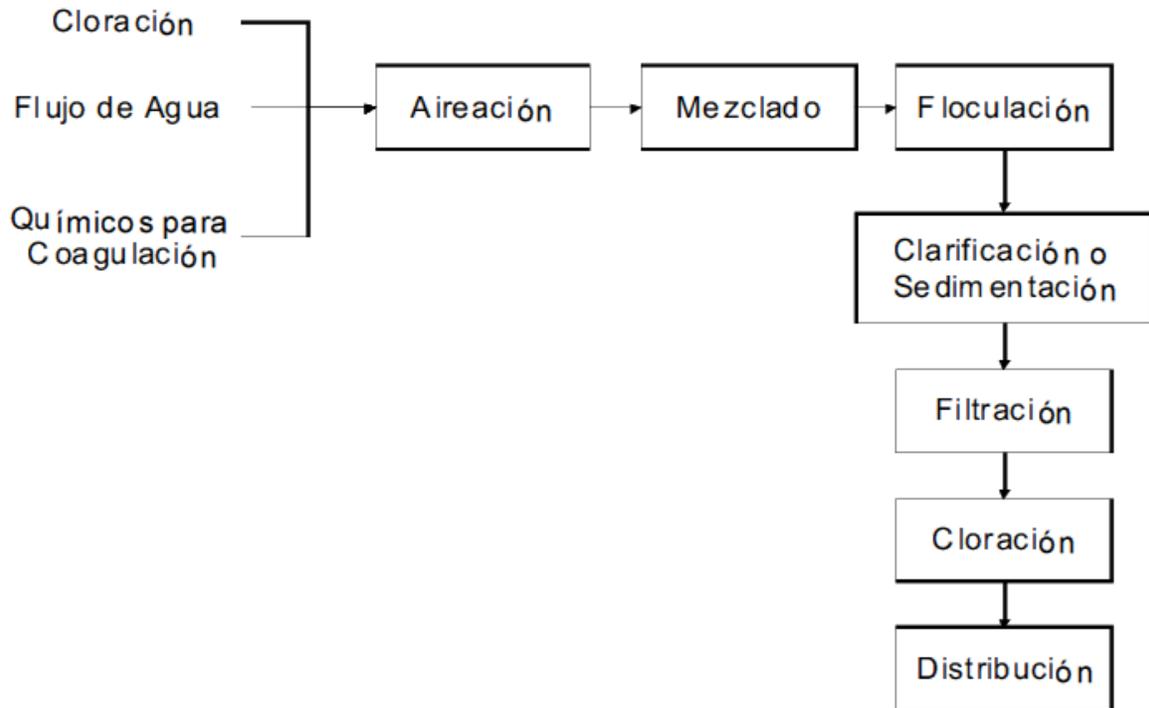


Figura 2. Procesos de planta de tratamiento

Cerca de 900 millones de personas en el mundo no tienen acceso al agua potable, a su vez 2600 millones de personas no cuentan con los servicios de saneamiento

mínimo, de las cuales resalta que el 40% la población en África, no tiene acceso a agua potable; respecto a México el índice per cápita de disponibilidad de agua es de 4312 m<sup>3</sup>/ habitantes / año colocándolo en la posición 89 a nivel mundial (CONAGUA, 2008).

#### **4.2.5.- Uso de aguas residuales**

La utilización de aguas residuales urbanas para el riego de bosques y plantaciones de árboles es todavía relativamente limitada. Más limitadas aún son las investigaciones sólidas, bien concebidas y sistemáticas que se han hecho sobre el tema.

#### **TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN CON BAJOS COSTOS Y DE FORMA INOCUA**

De acuerdo con Armitage (1985) si las aguas residuales no se depuran suficientemente o se eliminan de manera inadecuada, pueden constituir una fuente de contaminación y un peligro para la salud. No obstante, el costo de los tratamientos convencionales es alto y, por lo tanto, prohibitivo para la mayoría de los países en desarrollo. Por esta razón los países están experimentando otros tipos de tratamiento, entre ellos los métodos de aplicación en el terreno, incluido el riego.

Si se practican correctamente, estos métodos son simples, de bajo costo y eficaces, tanto para eliminar las aguas residuales como para mejorar su calidad. En los lugares donde las aguas residuales reciben ya tratamiento, esta práctica puede mejorar aún más su calidad a un bajo costo, mientras que, cuando se aplica un tratamiento previo limitado, podría ser el recurso de eliminación con menor

peligro de enfermedades y daños para el ambiente. Probablemente el riego de los árboles plantea riesgos menores para la salud y es más aceptable desde el punto de vista social que el de los cultivos (Armitage, 1985).

**MEJOR APROVECHAMIENTO Y CONSERVACIÓN:** La conservación del agua es un elemento fundamental en las zonas áridas y semiáridas. A menudo, las aguas freáticas son la única fuente disponible de agua y en muchos lugares las reservas se han usado con exceso. La utilización de las aguas residuales para el riego en lugares donde de lo contrario se descargarían en los ríos y las perdería el sistema local, facilita la recarga de las aguas freáticas y, por consiguiente, su conservación en el sistema y su reutilización.

Cuando las disponibilidades de agua son limitadas, se suele tender a destinar las a usos prioritarios, es decir, primero para beber y para uso doméstico y, luego, para la agricultura. Análogamente, las aguas residuales se han utilizado mucho más para la agricultura de regadío que para el riego forestal. Sin embargo, en algunos lugares los peligros para la salud y los valores estéticos y culturales limitan el uso agrícola de las aguas residuales (particularmente para los cultivos alimentarios) y pueden hacer que la silvicultura sea una opción más apropiada. Además, en algunas circunstancias, la silvicultura de regadío puede competir económicamente con la agricultura de regadío e incluso ser más rentable (Armitage, 1985).

En muchos lugares, la integración de los árboles en la agricultura de regadío, como cortavientos o plantaciones de lindero, puede ser la opción más interesante desde el punto de vista económico.

**UTILIZACIÓN DE NUTRIENTES PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN:** Las aguas de alcantarillado no depuradas, e incluso los afluentes que han recibido tratamiento secundario, tienen muchos de los nutrientes minerales que la planta necesita para su crecimiento (nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes). Los experimentos han demostrado repetidamente que cuando los cultivos y árboles se riegan con aguas residuales tienen una productividad mayor que cuando se hace con agua limpia (CSIRO, 1995).

4.3.- Sustentabilidad.

#### **4.3.1.- Concepto**

El término “sustentabilidad” sufrió diferentes transformaciones a lo largo del tiempo hasta llegar al concepto moderno basado en el desarrollo de los sistemas socio-ecológicos para lograr una nueva configuración en las tres dimensiones centrales del desarrollo sustentable: la económica, la social y la ambiental.

De acuerdo con el informe Brundtland; El desarrollo sustentable hace referencia a la capacidad que haya desarrollado el sistema humano para satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer los recursos y oportunidades para el crecimiento y desarrollo de las generaciones futuras (Bermejo, 2014).

Luego de ese informe quedó bautizada la definición y es la que más aceptación tiene en toda la comunidad cuando se habla de desarrollo sustentable. En la

actualidad el World Commission on Environment and Development de las Naciones Unidas adoptó esta definición para desarrollo sustentable.

De acuerdo con Mooney y Sala (1993) la sustentabilidad es el estado o calidad de la vida, en la cual las aspiraciones humanas son satisfechas manteniendo la integridad ecológica. Esta definición, lleva implícito el hecho de que nuestras acciones actuales deben permitir la interacción con el medio ambiente y que las aspiraciones humanas se mantengan por mucho tiempo.

Daly (1992) afirma que las condiciones de sustentabilidad son aquellas que aseguran la existencia de la raza humana por un periodo, lo más prolongado posible, estas condiciones pueden alcanzarse mediante un crecimiento poblacional cero y un estado fijo de la economía (crecimiento económico cero).

Bifani et. al menciona (1995) que se asocia la sustentabilidad con la capacidad de carga de los geosistemas para soportar el desarrollo de la humanidad, lo que implica que el sistema económico debe mantenerse dentro de los márgenes de capacidad de carga del mundo, entendiéndose la sustentabilidad como desarrollo sin crecimiento o como perfeccionamiento cualitativo sin aumentos cuantitativos.

La sustentabilidad es función de las características naturales del sistema y de las presiones e intervenciones que sobre él se ejercen, dándole énfasis a la resiliencia del sistema y reconociendo la artificialización irreversible de los sistemas naturales como consecuencia de las intervenciones del hombre a lo largo de la historia (Bifani et.al, 1995).

Foladori, y Tommasino, (2000), mencionan que en la planificación del desarrollo sustentable, se debe tomar en cuenta las cinco dimensiones básicas de la sustentabilidad que son:

- Social. Vista como la equidad de las soluciones propuestas, ya que la finalidad del desarrollo es siempre ética y social.
- Económica. Referida a la eficiencia económica.
- Ecológica. Relacionada con la prudencia ecológica.
- Cultural. Las soluciones propuestas deben ser culturalmente aceptables.
- Espacial o territorial. Se deben buscar nuevos equilibrios espaciales considerando la planificación socio-económica y el uso de los recursos conjuntamente

Suecia, uno de los líderes actuales en sustentabilidad tiene una definición un poco más holística y define una sociedad sustentable como: “una sociedad en la cual el desarrollo económico, el bienestar social y la integración están unidos con un medioambiente de calidad. Esta sociedad tiene la capacidad de satisfacer sus necesidades actuales sin perjudicar la habilidad de que las generaciones futuras puedan satisfacer las suyas” Si bajamos más a detalle esta definición desde el punto de vista de la prosperidad económica, queda expresado de la siguiente manera, “Sustentabilidad es la habilidad de lograr una prosperidad económica sostenida en el tiempo protegiendo al mismo tiempo los sistemas naturales del planeta y proveyendo una alta calidad de vida para las personas.” (Berkes, 2001)

#### **4.3.2.- Desarrollo verde**

Jacobs (1995), menciona que por otra parte, el “desarrollo verde” generalmente es diferenciado del desarrollo sostenible en que el desarrollo verde puede ser visto en el sentido de dar prioridad a lo que algunos pueden considerar “sostenibilidad ambiental” sobre la “sostenibilidad económica y cultural”.

En la ecología, la sustentabilidad describe a los sistemas ecológicos o biológicos (como bosques, por ejemplo) que mantienen su diversidad y productividad con el transcurso del tiempo.

#### **4.3.3.- El estudio de la sustentabilidad**

Varias medidas han sido propuestas para alcanzar la sustentabilidad, como son: análisis de costo-beneficio, capacidad de carga y rendimiento sostenible, pero han sido rechazadas también por la dificultad de obtenerlas así como lo inapropiado para establecer límites o variables (Bermejo, 2014).

Forman (1990) propone un modelo para medir la sustentabilidad sobre la base de la Ecología del Paisaje, considerando que sólo puede medirse sobre grandes periodos de tiempo en los cuales los paisajes permanecen relativamente estables y las variables básicas varían muy poco, para ello plantea considerar a dos grupos de variables:

- Variables que caracterizan la integridad ecológica: suelo, productividad biológica, biodiversidad, agua dulce y océanos.

- Variables que caracterizan las aspiraciones humanas: necesidades humanas básicas (alimento, agua, salud, vivienda) combustible, cohesión y diversidad cultural.

Forman (1990) plantea que conociendo las aspiraciones humanas podemos construir los escenarios de las alteraciones posibles sobre el paisaje, ya que las variables suelo, biodiversidad, etc., cambian más lentamente. Para alcanzar la sustentabilidad entonces debemos lograr una estabilidad en estas variables básicas y así los paisajes serán sostenibles a largo plazo.

El concepto de sustentabilidad planteado en la Declaración de Río de 1992, incluyó tres objetivos básicos a cumplir:

- Ecológicos. Que representan el estado natural (físico) de los ecosistemas, los que no deben ser degradados sino mantener sus características principales, las cuales son esenciales para su supervivencia a largo plazo.
- Económicos. Debe promoverse una economía productiva auxiliada por el know-how de la infraestructura moderna, la que debe proporcionar los ingresos suficientes para garantizar la continuidad en el manejo sostenible de los recursos.
- Sociales. Los beneficios y costos deben distribuirse equitativamente entre los distintos grupos, etc.

Gracias las conferencias de la ONU sobre temas ambientales y al trabajo del PNUMA se han estudiado temas ambientales de gran importancia tales como:

- La desertificación
- El desarrollo sostenible y los bosques

- La protección de la capa de ozono
- El cambio climático y el calentamiento de la atmósfera
- Agua, energía y recursos naturales
- La biodiversidad y la pesca excesiva
- El desarrollo sostenible de los pequeños Estados Insulares (islas)
- El medio marino
- La seguridad nuclear y el medio ambiente
- Estados Insulares en Desarrollo (Islas)
- Poblaciones de peces altamente migratorias y transzonales

#### **4.3.4.- Sustentabilidad Hídrica.**

Como se observó en el tema anterior, para lograr la sustentabilidad de acuerdo con la CMMAD (1987) es necesario “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer el derecho de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”. Esto aplicado al agua nos permite definir a la sustentabilidad hídrica como la satisfacción de las necesidades hídricas presentes sin comprometer el derecho de las generaciones futuras de satisfacer sus necesidades hídricas. Para lograr esto, es necesario, optimizar los procesos de distribución, consumo, y tratamiento del agua.

A mediados del siglo XX, la Declaración Universal de los Derechos Humanos declaraba el derecho a una alimentación adecuada. Sin embargo, el acceso a alimento adecuado en las zonas rurales de muchos países en vías de desarrollo,

depende de forma sustancial del acceso que tienen a los recursos naturales, incluyendo el agua. En julio de 2010, en la Asamblea General de Naciones Unidas se declaró el acceso seguro al agua potable y al saneamiento del agua como un derecho humano. Sin embargo “el derecho al agua dentro del contexto del derecho a alimento es una cuestión compleja: mientras el agua de boca y el agua para cocinar sí se verían protegidas, no se verían cubiertos los niveles mínimos de agua necesarios para la producción de alimentos en las zonas áridas” (ONU, 2014).

Hambruna, enfermedad, sequía, pobreza, son algunas de las situaciones que le esperan a la humanidad si se malgasta el agua, actualmente el equilibrio hídrico está en desbalance , en algunas regiones del mar mediterráneo, la cuenca del río Jordán y su desembocadura en el mar muerto, la cantidad de agua evaporada o perdida es mayor a las entradas de estos afluentes, ya sea por desviación del cauce de los ríos que las alimentaban para fines agrícolas, ganaderos o industriales, o simplemente por el aceleramiento del cambio climático producido por el hombre. La tala inmoderada y la deforestación en regiones tropicales ocasionan que haya menos árboles y por lo tanto raíces capaz de sostener el suelo que a su vez retiene el agua por más tiempo, lo que ocasiona que en periodos de monzón el agua llegue al mar más rápidamente y se modifique el ciclo hidrológico, desde niveles de evaporación e infiltración. La explosión demográfica y la presión sobre los recursos hídricos ejercida por la misma, espera que durante los próximos cincuenta años la población mundial se incremente en un 30%, con la mayor parte de la expansión poblacional concentrada en las áreas urbanas.

Más del 60% del crecimiento de la población mundial entre 2008 y 2100 se registrará en el África subsahariana (32%) y el sur de Asia (30%). Se espera que tan sólo en estas dos regiones habitará la mitad de la población mundial en 2100 (UNESCO ,2005).

Respecto a la disponibilidad de agua en el mundo es un tema que preocupa cada vez más a la Humanidad, la ONU menciona que cerca de 900 millones de personas en el mundo no tienen acceso al agua potable, a su vez 2600 millones de personas no cuentan con los servicios de saneamiento mínimo, de las cuales resalta que el 40% la población se encuentra en África, en especial África subsahariana no tiene acceso a agua potable.

Actualmente la seguridad hídrica es vista como una quimera para las regiones desérticas, más no para las clases altas que en ellas habiten, el reportaje la tierra vista desde el cielo menciona que Dubái en los Emiratos Árabes tras el aprovechamiento de sus recursos petroleros supieron convertir el desierto en un paraíso; es entonces cuando surge la cuestión ¿la seguridad Hídrica es cuestión de clases?. Asegurar el abastecimiento de este precioso oro azul, se ve reducido cada vez más a ciertos sectores, el agua es vista como un bien material y no como un recurso, tal es el caso del agua de cierto distrito del estado de Montana, la cual le pertenece legalmente al Estado de Nevada y en específico a las vegas, aquella ciudad de fantasía donde el agua se derrocha en el regadío de sus jardines y múltiples campos de golf; es por esta situación que el agua es vista como un bien material y grandes desiertos ahora son paraísos terrenales para aquellos que tengan el poder adquisitivo de disfrutarlos.

Existe suficiente agua disponible para las necesidades futuras alrededor del mundo, pero este escenario esconde enormes áreas de absoluta escasez de recursos hídricos que afecta a miles de millones de personas, la mayoría de las cuales carecen hasta de lo indispensable, por ello, son necesarios cambios fundamentales en la gestión y las políticas a lo largo de toda la cadena de producción agrícola para garantizar el mejor uso posible de los recursos hídricos y responder así a la demanda en aumento de alimentos y de otros productos agrícolas. FAO (2008)

Conforme la población humana ha ido creciendo, la distribución del vital líquido ya rebasa las capacidades de los gobiernos, de tal modo que en las comunidades de estos tiempos, como la perteneciente a la cuenca del Valle de México (Zona metropolitana de México) se reconocen, entre las necesidades más imperiosas, ya no sólo resolver el abastecimiento de agua, también, su distribución, su circulación de drenaje y su tratamiento CONAGUA (2015).

Los peligros y desafíos que enfrenta el agua exigen pensar más allá de los límites tradicionales. Los profesionales del agua y los actores involucrados en sus procesos, deben comprender que las claves de muchas de las soluciones a sus problemas están en manos de los responsables de tomar las decisiones en el ámbito de otras partes de la sociedad y la economía. Lo cual, suele colocar en mayor desventaja a las poblaciones de escasos recursos, ya que la sed y el hambre no son aspectos de importancia imperante en los sectores más ricos de la sociedad porque son experiencias poco padecidas en ellos; incluso ciudades enteras, construidas de la nada por inversionistas, nacidas en medio del desierto,

como lo es Las Vegas, ha encontrado la manera de solventar el abastecimiento de recursos hídricos y alimentarios, pese a no poseer un clima o suelo adecuado para su desarrollo; demostrando que el flujo económico concentra los recursos y las riquezas hasta en las zonas más inhóspitas, con un buena inversión.

Mientras que los gobiernos nacionales y locales son principalmente los gestores de los servicios de agua su saneamiento, también a menudo dependen de las asociaciones con otros desde el sector privado, las organizaciones no gubernamentales, los grupos de usuarios, las instituciones de investigación y las organizaciones comunitarias para alcanzar altos niveles de cobertura de los servicios, especialmente entre las comunidades más pobres. En muchos casos, aún con todos los participantes los resultados son insuficientes, también porque se suma el problema del desperdicio que parte de la población, que si tiene acceso al agua entubada, provoca y del que es poco consciente, el agua se convierte en un recurso fugitivo en las tuberías dañadas, las salidas domésticas de agua que gotean, el riego indiscriminado con manguera, las duchas innecesariamente prolongadas en regadera, por mencionar algunos ejemplos, muy al contrario los cuidados de los recursos hídricos no deberían escatimarse.

En la mayoría de las ciudades, se espera que las autoridades locales garanticen los servicios básicos, ya que, su mantenimiento está incluido en el pago de impuestos de la población, dicho sistema fomenta respetar y cumplir el derecho de las personas a recibir esos servicios esenciales pero las autoridades locales no siempre están en condiciones de prestar los servicios por sí mismos. La solución es estar abierto a la participación de múltiples grupos de interés y a las iniciativas

comunitarias. La colaboración a diferentes niveles es crucial para lograr los objetivos mutuamente aceptados de prestar servicios sostenibles para todos, dirigidos especialmente a los pobres, los enfermos, los ancianos y otros grupos marginados (Secretaría de la Primera Cumbre de Asia y el Pacífico, 2008).

La participación en la planificación, los presupuestos, las opciones de tecnología, el establecimiento de objetivos y la evaluación son áreas determinantes que deben cumplirse en diferentes plazos y de manera ininterrumpida, ya que todo modelo y objetivo es perfeccionable. Una administración eficiente, de los recursos hídricos, puede evitar, detener y revertir las consecuencias catastróficas que su mal uso ha traído. Los enfoques en los modelos de gestión deben tener una base de sustentabilidad para que la demanda de los recursos se satisfaga en el sector poblacional y en otras actividades en los que son necesarios. La sustentabilidad promueve el beneficio de los sectores económico, social y ambiental; así mismo se refiere a que se trabaje en que la distribución de los recursos hídricos, de manera que asegure su existencia y suficiencia para las presentes y futuras generaciones, lo cual únicamente podrá lograrse minimizando al máximo la contaminación de éstos. No tomar cartas en el asunto, se convierte en una decisión peligrosa pues sería tomar el camino para diezmar la población mundial y condenarla a sobrevivir en escenarios de escases en todos los ámbitos, realidad que varios pueblos viven en la actualidad.

Según la WWDR (2015) “El agua es la base del desarrollo sostenible. La reducción de la pobreza, el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental se sustentan en los recursos hídricos y en la gama de servicios que proporcionan.

Desde la alimentación y la seguridad energética hasta la salud humana y ambiental, el agua contribuye a mejorar el bienestar social y el crecimiento inclusivo, lo cual afecta a la subsistencia de miles de millones de seres humanos”. Por ello se puede afirmar que sin agua no hay vida, ni futuro para nuestro planeta.

Las limitaciones en el suministro de agua, saneamiento e higiene, representa un precio enorme para la salud y el bienestar y significa un elevado coste financiero, que incluye una pérdida considerable de actividades económicas. Con el objetivo de lograr un acceso universal, es necesario el progreso acelerado en los grupos desfavorecidos y garantizar la no discriminación en los servicios de abastecimiento de agua, saneamiento e higiene. Las inversiones en agua y servicios de saneamiento se traducen en beneficios económicos; en los territorios en desarrollo, el rendimiento de la inversión se ha estimado entre 5 y 28 dólares estadounidenses por dólar.

Se estima que se necesitarían unos 53000 millones de dólares estadounidenses en un periodo de cinco años para alcanzar la cobertura universal, una pequeña suma, dado que representaba menos del 0.1% del PIB mundial en 2010.

El aumento del número de la población que no tiene acceso al agua, ni al saneamiento en las áreas urbanizadas, está directamente relacionado con el rápido crecimiento de las comunidades de los barrios marginales en el mundo los asentamientos irregulares y los complejos habitacionales de interés social. Son tan súbitos los cambios que la crecida población apenas permite adaptar la cantidad suficiente y eficiente de los servicios (WWDR, 2015).

Los asentamientos humanos son sólo una parte, del universo de problemas, que se achacan a la escases de los recursos hídricos, pues otra determinante es el cambio climático, un fenómeno creciente y destructivo; debido a su avance, para los agricultores será más difícil de prever el suministro de agua, y la sequía y las inundaciones serán más frecuentes. Sin embargo, estas repercusiones variarán enormemente de un lugar a otro. Los científicos pronostican que las temperaturas elevadas beneficiarán la agricultura de las latitudes septentrionales, mientras que una gran parte de las regiones tropicales áridas y semiáridas afrontarán una disminución de las lluvias y los escurrimientos, predisposición lamentable para los países de esas regiones que más inseguridad alimentaria sufren. Aunque el agua es un derecho fundamental de todo ser humano, su distribución gratuita es mínima alrededor del mundo, tanto que se ha convertido en un negocio sumamente rentable, principalmente las versiones que son para consumo alimenticio FAO (2015).

#### 4.4.- El Agua como un Bien Económico.

##### **4.4.1.- Concepto**

Según Carreón et al (2014), el enfoque económico ha concretado un sistema de cobro para reducir los aspectos inequitativos entre la disponibilidad de los recursos hídricos y el consumo de agua. Así ha dispuesto las siguientes tarifas:

Por volumen. El precio unitario del agua depende de la cantidad que se utiliza, pero se incrementa o disminuye a partir de la discrecionalidad gubernamental (Jiménez, 2010).

Por estándar. La tasa por unidad de agua es independiente de la cantidad de agua consumida. La tarifa es la misma sin importar la disponibilidad o el consumo de agua (García, 2010).

Por situación. La tasa por unidad de agua aumenta su costo durante el día y disminuye su costo durante la noche. Durante la temporada de estío se incrementa su costo y durante la temporada de lluvias disminuye su precio unitario (Leff, 2011).

Por intervalos. El precio unitario del agua se incrementa en función del volumen consumido. A partir de los intervalos de consumo se aplican precios que se incrementan conforme el consumo sobrepasa los umbrales permitidos (León, 2013).

Por autofinanciamiento. El costo unitario del servicio se establece a partir del ingreso familiar y un umbral de confort. Una vez rebasado el límite permitido, se incrementa el costo por cada volumen cubico extra (Machado, 2012).

Por umbrales. El precio unitario del agua es constante en tanto no rebase el umbral de confort. Una vez rebasado el consumo asignado, se aplica un incremento logarítmico (Lucca, 2010).

Por subsidio. El costo unitario del servicio de agua potable implica una Cuota estándar o estratificada y un subsidio en función de un umbral de confort (Malmod, 2011).

El que el agua se haya convertido en un bien económico, radica en sus escases y en su importancia para todos los sectores de la economía mundial. A pesar de ser

vendidos, de manera tradicional, los recursos hídricos son considerados como bienes libres y gratuitos, al igual que otros recursos de la naturaleza. En un concepto global, se conoce al agua como un recurso escaso, limitado, insustituible con irregularidades en sus espacios de concentración, delicado y con usos múltiples (Olmeda, 2006).

#### **4.4.2.- Productividad del agua**

El término productividad del agua es usado para denotar la cantidad o el valor del producto sobre el volumen o valor del agua consumida o desviada. El valor del producto podría ser expresado en diferentes términos: biomasa, grano, dinero. Otro enfoque considera las diferencias en los valores nutricionales de los diferentes cultivos o que la misma cantidad de un cultivo alimenta más personas que la misma cantidad de otro cultivo (Molle y Mallinga, 2003).

De acuerdo con Molle y Mallinga, (2003) mencionan que el agua es el recurso natural más crítico de zonas secas, y es importante para el desarrollo humano y salud ambiental; un área cuya disponibilidad de agua dulce por debajo de 1 700 metros cúbicos por persona por año experimenta estrés hídrico; si este número baja de 1 000 metros cúbicos, el área enfrenta condición de la escasez- que amenaza al ser humano y a la salud del ecosistema, y que obstaculiza el desarrollo económico. Puesto que el agua es tan crucial para mantener una forma de vida sostenible, es importante manejarlo adecuadamente donde es escasa su disponibilidad.

La escasez del agua existe cuando la demanda para el agua excede el suministro y puede ser clasificada en base a contextos como: (a) escasez física del agua en la cual la disponibilidad del agua es limitada por disponibilidad natural; (b) escasez económica del agua cuando recurso humano y financiero limitan la disponibilidad del agua; (c) escasez directiva del agua donde la disponibilidad es limitada por limitaciones de manejo; (d) escasez institucional del agua donde la disponibilidad del agua es limitada por defectos institucionales; y (e) escasez política del agua donde las fuerzas políticas impiden a la gente de tener acceso a recursos hídricos disponibles (Molle y Mallinga, 2003).

El aumento de productividad del agua, puede ser alcanzada produciendo más alimento por el metro cúbico de agua, o aumentando las calorías producidas por el metro cúbico de agua. La investigación futura debe considerar todas las opciones disponibles y debe dar prioridad a mejorar el sustento (WAFLA, 2009).

## **V.- MÉTODO Y PROCEDIMIENTO**

### **5.1.- Método.**

Para realizar la siguiente tesis se utilizaron técnicas cualitativas y cuantitativas para llevar a cabo un análisis completo de la pertinencia ambiental, agrícola y económica de la micro planta de tratamiento SMART.

Comenzando por la definición de nuestro sitio de estudio y continuando con una entrevista vía correo electrónico a los especialistas en manejo y tratamiento de aguas residuales de las mejores universidades de México, para posteriormente

con la información recabada diseñar una planta de tratamiento siguiendo como guía los 5 componentes de la metodología SMART para alcanzar objetivos. Finalmente se construyó un grupo de modelos a escala que fueron puestos a prueba en las instalaciones de una casa compuesta por una familia de 5 personas una escuela secundaria y una empresa encargada de producir estantes y elementos promocionales a base de fibra de vidrio para empresas como coca cola, Sabritas, Gamesa entre otras.

En cada punto se realizaron 5 repeticiones destacando la repetición con mayor grado de contaminación o incumplimiento de la NOM-003-SEMARNAT-1997, ya que todas las muestras se analizaron de acuerdo a las especificaciones de esta norma.

Finalmente se realizó un análisis económico tomando en cuenta la población creciente de México, el monto de inversión mexicana en infraestructura hidráulica, los costos del agua potable en las principales ciudades de este país, el consumo mundial promedio de agua por persona y el costo de construcción de la microplanta de tratamiento SMART.

#### **5.1.1- Sitio de estudio, México**

México es una República Federal situada al sur de América del Norte, en su parte más angosta; limita al norte con Estados Unidos, al este con el golfo de México y el mar Caribe, al sureste con Belice y Guatemala, y al oeste y sur con el océano Pacífico. Su nombre oficial es "Estados Unidos Mexicanos". La jurisdicción federal mexicana se extiende, además del territorio continental de la república, sobre

numerosas islas cercanas a sus costas. La superficie total del país es de 1964.382 km<sup>2</sup>, suma de la superficie continental e insular. La capital y ciudad más grande es la Ciudad de México (Vizcaíno, 2004).



Figura 3. Localización de México en el Mundo.

De acuerdo con Vizcaíno (2004) la altiplanicie Mexicana domina gran parte del país y está dividida en dos zonas: altiplanicie septentrional y meridional, limitada en sus flancos este y oeste por dos cadenas montañosas que descienden de manera abrupta hasta estrechas llanuras costeras: la sierra Madre occidental al oeste y la sierra Madre oriental al este. Ambas sierras son interceptadas al sur por el eje o cordillera Neovolcánica transversal, faja formada por montañas volcánicas que atraviesa el país de este a oeste por su parte central y que encierra por el sur la altiplanicie Mexicana; este eje contiene los picos más altos de la República. Al sur de la cordillera Neovolcánica se localiza la sierra Madre del Sur, la sierra Madre de Chiapas y la sierra Madre de Oaxaca. Al este, un brusco

descendimiento concluye en el istmo de Tehuantepec, parte más estrecha de México, que se encuentra entre el sur del Golfo de México y el Golfo de Tehuantepec. El istmo separa al Océano Pacífico del Golfo de México por una franja de tierra de sólo 210 km de longitud. El elemento topográfico prominente del país es la altiplanicie Mexicana, continuación de las llanuras del suroeste de Estados Unidos, que comprende más de la cuarta parte del área total de México. Grandes valles de la altiplanicie forman importantes depresiones: ubicada en la altiplanicie septentrional se encuentra la región de los "bolsones" (depresiones), con el bolsón de Mapimí en el centro y el valle del Salado en el sureste, como los principales; en la altiplanicie meridional está situado el Valle de México o meseta de Anáhuac con una altura media de 2000 metros, máxima de 2743 m y mínima de 1524 m. Las llanuras costeras son en su generalidad zonas bajas, llanas y compuestas por materiales arenosos, aunque en las costas del Pacífico ocasionalmente son interrumpidas por pequeñas serranías. Baja California, península larga y estrecha que se extiende a lo largo de 1200 km al sur del límite noroeste del país, está atravesada por la sierra de la Baja California, continuación de la cadena costera del Pacífico, en Estados Unidos, que constituye el sistema sur californiano. La Península de Yucatán que forma el extremo sureste del país, es un terreno bajo y llano, cuya máxima elevación no supera los 150 metros y cuenta con 39340 km<sup>2</sup> de superficie.

### **5.1.2.- Población**

Está compuesta por tres grupos principales: mestizos, indígenas y población de origen europeo. Los mestizos son el grupo mayoritario, ya que constituyen cerca

del 80% de la población. El total de población indígena es de cerca del 10%, con más de 50 grupos definidos. México cuenta con una población (según estimaciones para 2002 de 103400170 habitantes. La densidad de población en ese mismo año fue de 53 hab/km<sup>2</sup> a nivel nacional, aunque las diferencias son muy notables según los estados y las regiones. Cerca del 74,4% de los mexicanos vivían en áreas urbanas durante el año 2000 (Vizcaíno, 2004).

**Cuadro 1. Población mexicana y proyecciones del 2007 al 2030**

<b>Años</b>	<b>Población</b>
2007	109787388
2008	111299015
2009	112852594
2010	114,255,555
2011	115,682,868
2012	117,053,750
2013	118,395,054
2014	119,713,203
2015	121,005,815
2016	122,273,473
2017	123,518,270
2018	124,737,789
2019	125,929,439
2020	127,091,642
2021	128,230,519
2022	129,351,846
2023	130,451,691
2024	131,529,468
2025	132,584,053
2026	133,614,190
2027	134,619,411
2028	135,599,641
2029	136,554,494
2030	137,481,336

Fuente: CONAPO 2015

El cuadro anterior muestra la evolución de la población desde el año 2007 y sus proyecciones hacia el año 2030 donde de acuerdo con CONAPO la población ascenderá hasta los 137481336 habitantes.

### **5.1.3.- El agua en México**

México tiene algunos ríos importantes, aunque la mayoría de ellos no son navegables. La corriente de mayor longitud es el río Bravo, que hace de frontera natural con Estados Unidos, donde se denomina río Grande del Norte. Otros ríos importantes son: el Balsas, Pánuco, Papaloapan, Coatzacoalcos, Grijalva, Usumacinta, Yaqui, Fuerte, Grande de Santiago, Sonora y Conchos, principal afluente del río Bravo. México cuenta con algunos puertos de altura: Matamoros, Tampico, Tuxpan, Veracruz y Coatzacoalcos son los principales del golfo de México; en el Pacífico se encuentran, entre otros, los de Acapulco de Juárez, Manzanillo, Mazatlán, Ensenada, Guaymas y Salina Cruz. El lago de Chapala, en el estado de Jalisco, es el mayor cuerpo de agua continental. En el valle de México hay todavía algunos lagos someros.

La estación lluviosa se extiende entre mayo y octubre. A pesar de que algunas regiones del sureste de México reciben entre 990 y 3.000 mm de lluvia al año, la mayor parte del país carece de precipitaciones considerables. La precipitación promedio de las zonas templadas es inferior a los 635 mm anuales, en la zona fría es de unos 460 mm y en la zona semiárida del norte del país de 254 mm. Los promedios de precipitación anual para las ciudades de México y Monterrey son de 747 mm y 588 mm respectivamente (CEMDA, 2006).

México está dividido en 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA) para la gestión del agua y a su vez estas se encuentran distribuidas en 13 regiones hidrológicas de acuerdo al sistema de cuencas al que pertenezcan con una red hidrográfica de 633 mil kilómetros de longitud, cuyas cuencas cubren el 65% de la superficie territorial. Anualmente México recibe 1489 mil millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, se estima que el 71.6% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 22.2% escurre por los ríos o arroyos, y el 6.2% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta las exportaciones e importaciones de agua con los países vecinos, el país anualmente cuenta con 471.5 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable (CONAGUA, 2013).

#### **5.1.4.- Calidad del Agua**

En el 2012 la Red de Monitoreo de calidad de agua contaba con 5150 sitios distribuidos en el país, los indicadores más utilizados son Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Sólidos Suspendidos Totales, con el propósito de evaluar la cantidad de materia orgánica biodegradable, total y así mismo la cantidad de sedimentos presentes en el agua, de los cuales 208 sitios fueron reportados como severamente contaminados.

Dentro de los resultados que se presentaron en CONAGUA (2013) se mostró para los sitios de monitoreo para DBO5 que la región más contaminada es la XIII correspondiente al valle de México, seguida de la península de Baja California y la IV del Balsas. En cuanto a la Demanda bioquímica de Oxígeno continuaron las 3

regiones con los valores más altos de contaminación, como fue el caso del valle de México con 27.3 sitios de monitoreo contaminados con valores desde 40 hasta mayor que 200 de DQO. Caso contrario en el indicador de Sólidos Suspendidos Totales , ningún sitio de monitoreo de la región del valle de México se encuentra fuertemente contaminada, en este caso la región del Pacífico sur fue aquella que presenta más sitios contaminados con más de 150 mg L<sup>-1</sup>.

Ataño a la región IX del Golfo Norte donde se ubica la región 26 del Panuco a la que corresponde la Subcuenca del Río Mezquitlán se encontró que los indicadores de DBO son 66.8 sitios de excelente calidad, 17.4 de buena calidad y tan solo 3.4 contaminados, sin embargo respecto a DQO los sitios contaminados son 27.7, en cuanto a Sólidos Suspendidos Totales tan sólo 0.3 de los sitios de monitoreo presentan una fuerte contaminación.

#### **5.1.5.- La problemática en zonas secas**

Cerca de Tres cuartas partes del territorio Mexicano corresponden a zonas áridas y semiáridas, de ellas, el 14% ofrece condiciones favorables para la agricultura, el 79% para la ganadería y el 7% está cubierto de bosques maderables y no maderables. El principal problema que enfrentan los agricultores y ganaderos para la producción es la escasez de agua y los altos costos que implica su extracción (INFDM, 2005).

En la parte social, la principal problemática es el alto índice de emigración de los jóvenes hacia los Estados Unidos, lo que origina que en las comunidades se encuentre más gente de edad avanzada y que ya no es capaz de realizar las

actividades del campo. Gran parte del problema, ha sido que los programas gubernamentales no han tenido el impacto o beneficio deseado en las comunidades rurales, o bien el beneficio ha sido para muy pocos, sobre todo para empresas particulares. (Massey et al., 2002).

### 5.1.6.- Consumo del agua

De acuerdo con la ONU (2015) se puede apreciar a continuación un mapa donde se refleja el uso total de agua per cápita por país. En él se estima que la media de uso de agua en el mundo asciende a  $499 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$ ; es decir, unos 499000 litros por persona y esta cifra es aplicable para México.

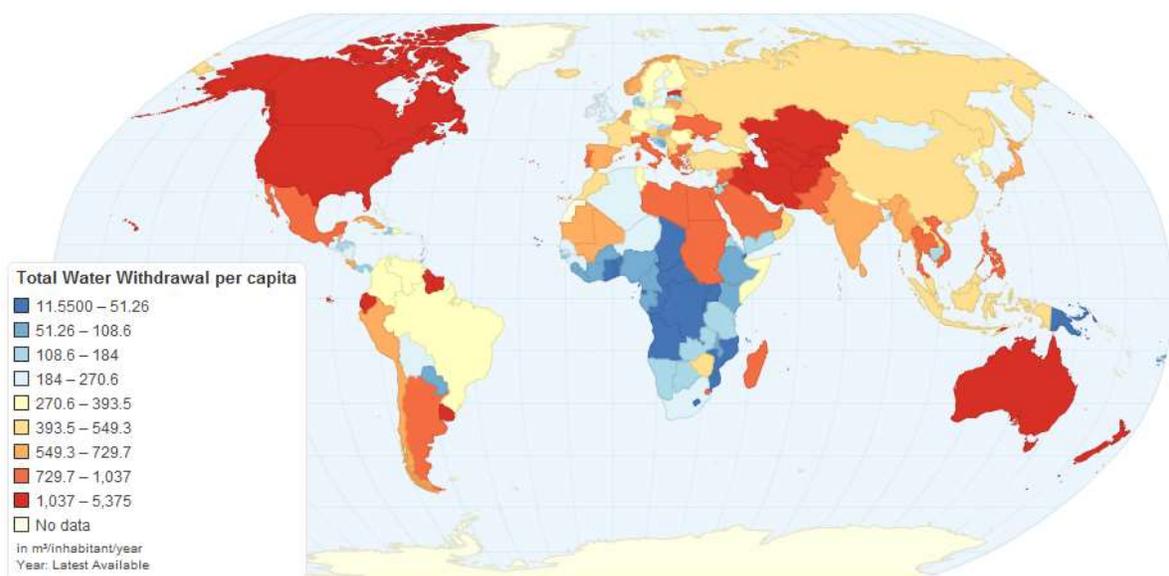


Figura 4. Consumo mundial del agua.

### 5.1.7.- Infraestructura Hidráulica

De acuerdo con el estudio Mercado Global del Agua, para cumplir los objetivos de la Agenda del Agua 2030 para mejorar el abasto y la calidad del agua doméstica y

para agricultura, se requiere una inversión de 79.000 millones de dólares de 2010 a 2030.

**Cuadro 2. Inversión mexicana en infraestructura  
hidráulica en millones de pesos mexicanos**

<b>Año</b>	<b>Federal</b>	<b>Estatal y Municipal</b>	<b>Otras Fuentes y Usuarios</b>	<b>Total</b>
2007	19144.1	8688.4	4357.8	32190.3
2008	25870.0	14042.4	3759.8	43672.2
2009	23712.3	12676.3	3511	39899.6
2010	32318.0	8935.6	4065.3	45318.9
2011	31727.2	7772.2	5011.3	44510.7
2012	28266.3	2138.5	9315.4	39720.2
<b>Total</b>	<b>161038</b>	<b>54253</b>	<b>30021</b>	<b>245312</b>

Fuente: CONAGUA 2014

Del cuadro anterior obtenemos un promedio anual de 40885.3 millones de pesos mexicanos. México es el segundo país en América Latina, después de Brasil, que más invierte en infraestructura para agua potable y drenaje; sin embargo, esto no garantiza la calidad del agua que sale de la llave para todos los consumidores. De acuerdo con el estudio Mercado Global del Agua 2015, México invirtió 13000 millones de dólares en infraestructura hidráulica de 2011 a 2014.

### **5.1.8.- Tarifas del agua en México**

Para conocer las tarifas que se registran en México se utilizó el Sistema Nacional de Tarifas (SNT), que es una aplicación web administrada por la CONAGUA, almacena la base de datos de tarifas de agua potable, alcantarillado y saneamiento de las principales ciudades del país desde 2006 a la fecha. Actualmente el SNT (2015) cuenta con la información de más de 100 ciudades. El

SNT concentra la información tarifaria de fuentes oficiales como: Diarios y Gacetas oficiales, Leyes de Ingresos Estatales y/o Municipales y las páginas web de los organismos operadores. El SNT permite consultar información general de las estructuras y los niveles tarifarios, así como realizar consultas comparativas históricas por ciudad, clasificación de usuarios, tipo de servicio, entre otros. Para el año 2015 el SNT registro los siguientes resultados:

**Cuadro 3. Tarifas 2015, del agua en México para: agua potable, alcantarillado, saneamiento y total para 30 m<sup>3</sup> (30000 L).**

Estado	Municipio	Consumo (m <sup>3</sup> )	Tarifa AP/m <sup>3</sup>	Tarifa Alc/m <sup>3</sup>	Tarifa San/m <sup>3</sup>	Tarifa Total/m <sup>3</sup>	Tarifa Agua Potable
Aguascalientes	Aguascalientes	30	21.91	0	0	21.91	657.24
Baja California	Mexicali	30	5.58	0	0	5.58	167.45
Baja California Sur	La Paz	30	8.98	2.69	2.69	14.36	269.4
Colima	Colima	30	4.85	1.21	4.65	10.72	145.64
Distrito Federal	Ciudad de México	30	20.77	0	0	20.77	623.22
México	Atizapán de Zaragoza	30	19.3	2.32	0	21.61	578.96
Durango	Gómez Palacio	30	8.28	0	0.82	9.1	248.4
Nuevo León	Monterrey	30	12.03	3.01	0	15.03	360.77
Jalisco	Guadalajara	30	11.3	0	0.57	11.87	339.09
Baja California	Ensenada	30	17.24	0	0	17.24	517.23
Baja California	Tijuana	30	21.75	0	0	21.75	652.49
México	Toluca	30	10.71	2.14	0	12.85	321.25
Guanajuato	León	30	22.96	0	0	22.96	688.74
Querétaro	San Juan del Río	30	6.37	0.32	2.04	8.73	191.18
Quintana Roo	Othon P. Blanco	30	13.5	4.73	0	18.23	405
San Luis Potosí	San Luis Potosí	30	13.18	1.98	2.64	17.79	395.4
Sinaloa	Culiacán	30	6.52	1.3	1.96	9.79	195.74
Veracruz	Xalapa	30	12.09	4.83	5.32	22.24	362.61
Chihuahua	Delicias	30	5.4	1.35	2.12	8.87	162
Campeche	Campeche	30	3.35	0	0	3.35	100.5
Yucatán	Mérida	30	3.9	0	0	3.9	117
Chihuahua	Juárez	30	9.2	1.84	2.3	13.34	276
Coahuila	Torreón	30	9.36	2.34	0	11.7	280.8
Quintana Roo	Solidaridad	30	13.5	4.73	0	18.23	405

Sonora	Hermosillo	30	7.5	2.63	2.63	12.75	225.07
Tlaxcala	Tlaxcala	30	6.73	1.01	0	7.74	201.96
Hidalgo	Tula de allende	30	5.91	0.3	0.3	6.51	177.43
Oaxaca	Oaxaca de Juárez	30	7.98	0	0.8	8.78	239.43
Guerrero	Acapulco de Juárez	30	11.6	2.32	0.46	14.39	348.05
México	Naucalpan de Juárez	30	19.95	2.09	0	22.04	598.41

Fuente: Sistema Nacional de Tarifas (2015)

Utilizando los datos del cuadro anterior se puede calcular que por 30 m<sup>3</sup> de agua la tarifa promedio mexicana en el 2015 fue de 341.72 pesos.

Si bien el agua de las ciudades es importante es necesario recordar que el 70% del agua es destinado para la agricultura. En el actual marco institucional, el “derroche” de agua de riego por parte de los agricultores, es un comportamiento económico racional; paradójicamente, el ahorro resultado de mejoras en la tecnificación, lleva a ampliar las superficies regadas y extraer más agua (Vargas, 2010).

El costo promedio del riego con el uso del pozo es de aproximadamente \$ 283.0 por hectárea y el de gravedad de \$ 310.0; éste último varía poco entre tipo de agricultores. El trigo es el cultivo que tiene el costo de agua más elevado, porque requiere entre cuatro y cinco riegos; esto significa que se subsidia un cultivo de bajo valor económico en una zona donde el acuífero está sobreexplotado. También la cebada, que en su totalidad se destina a la producción de malta, tiene un alto costo en agua. La exportación de cerveza y hortalizas representa una exportación neta de agua virtual subsidiada por el estado, en una región donde los recursos hídricos son vulnerables (Hansen y Afferden, 2001).

### **5.1.9.- Aguas residuales en México**

El alto contenido de materia orgánica, Nitrógeno ( $10-100\text{mg L}^{-1}$ ), bacterias, bajo coste y abundancia hacen de las aguas residuales una alternativa con altos beneficios para la agricultura en México; Garza 2000 menciona que los estados donde se reutiliza el agua residual para la producción agrícola resaltan Aguascalientes, Chihuahua, Jalisco, Monterrey, Michoacán, Hidalgo y Puebla. A nivel mundial, México es el segundo país que más hectáreas irriga con aguas residuales, después de china popular. En América Latina, México es la nación que más hectáreas irriga con aguas no tratadas (Garza, 2000; Hernández, 2011).

La producción de aguas residuales suele ser de 80 a 200 L por persona por día, de 30 a 70 m<sup>3</sup> por persona al año. (Mara y Cairncross, 1990). El uso de aguas residuales también es aplicable en la industria termoeléctrica y la industria papelera.

### **5.1.10.- Riesgos a la salud por agua contaminada**

Los riesgos que conlleva el uso de aguas residuales, no se limita a la exposición directa por ejemplo nadando, trabajadores agrícolas durante el riego, trabajadores de plantas tratadoras, etc., además el consumo de la misma a través de plantas y a su vez animales contaminados a través de su exposición con el agua residual, incluso la intoxicación por exposición a gases de vertederos al aire libre.

Dentro de los contaminantes disueltos en agua existen distintos orígenes, desde los metales pesados por residuos de minería e industria, solidos disueltos

generados por arrastres de sedimentos, organismos patógenos que proliferan por acción del aporte de nutrientes en las aguas residuales.

González y Rubalcaba (2011) menciona que los organismos patógenos más comunes en agua son los helmintos (*Ascaris lumbricoides*, *Ancylostoma* spp. *Taenia* spp. , *Fasciola Hepatica*, *Echinococcus granulosus*, *Enterovirus Vermicularis*) generando enfermedades como Ascariasis, Anquiostomiasis y Teniasis; Los Protozos ( *Giardia lamblia*, *Entamoeba hystolítica*, *Microsporidia*) generando enfermedades como disentería amebiana y diarrea; las bacterias ( *salmonella Typhi*, *Escherichia coli*, *Vibrio cholera*) produciendo fiebre tifoidea, salmonelosis, colorea y gastroenteritis; y los virus (*rotavirus*, *enterovirus* y *parvovirus*) que generan infecciones respiratorias e intestinales.

La presencia de metales pesados en el agua se debe a agroquímicos, fertilizantes, desechos de industria automotriz y residuos de minería su presencia en el ser humano es desde exposición directa, por consumo de animales y plantas infectados e inhalación de humos; los efectos en la salud son diversos desde la modificación celular que genera malformaciones físicas, enfisema pulmonar, disfunción renal (cadmio), infertilidad, daños al riñón (plomo) daños al cerebro (mercurio); se cree que el arsénico era utilizado como medicamento y veneno en los antiguos imperio romano y egipcio.

## 5.2.- Entrevista a Especialistas

Para seleccionar a los especialistas a entrevistar se utilizó el ranking de las 100 mejores universidades de México del 2014 publicado por el diario “El economista” poniendo especial atención en estas 15 universidades:

- i. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)
- ii. INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY (ITESM)
- iii. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL (IPN)
- iv. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA (UAM)
- v. EL COLEGIO DE MÉXICO (COLMEX)
- vi. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN (UANL)
- vii. UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS PUEBLA (UDLAP)
- viii. UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
- ix. INSTITUTO TECNOLÓGICO AUTÓNOMO DE MÉXICO (ITAM)
- x. UNIVERSIDAD IBERO AMERICANA (UIA)
- xi. BENEMÉRITA. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA (BUAP)
- xii. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
- xiii. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ (UASLP)
- xiv. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR
- xv. UNIVERSIDAD VERACRUZANA (UV)
- xvi. UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
- xvii. UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

Se procedió a investigar los departamentos o unidades de educación e investigación de cada universidad especializada en el manejo y tratamiento del agua enviando un correo con un cuestionario (anexo 1) a las subdirecciones académicas de las unidades académicas para que fuera turnado al especialista en manejo y tratamiento de aguas residuales.

### 5.3.- Metodología SMART

De acuerdo con Lawnor y Hornyak (2012) el planteamiento de objetivos y la documentación de técnicas de administración y organización han ido evolucionando con el paso de los siglos. Según George (1972) el planteamiento de objetivos y metas data de la época en que griegos como Aristóteles y Platón encausaban sus pensamientos filosóficos basándose en que *los propósitos pueden incitar una acción*.

La metodología SMART para el planteamiento de objetivos, constituye una filosofía de carácter instrumental para el alcance de metas, no sólo busca provocar un comportamiento en quienes ejecutan las acciones para alcanzar aquello que planea; los objetivos en la metodología SMART deben ser específicos, medibles, alcanzables, relevantes y de tiempo limitado (SMART, por sus siglas en inglés).

De acuerdo con Williams, (2012), SMART para alcanzar objetivos se escribe sirviendo de esta manera ya que la estructura de sus siglas funciona como guía para alcanzar las metas planteadas:

- 1) Specific (ser específico).- Busca definir de forma exacta el objetivo que piensas perseguir
- 2) Measurable (Medible o Medible).- Busca dar un número para indicar el avance en el camino a alcanzar tus objetivos.

- 3) Attainable (Alcanzable).- En la búsqueda de nuestras metas u objetivos no se debe perseguir lo imposible debemos centrarnos en la situación o medio que vivimos.
- 4) Realistic (Realista).- Si bien debe ser alcanzable tenemos que ser realistas sin olvidar que la motivación de toda situación en la vida es que es un reto.
- 5) Timely (Tiempo específico).- Se debe fijar un tiempo razonable para alcanzar los objetivos ya que si no se especifica un tiempo, podemos aplazar las acciones.

A decir de Pérez (2012), la implementación de la metodología SMART es una de las más sencillas, la claridad en los pasos para llevarla a cabo es la base de su practicidad. Los objetivos en esta metodología deben ser precisos como para instaurar interés claros y especificar el trabajo requerido. De este modo ningún objetivo en el proyecto queda a especulación o interpretación de los ejecutantes.

### **5.3.1- Diseño Smart**

Tomando como base la metodología Smart y sus 5 componentes se diseñó una microplanta de tratamiento utilizando como punto de partida las especificaciones en cuanto a los procesos de tratamiento establecidos por los expertos y a las pruebas realizadas de forma experimental (prueba de jarras).

El objetivo de esta planta de tratamiento es cumplir con las normas mexicanas y la más estricta es la NOM-003.

Recordando los 5 factores fundamentales de la metodología SMART que son:

1. Ser específico

2. Medir mediante indicadores, lograr medir si avanzamos o retrocedemos
3. Alcanzar las metas propuestas y que sean 100% posibles
4. Retarnos en el alcance de nuestras metas
5. Temporizar, poniendo una fecha específica para alcanzar nuestras Metas

Se logró ser específico al definir las partes de una planta de tratamiento y los procesos que en ella participan mediante la entrevista a expertos. De igual manera se seleccionó una forma de medir si nuestra planta es eficiente mediante el objetivo de cumplir con las especificaciones de la NOM-003.

Estas metas son alcanzables ya que la Norma Mexicana no es una de las más estrictas del mundo, sin embargo es un reto lograr cumplir las normas ya que tiene que ser una microplanta de tratamiento que minimice el espacio de uso, de fácil manejo, que reduzca su uso de energía y que tenga un costo bajo. Presentando estas características un reto hasta ahora no alcanzado en su totalidad por otras microplantas. Finalmente se estableció un tiempo para cumplir con estos objetivos y metas en el mes de octubre del año 2015. Al cumplir con estos 5 elementos entonces el resultado del diseño de esta microplanta no nos genera una planta cualquiera, sino una microplanta de tratamiento SMART.

#### 5.4.- Normas Oficiales Mexicanas del agua

##### **5.4.1- NOM-001-SEMARNAT-1996**

De acuerdo con CONAGUA (2015) la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes

en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Dicha norma especifica que:

- 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. (anexo 4 y 5), El rango permisible del potencial hidrogeno (pH) es de 5 a 10 unidades.
- Para determinar la contaminación por patógenos se tomara 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, lo cual se llevará a cabo de acuerdo a la técnica establecida en esta norma.
- 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 plazo límite las fechas de cumplimiento establecidas en esta norma. 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.
- b) Las descargas no municipales tendrán como plazo límite hasta las fechas de cumplimiento. El cumplimiento es gradual y progresivo, dependiendo de la mayor carga contaminante, expresada como demanda bioquímica de oxígeno5 (DBO<sub>5</sub>) o sólidos suspendidos totales (SST).

#### **5.4.2- NOM-002-SEMARNAT-1996**

De acuerdo con CONAGUA (2015) esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

### 5.4.3- NOM-003-SEMARNAT-1997

De acuerdo con CONAGUA (2015) esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reusó. En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reusó o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma.

**Cuadro 4. Límites máximos requeridos para el cumplimiento de la NOM-003-SEMARNAT-1997**

Factor a analizar	Límites Máximos	
	Promedio Diario	Promedio Mensual
POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)	5-10	5-10
TEMPERATURA(°C)	N.A	N.A
ARSENICO (mg/L)	0.4	0.2
CADMIO (mg/L)	0.4	0.2
COBRE (mg/L)	6.0	4.0
PLOMO (mg/L)	1.0	0.5
NIQUEL	4.0	2.0
ZINC	20.0	10.0
MERCURIO (mg/L)	0.02	0.01
CROMO TOTAL (mg/L)	1.5	1.0
CIANUROS (mg/L)	3.0	2.0
Factor a analizar	Contacto Directo	Contacto Indirecto u Ocasional
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	20	30
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)	20	30
GRASAS Y ACEITES (mg/L)	15	15
COLIFORMES FECALES (nmp/100ml)	240	1000
MATERIA FLOTANTE	AUSENTE	AUSENTE
HUEVOS DE HELMINTO (huevos de helminto/L)	≤ 1	≤ 5

Fuente: Elaboración propia basada en los lineamientos de la NOM-003-SEMARNAT-1997.

Como se observa en el cuadro anterior de forma detallada estos son los límites que tiene que cumplir la planta de tratamiento SMART para alcanzar sus objetivos,

#### 5.5.- Análisis Económico

Al realizar el análisis económico se tomó en cuenta la población creciente de México, el monto de inversión mexicana en infraestructura hidráulica, los costos del agua potable en las principales ciudades de este país, el consumo mundial promedio de agua por persona y el costo de construcción de la microplanta de tratamiento SMART.

Estos datos se encuentran dentro en los materiales de esta tesis donde en la definición de México y su población se encuentra el cuadro de crecimiento poblacional del año 2007 al 2030 en este país. La infraestructura hidráulica como dato podemos encontrarla en el Cuadro 2, donde se muestran los datos del 2007 al 2012 y dentro del texto se calcula el promedio anual en 40885.3 millones de pesos mexicanos.

El Sistema Nacional de Tarifas (SNT) permite calcular que por 30 m<sup>3</sup> de agua la tarifa promedio mexicana en el 2015 fue de 341.72 pesos. Mientras que la ONU estima la media de uso de agua en 499 m<sup>3</sup>/hab/año. Y al construir la Microplanta de tratamiento a escala se calculó al llevarla a su tamaño real en un costo de 6000 pesos mexicanos por cada una y en caso de llevarse a producción masiva su precio podría disminuir a \$2000 por unidad.

## VI.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1.- Entrevista a Especialistas

De 200 entrevistas enviadas, fueron contestadas 130, los resultados que arrojaron las entrevistas a expertos, permitieron formar tablas de frecuencias donde las actividades, procesos, módulos y sustancias químicas con mayor frecuencia para cada pregunta, se tomaron en cuenta para analizar posteriormente y conformar la microplanta de tratamiento, que permita, cumplir con las normas de calidad mexicanas. Debido a que la pregunta numero 9 (Anexo 1) arrojó que el 85% de los expertos prefieren el uso de microplantas de tratamiento para el hogar mexicano en lugar de la construcción de grandes plantas de tratamiento para las ciudades puesto que las micro plantas son más eficientes al tratar de forma individualizada los efluentes producidos por la sociedad. Al analizar pregunta por pregunta empezando con:

*¿Cuáles son los módulos de tratamiento de aguas residuales que utilizaría para generar una planta de tratamiento eficiente y cumplir con la NOM-003?*

Esta pregunta arrojó que el 95% de los especialistas contestaron que ninguna planta de tratamiento de calidad debía obviar los tres tratamientos básicos: primario, secundario y terciario, puesto que muchas de las respuestas eran parte de estos tres tipos de tratamiento y la pregunta era muy general, podemos decir que toda planta de tratamiento no importando la calidad del agua a tratar debe contar de: un pretratamiento, un tratamiento primario, tratamiento secundario y un tratamiento terciario. Entendiendo que el pretratamiento en muchas ocasiones es una extensión de los múltiples tratamientos primarios.

Como parte de esta pregunta en las observaciones se mencionó que los módulos debían tratar de utilizar la menor cantidad de energía posible para generar plantas de tratamiento sustentables y de ser posible usar energías renovables.

### 6.1.1- Pretratamiento

La pregunta 2 de segundo bloque revela que para el caso del pretratamiento que los especialistas se manifestaron como lo muestra el siguiente cuadro.

**Cuadro 5. Procesos y tratamientos más frecuentes en el pretratamiento de aguas residuales, según los expertos**

Procesos	Frecuencia %
Microfiltración	10
Rejas	71
Tamizado	17
Otros	2

Fuente: Cristóbal (2015) basado en datos de la entrevista a expertos

Cabe destacar que el pretratamiento se define como, un proceso esencialmente físico es la primera etapa en el tratamiento de aguas contaminadas o residuales, durante esta fase se remueven sólidos, principalmente basura de gran volumen, a través de rejas y desarenadores. No es de sorprender que, como se muestra en el cuadro anterior, el 71% de los especialistas reiteraran a las rejas como un elemento físico indispensable en el pretratamiento de aguas residuales.

### 6.1.2- Tratamientos Primarios

El tratamiento primario también conocido como mecánico es para reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos. Todos aquellos contaminantes que pueden sedimentar. Es un proceso simple de sedimentación mediante el cual los sólidos orgánicos e inorgánicos se depositan y pueden por lo tanto eliminarse. De esta forma se reduce en un 20-50 por ciento la demanda de oxígeno biológico, en un 50 a 70 por ciento el total de sólidos en suspensión, y en un 55-65 por ciento los aceites y grasas. También se eliminan algunos metales pesados, fósforo y nitrógeno orgánico.

El tratamiento primario presenta diferentes alternativas según la configuración general y el tipo de tratamiento que se haya adoptado. Se puede hablar de una sedimentación primaria como último tratamiento o precediendo un tratamiento biológico, de una coagulación cuando se opta por tratamientos de tipo físico-químico.

Observando el siguiente cuadro se entiende que la pregunta 3 del segundo bloque mostro una preferencia aproximadamente equitativa entre los tanques de sedimentación, la precipitación química y la remoción de arenas. Todos métodos sedimentarios ya sea físicos o químicos.

**Cuadro 6. Procesos y tratamientos más frecuentes en el tratamiento primario de aguas residuales, según los expertos**

Procesos	Frecuencia %
Investigación y maceración	8
Precipitación química (coagulación)	25
Remoción de arenas	20
Remoción de sólidos o Cribado	14

Tanques de Sedimentación (floculación)	30
Otros	3

Fuente: Cristóbal (2015) basado en datos de la entrevista a expertos

Es importante mencionar que la floculación es un método de sedimentación físico pero que necesita un mayor tiempo para llevarse a cabo, mientras que la coagulación siendo un procedimiento químico no necesita de tanto tiempo, pero si de una agitación constante en el efluente.

Los efluentes que han recibido un tratamiento primario pueden tener una calidad aceptable para el riego de árboles, huertos, plantas forrajeras y algunos cultivos alimentarios, pero a largo plazo impactan en la calidad del suelo y sus características físicas.

### **6.1.3- Tratamientos Secundarios**

La pregunta número 4 del segundo bloque (Anexo X) está íntimamente ligada a los tratamientos secundarios. El objetivo de este tratamiento es remover la demanda biológica de oxígeno (DBO) soluble que escapa a un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos sedimentables. El tratamiento secundario está diseñado para degradar sustancialmente el contenido biológico del agua residual, el cual deriva los desechos orgánicos provenientes de residuos humanos, residuos de alimentos, jabones y detergentes. La mayoría de las plantas municipales utilizan procesos biológicos aeróbicos, consistentes en la

eliminación ulterior del resto de la materia orgánica y de los sólidos en suspensión mediante el metabolismo de microorganismos aerobios, principalmente bacterias.

Este tratamiento es el más común en los países industrializados, se necesita un tratamiento secundario cuando el peligro de exposición del público a las aguas residuales es alto (por ejemplo, en el caso de los cultivos alimentarios). Es necesario también en muchos países industrializados para prevenir la contaminación ambiental. Después de ese tratamiento, sin embargo, queda gran parte de nitrógeno y fósforo, y si el afluyente se descarga en masas de agua que no tengan suficiente capacidad de dilución puede contaminarlas.

**Cuadro 7. Procesos y tratamientos más frecuentes en el tratamiento secundario de aguas residuales, según los expertos**

Procesos	Frecuencia %
Biodiscos	10
Camas filtrantes (camas de oxidación)	7
Desbaste o reja secundaria	3
Filtro biológico	6
Filtros aireados biológicos	5
Lagunaje	20
Lodos activados	22
Placas rotativas y espirales	7
Reactor biológico de cama móvil	6
Reactores biológicos de membrana (MBR)	8
Sedimentación secundaria	4
Otros	2

Fuente: Cristóbal (2015) basado en datos de la entrevista a expertos

El tratamiento secundario intenta reproducir los fenómenos naturales de estabilización de la materia orgánica, que ocurre en el cuerpo receptor. La ventaja es que en ese proceso el fenómeno se realiza con más velocidad para facilitar la

descomposición de los contaminantes orgánicos en períodos cortos de tiempo. Un tratamiento secundario remueve aproximadamente 85% de la DBO y los Sólidos Suspendedos (SS) aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, metales pesados, demanda química de oxígeno (DQO) y bacterias patógenas. Además de la materia orgánica se va a presentar gran cantidad de microorganismos como bacterias, hongos, protozoos, rotíferos, etc, que entran en estrecho contacto con la materia orgánica la cual es utilizada como su alimento. Los microorganismos convierten la materia orgánica biológicamente degradable en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O y nuevo material celular. Además de estos dos ingredientes básicos microorganismos – materia orgánica biodegradable, se necesita un buen contacto entre ellos, la presencia de un buen suministro de oxígeno, aparte de la temperatura, pH y un adecuado tiempo de contacto. Para llevar a efecto el proceso anterior se usan varios mecanismos tales como: lodos activados, biodiscos, lagunaje, filtro biológico. Como se demuestra en el cuadro anterior donde se destacan los lodos activados y el lagunaje. Es importante decir que el lagunaje es utilizado para zonas con un área importante de terreno incluso hectáreas.

#### **6.1.4- Tratamientos Terciarios**

Son los más sofisticado y costosos; con él se eliminan elementos específicos de las aguas residuales como el nitrógeno, el fósforo, los sólidos en suspensión adicionales, los metales pesados y los sólidos disueltos, se utiliza el tratamiento terciario para reducir el riesgo de enfermedades en casos en que la exposición del

público al afluyente sea alta (por ejemplo, cuando se usa el riego por aspersión en los parques públicos o en los campos de golf). Dado que en el proceso de tratamiento se extraen los nutrientes de las plantas, el riego con aguas residuales depuradas no es ventajoso con respecto a la productividad.

Se encargan de remover contaminantes específicos, usualmente tóxicos o compuestos no biodegradables o aún la remoción complementaria de contaminantes no suficientemente removidos en el tratamiento secundario.

Como medio de filtración se puede emplear arena, grava antracita o una combinación de ellas. El pulido de efluentes de tratamiento biológico se suele hacer con capas de granulometría creciente, duales o multimedia, filtrando en arena fina trabajando en superficie. Los filtros de arena fina son preferibles cuando hay que filtrar flóculos formados químicamente y aunque su ciclo sea más corto pueden limpiarse con menos agua. La adsorción con carbón activo se utiliza para eliminar la materia orgánica residual que ha pasado el tratamiento biológico. Finalmente este tratamiento tiene el objetivo, la desinfección utilizando una gama de productos químicos, luz solar o luces ultravioleta (UV).

**Cuadro 8. Procesos y tratamientos más frecuentes en el tratamiento terciario de aguas residuales, según los expertos**

Procesos	Frecuencia %
Desinfección	30
Filtración	3
Humedales artificiales	3
Lagunaje	2
Luz ultravioleta	20
Osmosis inversa	40
Otros	2

Fuente: Cristóbal (2015) basado en datos de la entrevista a expertos

El cuadro de arriba deja en claro que para los especialistas en este tratamiento los módulos o procesos más relevantes son la osmosis inversa, la desinfección y el uso de luz ultravioleta. En el caso de la osmosis inversa es importante mencionar su elevado costo, mientras que la desinfección se realiza con un sin número de sustancias e inclusive con la luz UV. Dependiendo de la sustancia a usar podríamos aumentar o reducir el costo de la planta de tratamiento.

### **6.1.5- Químicos**

Para las preguntas 6,7 y 8 del segundo bloque (anexo 1), se entiende después de lo explicado en párrafos anteriores, que el tratamiento primario es principalmente físico, pero cuenta con dos procesos sumamente importantes como son la coagulación y la floculación, los cuales pueden ser maximizados por el uso de sustancias químicas. Mientras que en el caso del tratamiento terciario el principal proceso a maximizar mediante los químicos es la desinfección. El tratamiento secundario se asocia principalmente a métodos biológicos.

De esta manera al inspeccionar, revisar y analizar los datos de la encuesta, se llegó a la conclusión que los químicos y sustancias más importantes no se dividen por tipos de tratamientos (primario, secundario y terciario) sino por tipo de uso como se muestra a continuación.

**COAGULANTES:** Los principales coagulantes, o al menos los más frecuentes en la entrevista, son las sales de aluminio o de hierro, productos de síntesis, tales

como los polielectrólitos catiónicos. El proceso es como sigue: la sal metálica actúa sobre los coloides del agua por medio del catión, que neutraliza las cargas negativas antes de precipitar. Al polielectrólito catiónico se le llama así porque lleva cargas positivas que neutralizan directamente los coloides negativos. Los polielectrólitos catiónicos se emplean generalmente junto con una sal metálica, en cuyo caso permiten una importante reducción de la dosis de dicha sal que habría sido preciso utilizar. Puede llegarse incluso a suprimir completamente la sal metálica, con lo que se consigue reducir notablemente el volumen de fango producido.

La coagulación se entiende finalmente por la desestabilización de un coloide producida por la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales, con la formación de núcleos microscópicos.

**FLOCULANTES:** Los floculantes, llamados también ayudantes de coagulación, ayudantes de floculación e incluso ayudantes de filtración, son productos destinados a favorecer las diferentes operaciones en que interviene el coagulante. La acción puede ejercerse al nivel de la velocidad de reacción (floculación más rápida) o al nivel de la calidad del flóculo (flóculo más pesado, más voluminoso y más coherente). Es en palabras sencillas la aglomeración de partículas desestabilizadas primero en microflóculos, y más tarde en aglomerados voluminosos llamados flóculos.

Los floculantes pueden clasificarse por su naturaleza (minera u orgánica), su origen (sintético o natural) o el signo de su carga eléctrica (aniónico, catiónico o no

iónico). Los primeros floculantes utilizados fueron los polímeros inorgánicos (sílice activado, el alumbre) y los polímeros naturales (almidones, alginato). Hoy en día, sin embargo, existen en el mercado una gran cantidad de floculantes sintéticos, de gran efectividad, ya que a menudo da como resultado una cantidad mínima de lodo. Combinados con técnicas modernas de separación, los floculantes sintéticos pueden permitir producir un lodo muy denso que se puede tratar directamente en una unidad de desecación.

La sílice activada fue el primer floculante que se empleó, y sigue siendo, en la actualidad, el que mejores resultados puede dar, principalmente si se utiliza juntamente con sulfato de aluminio. Se introduce generalmente después del coagulante, y se prepara neutralizando parcialmente la alcalinidad de una solución de silicato sódico. Los floculantes favorecen las diferentes operaciones en que interviene el coagulante.

**COAGULANTES Y FLOCULANTES:** Debido a que los resultados de la encuesta en cuanto a floculantes y coagulantes fue muy variada fue necesario realizar una prueba de jarras utilizando diferentes floculantes y coagulantes, utilizando como agua para prueba, 20 muestrastras de la planta de tratamiento Chapingo. Ubicada en la universidad del mismo nombre.



Figura 5. Prueba de Jarras.

Siendo la sustancia más efectiva el hidroxiclورو de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) también llamado PAC. Es un coagulante polimerizado y es sumamente efectivo ya que El hidroxiclورو de aluminio, es una sal inorgánica de aluminio multinuclear (PAC), capaz de formar con mayor rapidez y perfección flóculos con mayor velocidad de sedimentación y poder clarificante, logrando remociones más altas de turbiedad respecto a otras sales de aluminio mononuclear como el sulfato de aluminio (que es uno de los coagulantes más conocidos). El pH óptimo de funcionamiento que arrojo la prueba de jarras está entre 5.0 y 9.0 grados centígrados, dependiendo del contenido de carbono orgánico disuelto en el agua. La dosis a utilizar con mayor eficiencia en la sedimentación fue de 80 mg/L.

**DESINFECTANTES:** El cloro, el bromo y el yodo son las sustancias más utilizadas para la desinfección del agua potable. De las tres, la más utilizada con diferencia es el cloro. El cloro en agua es más de tres veces más efectivo como agente desinfectante contra la *Escherichia coli* (un organismo procariota muy común en

aguas negras y grises) que una concentración equivalente de bromo, y más de seis veces más efectiva que una concentración equivalente de yodo.

El cloro suele ser usado en la forma de ácido hipocloroso para eliminar bacterias y otros microbios en los suministros de agua potable y piscinas públicas. En la mayoría de piscinas privadas, el cloro en sí no se usa, sino hipoclorito de sodio, formado a partir de cloro e hidróxido de sodio, o tabletas sólidas de isocianuratos clorados. Incluso los pequeños suministros de agua son clorados rutinariamente ahora.

No es práctico almacenar y usar gas cloro (muy tóxico) para el tratamiento de agua, así que se usan métodos alternativos para agregar cloro. Estos incluyen soluciones de hipoclorito, que liberan gradualmente cloro al agua, y compuestos como la dicloro-S-triazinatrina de sodio (dihidrato o anhidro), algunas veces referido como 'diclor', y la tricloro-S-triazinatrina, algunas veces referida como 'triclor'. Estos compuestos son estables en estado sólido, y pueden ser usados en forma de polvo, gránulos o tabletas. Otro desinfectante impreso en las entrevistas fue el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) el cual cuenta con características muy interesantes para utilizar en combinación con la luz solar y la luz UV. Debido a lo anterior, se llegó a la conclusión de que la mezcla de una sustancia usada con mayor frecuencia en la desinfección del agua como lo es el cloro y una sustancia que es innovadora y muestra amplias ventajas al fusionarlas con la luz solar como lo es el dióxido de titanio, serían los químicos a utilizar para la desinfección.

## 6.2.- Microplanta de Tratamiento Smart

Al describir la planta de tratamiento es posible entender su funcionamiento y observar las cualidades de la misma. En su generalidad la Microplanta de tratamiento SMART cuenta con 5 módulos dispuestos de forma consecutiva los cuales forman un rectángulo de 2.5X4 metros de base y 1 metro de altura. Como pretratamiento para este módulo y ocupando el lugar de los filtros y rejillas se ocupan las tuberías de las casas, talleres, oficinas, industrias, escuelas etc. Para que estas se conecten con el primer módulo.

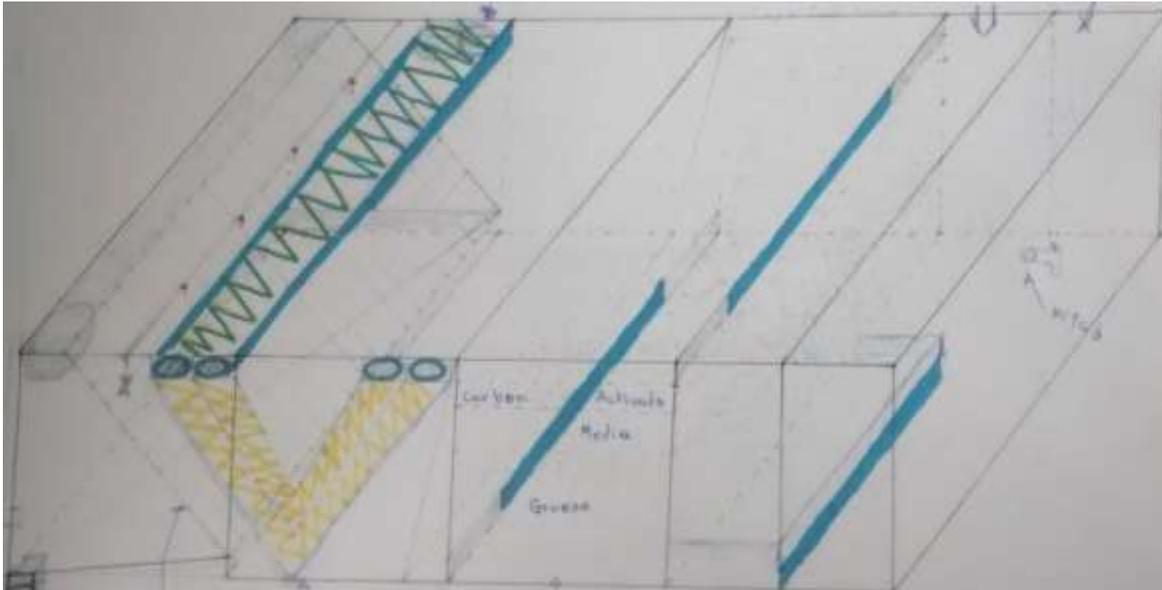


Figura 6. Esquema de la Microplanta de tratamiento SMART

### 6.2.1- Modulo 1

Se empieza con un módulo rectangular de 2.5X1 metros de base y 1 metro de altura (2.5X1X1 metros), donde se lleva a cabo la sedimentación. En este módulo se vierten 80mg/L de  $Al_2(OH)_5CL_2 \cdot 5H_2O$  (Hidroxiclورو de aluminio) para fomentar la coagulación y floculación. En la parte inferior izquierda de este módulo o tanque

se encuentra una salida en forma de tubería donde se pueden recolectar los lodos resultantes de la sedimentación, extrayéndolos de forma periódica, la base de este primer módulo tiene un desnivel de 10 grados tanto a lo largo como a lo ancho para facilitar este propósito. En la parte superior se cuenta con una maya de alambre galvanizado (con protección al agua) con rendijas de 2X2 cm dispuesta de forma diagonal, ya que la salida al segundo módulo se encuentra en la parte superior derecha, y al pasar de la parte baja a la alta, el agua circula por este filtro permitiendo y maximizando la sedimentación de aquellos coágulos o flóculos atrapados por la malla. En la parte superior de este módulo justamente a la mitad y extendiéndose los 2.5 metros de largo un grupo de 4 mezcladores dispuestos a una distancia equitativa fomentando así la floculación y coagulación. Pero no solo esto sino que también ayudan a limpiar la maya de aquellos flóculos y coágulos adheridos a la misma. En la parte superior derecha de este mismo tanque es donde se agregan también 40 mg/L de dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) ya que una vez el agua comience a pasar por el tubo ubicado en la parte superior derecha el cual tiene un codo de 90 grados mirando hacia abajo para continuar fomentando la sedimentación, llevara el agua mezclada con el dióxido de titanio a un aditamento de radiación solar, el cual es un serpentín adherido al final de la tubería. Este serpentín translucido maximiza las propiedades de desinfección del dióxido de titanio al estar en contacto con la luz solar, el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) cuando es estimulado por la luz solar, permite limpiar el agua de pesticidas, fármacos y otras sustancias peligrosas para la salud.

El serpentín translucido de 2 metros de largo se sostiene de una placa metálica o plástica negra, que permite cambiar el ángulo del mismo para en el momento de instalar de la planta, buscar el mejor ángulo respecto al movimiento o viaje del sol. La salida del serpentín cuenta con una malla, con una porosidad de 1X1 cm. Es importante visualizar que los lodos que se forman al sedimentarse los flóculos y coágulos funcionan después de un tiempo como lodos activados, así al extraerlos no se extraen en su totalidad sino que siempre se dejara un poco de los mismos como medio de cultivo para el resto de los sedimentos que llegaran de forma posterior.

### **6.2.2- Modulo 2**

Este módulo es un tanque de estabilización y sedimentación secundaria de 2.5X1X1 metros, por lo cual también cuenta en la parte inferior izquierda aprovechando el hueco que dejan los grados de inclinación del primer módulo, con una tubería para extraer lodos. Este módulo también permite dar un tiempo razonable para que el dióxido de titanio manifieste sus propiedades de desinfección. Pasando a través de otra malla ubicada en forma diagonal como se muestra en la imagen la cual tiene una porosidad de 0.5x0.5 cm. Finalmente el agua deja el Tanque por una rendija de 2.5 cm de altura ubicada en la parte inferior derecha a lo largo de este tanque, pasando al módulo 3.

### **6.2.3- Modulo 3**

Este tanque rectangular conserva las dimensiones que sus módulos antecesores, siendo este un módulo filtrante que cuenta con niveles de filtración desenvolviéndose a lo alto del mismo. Comenzando con un filtro de sílice debido a sus propiedades floculantes que abarca 40 cm de altura cubriendo la base del tanque. Posteriormente el agua pasa por un segundo nivel compuesto por tezontle poroso de abarcando 20 cm de altura, para pasar al tercer nivel compuesto de arena de 20 cm de altura y finalizando con un nivel ocupado por costales de fibras naturales rellenos con carbón activado los cuales cubren 10 cm de altura más. Si se suma la composición de los niveles es posible observar que faltan 10 cm de altura los cuales sirven para dejar pasar el agua a través de una rendija ubicada en la parte superior derecha del tanque de 2.5 cm por lo largo del mismo.

### **6.2.4- Modulo 4**

El tanque 4 es más pequeño sus medidas son 2.5X0.5X1 metros este tanque se utiliza para la cloración con 2 mg/L de hipoclorito de calcio ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ) mediante pastillas ubicadas en la parte inferior del tanque en conjunto con bolitas de plastilina mezcladas con dióxido de titanio (40 mg/L) colocadas en una canastilla de 30 cm de altura por una base de 50x50 cm. La cual se puede extraer para cambiar de forma periódica su contenido. A través de una rendija de 2.5 cm de altura y 50 cm de largo (los mismos que la canastilla) el agua pasa al módulo siguiente.

### 6.2.5- Modulo 5

Este es el modulo final de dimensiones exactamente iguales al tanque anterior, pero con la diferencia que su superficie es totalmente translucida para fomentar el paso de rayos UV que actúen en conjunto con el dióxido de titanio y el hipoclorito de calcio, desinfectando el efluente. A la mitad del tanque pero a 70 cm de altura se encuentra una tubería o llave que permite conectar la salida con el alcantarillado municipal (si todos los hogares mexicanos hicieran lo mismo) o para regar las áreas verdes de casas, talleres, oficinas, industrias, escuelas etc. También si se aplica en zonas agrícola se puede utilizar el riego para los cultivos siempre y cuando se cumpla con las normas de calidad del agua que se exigen para estos casos.

### 6.2.6- Microplanta SMART VS Expertos

Si se analiza las entrevistas a expertos y el diseño de la planta SMART se demuestra que las especificaciones del pretratamiento, tratamiento primario y secundario y terciario se cumplen de la siguiente manera

**Cuadro 9. Microplanta SMART Vs Expertos**

<b>Expertos</b>	<b>Microplanta SMART</b>
<b><i>Pretratamiento</i></b>	
Rejas y Tamizado	Se utilizan las tuberías de las casas y edificios
<b><i>Tratamiento Primario</i></b>	
Sedimentación	El módulo 1 cumple con estos propósitos,

Precipitación química	al agregar el hidroxiclорuro de aluminio y al utilizar las mallas. Mientras que el módulo 3 fomenta la remoción con su filtro por capas.
Remoción de arenas	
Remoción de sólidos	
<b>Tratamiento Secundario</b>	
Lodos Activados	El módulo 1 contiene los lodos activados y el Modulo 2 permite una sedimentación secundaria
Sedimentación Secundaria	
<b>Tratamiento Terciario</b>	
Desinfección	Se alcanza utilizando el dióxido de titanio y el hipoclorito de calcio en combinación con las áreas translucidas de la microplanta

Fuente: Cristóbal (2015) basado en datos de la entrevista a expertos

También en el ámbito de los objetivos Smart se cumplió al diseñar la microplanta de tratamiento SMART con los objetivos de:

1. Uso de la energía solar
2. Minimizar el espacio a utilizar
  - Volumen menor a 10 m<sup>3</sup> (10000 litros)
3. Bajo valor de construcción
  - Valor de construcción menor o igual a \$6000.

### 6.3.- Cumplimiento de la norma NOM-003-SEMARNAT-1997

Al llevar a cabo la construcción a escala de 6 microplantas SMART se pusieron a prueba 2 microplantas, una con el aditamento de químicos y otra sin ellos, en las instalaciones de una casa compuesta por una familia de 5 personas, 2 microplantas en la escuela secundaria Oficial No. 130 Netzahualcóyotl y 2

microplantas en la empresa Integra la cual se encarga de producir estantes y elementos promocionales a base de fibra de vidrio para otras empresas.

En cada punto se realizaron 5 repeticiones, una por mes, empezando en enero del 2015 y terminando en mayo del mismo año, destacando la repetición con mayor grado de contaminación o incumplimiento de la NOM-003-SEMARNAT-1997, ya que todas las muestras se analizaron de acuerdo a las especificaciones de esta norma la cual establece que los responsables del tratamiento y reusó de las aguas residuales tratadas, tienen la obligación de realizar los muestreos como se establece en la Norma Mexicana NMX-AA-003, referida en el punto de referencias (ver ultimo anexo) de esta Norma Oficial Mexicana. La periodicidad y número de muestras será:

Para los coliformes fecales, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno<sup>5</sup>, sólidos suspendidos totales y grasa y aceites, al menos 4 muestras simples tomadas en días representativos (de mayor uso) mensualmente.

Para los huevos de helminto, al menos 2 muestras compuestas tomadas en días representativos mensualmente.

Para los metales pesados y cianuros, al menos 2 muestras simples tomadas en días representativos anualmente.

Finalmente a continuación se muestra el cuadro del resultado obtenido durante el mes con peor rendimiento en las plantas de tratamiento de la empresa Integra. Ya que el resto de los puntos y repeticiones analizados por la empresa DEISA S.A de C.V. presentaron mejores rendimientos sin químicos y con químicos. Y para el

análisis a posteriori es mejor tomar el peor resultado posible previniendo cualquier contingencia.

**Cuadro 10. Resultados del análisis de aguas tratadas con el uso de la microplanta SMART (febrero, 2015), en la empresa Integra S.A de CV.**

Factor a analizar	Límites Máximos		Resultados Máximos	Cumple con la NOM-003-SEMARNAT-1997
	Promedio Diario	Promedio Mensual		
POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)	5-10	5-10	8.5900	Si
TEMPERATURA(°C)	N.A	N.A	24.5000	Si
ARSENICO (mg/L)	0.4	0.2	< 0.0010	Si
CADMIO (mg/L)	0.4	0.2	< 0.020	Si
COBRE (mg/L)	6.0	4.0	6.4500	No
PLOMO (mg/L)	1.0	0.5	< 0.1000	Si
NIQUEL	4.0	2.0	< 0.1000	Si
ZINC	20.0	10.0	0.1150	Si
MERCURIO (mg/L)	0.02	0.01	< 0.0005	Si
CROMO TOTAL (mg/L)	1.5	1.0	< 0.1000	Si
CIANUROS (mg/L)	3.0	2.0	< 0.0257	Si
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	20	30	54,74	No
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)	20	30	42	No
GRASAS Y ACEITES (mg/L)	15	15	< 6,8	Si
COLIFORMES FECALES (nmp/100ml)	240	1000	2400	No
MATERIA FLOTANTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	Si
HUEVOS DE HELMINTO (huevo de helminto/L)	≤ 1	≤ 5	3	Parcialmente

Fuente: Cristóbal (2015). Basado en datos del análisis realizados por DEISA de una muestra compuesta del efluente procedente de micro-planta de tratamiento de agua residual ubicada en las instalaciones de la empresa Integra S.A de C.V en Tequisistlán, estado de México.

Como se observa en la microplanta SMART sin uso de químicos no se cumple con los límites para cobre, DBO<sub>5</sub>, solidos suspendidos totales y coliformes fecales. Debido a que la falta de agentes que maximicen la floculación y coagulación deterioran el proceso de sedimentación y sin sedimentos suficientes los lodos activados son pobres en su accionar.

**Cuadro 11. Resultados del análisis de aguas tratadas con uso de químicos en la microplanta SMART (febrero, 2015),  $TiO_2$ ,  $Al_2(OH)_5Cl_2 \cdot 5H_2O$  y  $Ca(ClO)_2$  en la empresa Integra S.A de CV.**

Factor a analizar	Límites Máximos		Resultados Máximos	Cumple con la NOM-003-SEMARNAT-1997
	Promedio Diario	Promedio Mensual		
POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)	5-10	5-10	8.0300	Si
TEMPERATURA(°C)	N.A	N.A	24.0000	Si
ARSENICO (mg/L)	0.4	0.2	0.0030	Si
CADMIO (mg/L)	0.4	0.2	0.0090	Si
COBRE (mg/L)	6.0	4.0	3.5700	Si
PLOMO (mg/L)	1.0	0.5	0.1000	Si
NIQUEL	4.0	2.0	0.0850	Si
ZINC	20.0	10.0	0.2400	Si
MERCURIO (mg/L)	0.02	0.01	0.0002	Si
CROMO TOTAL (mg/L)	1.5	1.0	0.1500	Si
CIANUROS (mg/L)	3.0	2.0	0.0275	Si
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	20	30	30.0100	NO
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)	20	30	10.0000	Si
GRASAS Y ACEITES (mg/L)	15	15	5.0000	Si
COLIFORMES FECALES (nmp/100ml)	240	1000	150.0000	Si
MATERIA FLOTANTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	Si
HUEVOS DE HELMINTO (huevo de helminto/L)	≤ 1	≤ 5	0.0000	Si

Fuente: Cristóbal (2015). Basado en datos del análisis realizados por DEISA de una muestra compuesta del efluente procedente de micro-planta de tratamiento de agua residual ubicada en las instalaciones de la empresa Integra S.A de C.V en Tequisistlán, estado de México.

En el caso del análisis utilizando químicos de acuerdo con la NOM-003-ECOL-1997, con excepción de DBO<sub>5</sub>, la muestra se encuentra dentro de los límites máximos permisibles para su uso tanto en llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines (servicios al público con contacto directo), como en riego de jardines y camellones en autopistas; camellones en avenidas; fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones (servicios al público con contacto indirecto u ocasional).

Cabe mencionar que el  $DBO_5$  sobrepasa el límite por un bajo margen de diferencia comparativo lo cual puede subsanarse fácilmente con un mayor tiempo de exposición.

#### 6.4.- Análisis económico

Los datos para realizar el análisis económico se recabaron del capítulo 5 de esta tesis donde en la definición de México y su población se encuentra el cuadro de crecimiento poblacional del año 2007 al 2030 en este país. La infraestructura hidráulica como dato podemos encontrarla en el Cuadro 2 donde se muestran los datos del 2007 al 2012 y dentro del texto se calcula el promedio anual en 40885.3 millones de pesos mexicanos.

El Sistema Nacional de Tarifas (SNT) permite calcular que por  $30 \text{ m}^3$  de agua la tarifa promedio mexicana en el 2015 fue de 341.72 pesos. Mientras que la ONU estima la media de uso de agua en  $499 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$ . Al construir la microplanta de tratamiento a escala se calculó al llevarla a su tamaño real en un costo de 6000 pesos mexicanos por cada una, en caso de llevarse a producción masiva su precio podría disminuir a \$2000 por unidad.

**Cuadro 12. Análisis económico para microplanta de tratamiento SMART en millones de pesos, del 2007 al 2015.  
Tomando como año de implementación masiva el 2007**

Años	Población	Inversión en infraestructura hidráulica	Consumo Nacional anual de agua en m <sup>3</sup>	Costo por tarifas anual del agua en México	Gasto total en agua para México	Número aproximado de microplantas de tratamiento en México	Costo de implementación de las microplantas Smart (millones de pesos)	Diferencia entre Gasto total y costos de implementación de las microplantas SMART
2007	109787388	32190.3	54783906612	624025.2	656215.5	21957477.6	131744.8656	524470.65
2008	111299015	43672.2	55538208485	632617.2	676289.4	22259803.0	133558.818	674475.47
2009	112852594	39899.6	56313444406	641447.7	681347.3	22570518.8	135423.1128	679482.98
2010	114,255,555	45318.9	57013521945	649422.0	694740.9	22851111.0	137106.666	693057.37
2011	115,682,868	44510.7	57725751132	657534.8	702045.5	23136573.6	138819.4416	700332.71
2012	117,053,750	39720.2	58409821250	665326.8	705047.0	23410750.0	140464.5	703401.95
2013	118,395,054	41859.2	59079131946	672950.7	714809.9	23679010.8	142074.0648	713200.30
2014	119,713,203	42325.2	59736888297	680443.0	722768.2	23942640.6	143655.8436	721186.41
2015	121,005,815	42782.2	60381901685	687790.1	730572.3	24201163.0	145206.978	729021.19
2016	122,273,473	43230.4	61014463027	694995.4	738225.8	24454694.6	146728.1676	736704.62
2017	123,518,270	43670.5	61635616730	702070.8	745741.3	24703654.0	148221.924	744247.51
2018	124,737,789	44101.7	62244156711	709002.4	753104.1	24947557.8	149685.3468	751640.69
2019	125,929,439	44523.0	62838790061	715775.7	760298.7	25185887.8	151115.3268	758868.72
2020	127,091,642	44933.9	63418729358	722381.6	767315.5	25418328.4	152509.9704	765920.85
2021	128,230,519	45336.5	63987028981	728854.9	774191.5	25646103.8	153876.6228	772824.81
2022	129,351,846	45733.0	64546571154	735228.5	780961.5	25870369.2	155222.2152	779615.88
2023	130,451,691	46121.8	65095393809	741479.9	787601.8	26090338.2	156542.0292	786281.97
2024	131,529,468	46502.9	65633204532	747606.0	794108.9	26305893.6	157835.3616	792815.53
2025	132,584,053	46875.8	66159442447	753600.2	800475.9	26516810.6	159100.8636	799210.41
2026	133,614,190	47240.0	66673480810	759455.4	806695.4	26722838.0	160337.028	805459.20
2027	134,619,411	47595.4	67175086089	765169.0	812764.4	26923882.2	161543.2932	811558.12
2028	135,599,641	47941.9	67664220859	770740.6	818682.5	27119928.2	162719.5692	817506.24

2029	136,554,494	48279.5	68140692506	776167.9	824447.4	27310898.8	163865.3928	823301.62
2030	137,481,336	48607.2	68603186664	781436.0	830043.2	27496267.2	164977.6032	828931.04

Fuente: Cristóbal (2015) basado en datos de CONAPO, ONU, CONAGUA y de la construcción de las microplantas a escala-

Al tomar todos los datos recabados, calculados y utilizarlos para analizarlos se obtuvo el cuadro anterior que nos muestra la población en México del 2007 al 2030 establecido por CONAPO. Los datos de infraestructura hidráulica del 2007 al 2012 sirvieron como base para calcular el resto de los años. Ya que conforme la población crece la inversión en infraestructura debe de ser mayor. Por lo que la población del año 2009 fue utilizada para calcular el resto de los años con respecto a su población ya que la inversión en infraestructura del 2009 es la más cercana al promedio anual de 2007 al 2012.

Para calcular el Consumo Nacional anual de agua en  $m^3$  simplemente se utilizó la media del uso de agua en  $m^3/hab/año$  y se multiplico por la población, mientras que la tarifa del agua en el país se obtuvo al relacionar los datos del promedio anual de las tarifas en 2015 para  $30 m^3$  establecido en 341.72 pesos mexicanos y el consumo nacional. Al sumar la inversión en infraestructura y el costo por tarifas tenemos el gasto nacional tanto de la población como del gobierno.

Ya que durante la evaluación de la microplanta de tratamiento, la unidad de personas más pequeña asignadas a cada planta por zona de estudio fue de 5 en el hogar promedio, se tomó la población y se dividió entre este número ya que esto representaría una implementación masiva en todos los hogares mexicanos. Al multiplicar el número de microplantas necesarias para llegar a todos los hogares de México por el costo máximo de construcción de la planta obtenemos cual sería al costo nacional por la implementación de las mismas. Al compararlo con el gasto total que se lleva a cabo en la actualidad observamos que el costo de implementación en cada hogar mexicano es menor a lo que se gasta actualmente, Pero tiene una amplia ventaja a comparación de en lo que se ha invertido en la actualidad y en años anteriores. Ya que ningún sistema de tratamiento o planta de tratamiento de gran envergadura en México es capaz de tratar el 100% de los efluentes residuales.

Es importante mencionar que en el Cuadro 12 se muestra al año 2007 como la fecha en que se implementa de forma masiva la microplanta de tratamiento y el resto de los años solo se calculan el costo necesario para cubrir el crecimiento poblacional del próximo año. Pero aunque se tomara el año 2020 como fecha de implementación masiva (entregar una microplanta por cada familia) el resultado de la diferencia entre el gasto esperado por cada año y el costo de la implementación es siempre positivo.

## VII.- CONCLUSIONES

1. La microplanta de tratamiento diseñada tuvo un bajo costo de inversión e instalación, ya que por estos conceptos su valor ascendió a 6000 MXN.
2. La construcción de la microplanta de tratamiento diseñada se realizó en un periodo corto de tiempo de 48 horas.
3. La microplanta de tratamiento fue eficiente en el tratamiento de aguas residuales ya que cumplió con la NOM-003-SEMARNAT-1997
4. La microplanta de tratamiento tuvo mayores ventajas que desventajas al compararla con otras microplantas de tratamiento existentes, teniendo como máxima ventaja el espacio a utilizar y el consumo cero de energía eléctrica.
5. El agua obtenida de la microplanta de tratamiento puede usarse en el riego de áreas verdes, en la agricultura, en el riego de bosques y muchas otras actividades cotidianas.
6. La microplanta de tratamiento favorece la sustentabilidad hídrica de México al tener un potencial de tratamiento exponencial.

## VIII.- BIBLIOGRAFIA

Anaya, M. G.; Carranza, Da La P. A. y Luis, T. J. 1973. Folleto. "Avances en la investigación sobre el mejor Aprovechamiento del agua de lluvias en la agricultura de Temporal de la Cuenca del valle de México". ENA y Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.

Arellano J. y J. Guzmán. 2011. Ingeniería ambiental. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. México, p 184. ISBN: 978-607-707-233-1

Armitage, F.B. 1985. *Irrigated forestry in arid and semi-arid lands: a synthesis*. January, Ontario, CANADA.

Berkes, Fikret; Colding, Johan, Folke, Carl. 2001 "Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change", Cambridge University Press,

Bermejo R. 2014. "Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis". (En línea), 1Vol. Bilbao, España. 60 pp  
[http://publicaciones.hegoa.ehu.es/assets/pdfs/315/Sostenibilidad\\_DHL.pdf?1399365095](http://publicaciones.hegoa.ehu.es/assets/pdfs/315/Sostenibilidad_DHL.pdf?1399365095)

Betancourt, Y. P. J. 1998. Materia orgánica, coberturas vegetales y fertilización química en la producción de maíz. Tesis de Maestría en ciencias. Colegio de Posgraduados. Centro de Edafología, Motecillo, Texcoco Edo. de México. pg. 39.

Bifani, P., Herrero, J., Leon, M., & Sanchez, R. (1995). Desarrollo economico y medio ambiente. In 2. Congreso Nacional del Medio Ambiente. Madrid (España). 21-25 Nov 1994.

BM (Banco Mundial). 2004." Recursos de agua dulce internos renovables per cápita m<sup>3</sup>". *El Banco Mundial*. (En línea) Washington D. C., Estados Unidos.  
<http://datos.bancomundial.org/indicador/ER.H2O.INTR.PC>

Carreón et al (2014) La Psicología De La Sustentabilidad Hídrica. Políticas Públicas Y Modelos De Consumo Aposta. Revista de Ciencias Sociales · ISSN 1696-7348 N° 63, Octubre, Noviembre y Diciembre 2014.

Centro Mexicano de Derecho Ambiental, A. C., & Presencia Mexicana Ciudadana Mexicana, A. C. 2006. Agua en México: lo que todos y todas debemos saber. Fondo de Educación Ambiental.

CMMAD 1987 "Informe Brundtland", Nuestro Futuro Común, Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. <http://www.un.org/depts/dhl/spanish/resguids/specenvsp.htm>

CONAGUA (2015), Programa de Sustentabilidad Hídrica de la cuenca de Valle de México, (en línea) <http://www.inbo-news.org/IMG/pdf/GUEVARA1.pdf>.

CONAGUA. 2008. Capítulo 8, "Agua en el Mundo". Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F 125 pp.

CONAGUA. 2012. "Glosario general de términos del desarrollo de la base metodológica para el inventario nacional de humedales en México". *Inventario nacional de humedales México* (En línea), Mayo, México, 164 pp. <http://www.conagua.gob.mx/INH14/Noticias/Glosario%20de%20T%C3%A9rminos.pdf>

CONAGUA. 2013. Estadísticas del agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. 165p.

CSIRO. 1995. Effluent irrigated plantations: design and management. Documento Técnico N° 2. Canberra,

Daly, H. E. (1992). 14 sustainable growth: an impossibility theorem. *Valuing the earth: Economics, ecology, ethics*, 267.

FAO (2008), Datos sobre agua y seguridad alimentaria, disponible en "Boletín de la Facultad de economía agrícola", No 4, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.

FAO (2015) El cambio Climático, el agua y la seguridad Alimentaria. (En Línea) <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0142s/i0142s07.pdf>.

Foladori G. & Tommasino H. (2000). El concepto de desarrollo sustentable treinta años después. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 1.

Forman, R. T. (1990). The beginnings of landscape ecology in America. In *Changing landscapes: An ecological perspective* (pp. 35-41). Springer New York.

- García, C. 2010. "La exclusión hidrológica". Revista Interdisciplinaria Entelequia, 11, 41-59.
- Garza, A. V. 2000. Reúso de las aguas residuales en Cd. Juárez (Chih., México). En el Valle de Juárez y su impacto en la Salud Pública. Revista Salud Pública y Nutrición 1(3):1-11.
- González G.; Chiroles R. 2011. Uso seguro y riesgos microbiológicos del agua residual para la agricultura. Revista Cubana de Salud Pública, vol. 37, núm. 1, 2011, pp. 61-73. Sociedad Cubana de Administración de Salud La Habana, Cuba.
- George, C. S. 1972. The history of management thought. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.
- Hansen, A. M. and Afferden, M. V. 2001. Toxic substances. Sources, accumulation and dynamics. In: Hansen, A. M. y Afferden, M. V. (eds.). The Lerma Chapala watershed: evaluation and management. Kluwer Academic/Plenum Press, New York. EUA. 95-121 pp. <http://www.tgm.com.ar/revistas/revistas/30/fundamentos.ht>
- Hernández, A. 2011. Uso de aguas residuales en la agricultura. Estudio de caso; Distrito de riego 028, Tulancingo, Hidalgo, México. Universidad Autónoma Chapingo. 239p.
- INFDM. 2005. Enciclopedia de los Municipios de México. Estado de Zacatecas. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. <http://www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclozacatecas/medi.htm>
- Jacobs, M. (1995). Economía verde: medio ambiente y desarrollo sostenible (No. QH545 J17e).
- Jiménez, M. (2010). "Definición y medición de la conciencia ambiental". Revista Internacional de Sociología, 68, 735-755.
- Lapeña M. 1989. *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales*. S.A. MARCOMBO, 160 pp.
- Lawlor, B. & Hornyak, M. 2012. "SMART Goals: How the Application of Smart Goals can contribute to Achievement of Student Learning Outcomes". Journal of Development of Business Simulation and Experimental Learning, 39, págs. 259

Leff, E. (2011). 'Sustentabilidad y racionalidad ambiental: hacia "otro" programa de "sociología ambiental"'. *Revista Mexicana de Sociología*, 73, 5-46.

León, S. (2013). "Indicadores de tercera generación para cuantificar la sustentabilidad urbana ¿Avances o estancamiento?" *EURE*, 39, (118), 173-19.

Lucca, E. (2010). "Sustentabilidad urbana, rural natural". *Sustentabilidades*, 2, 120-142.

Machado, C. (2012). "Aproximaciones para la reestructuración física y social de la vivienda popular de Caracas". En Teolinda, Bolívar y Erazo, Jaime. *Dimensiones del habitat popular mexicano*. Ecuador.

Malmod, A. 2011. "Lógicas de ocupación en la conformación del territorio. Ordenamiento territorial como instrumento de la planificación". *Revista Iberoamericana de Urbanismo*. 6, 18-30.

Massey S., D.; J. Durand and N. Malone J. 2002. *Beyond smoke and mirrors. Mexican immigration in an era of Economic Integration*. Russell Sage Foundation, New York, p. 199.

Metcalf & Eddy, Inc. 1996 *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento; vertido y reutilización*. Tercera edición. U.S.A. Mc Graw Hill, 969 pp.

Molle, F. y P. Mallinga. 2003. Water poverty indicators: conceptual problems and policy issues. *Water policy* 5:529-544

Mooney, H. A., & Sala, O. E. (1993). SCIENCE AND SUSTAINABLE USE1 2. *Ecological Applications*, 3(4), 564-566.

Olmeda, J. (2006) El agua y su análisis desde la perspectiva económica. VIII Reunión de Economía Mundial. Alicante, España. (En línea) <http://altea.daea.ua.es/ochorem/comunicaciones/MESA2COM/OlmedaPascualJoseMiguel.pdf>.

OMS (Organización Mundial de la Salud) (2012a). Estándares de calidad de agua potable. OMS Lenntech. (En línea) Informe OMS-UNICEF 2012. <http://www.lenntech.es/aplicaciones/potable/normas/estandares-calidad-agua-oms.htm>

OMS (Organización Mundial de la Salud). (2012b). “Progresos sobre el agua potable y saneamiento”. *Agua y saneamiento*. (En línea) Informe OMS-UNICEF 2012. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/jmp2012/fast\\_facts/es](http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2012/fast_facts/es)

ONU (2014), “El Agua Fuente de Vida, 2005-2015”. *Decenio Internacional para la acción*. (En línea), Octubre, Nueva York, Estados Unidos [http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/food\\_security.shtml](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/food_security.shtml).

Pérez, J. 2012. Metodología SMART, compensación e incentivos. Creando Talento. <http://creartalento.blogspot.com/2012/11/metodologia-smart.html>

Pontón, R.T. 2008. "El valor del agua". *Invenio (En línea)*, Volumen 11, núm. 20, Junio, Argentina, 9 pp. <http://www.redalyc.org/pdf/877/87702001.pdf>

Secretaría de la Primera Cumbre de Agua del Asia y el Pacífico (2008), Proceedings of the 1st Asia-Pacific Water Summit. Singapore, World Scientific Publishing Company.

SEMARNAT. 2003 Norma Oficial Mexicana NOM-001-SAMARNAT-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES. Diario Oficial de la Federación, 23 de abril de 2003. México, D.F.

Sutcliffe J. 1977. *Las plantas y el agua*. Omega, Barcelona, 98 pp.

Torres P., Cruz C., Patiño. P. 2009. “Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano”. Una revisión Crítica. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, vol 8, No. 15 especial, pp. 79-94 – ISSN 1693-3324. 150 p. Medellín Colombia.

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 2005. SEGURIDAD HÍDRICA: RESPUESTAS A LOS DESAFÍOS LOCALES, REGIONALES, Y MUNDIALES”. Programa Hidrológico Internacional (PHI) OCTAVA FASE “PLAN ESTRATÉGICO PHI-VIII 2014-2021 IHP/2012/IHP-VIII/1 Rev.

Vargas, S. 2010. Aspectos socioeconómicos de la agricultura de riego en la Cuenca Lerma-Chapala. Revista Economía, Sociedad y Territorio. El Colegio Mexiquense, A. C. 6(32):231-263.

Vega, N. R. 1999. Memoria. Operación, Conservación y Mantenimiento de Sistema de Drenaje. Universidad Autónoma Chapingo.

Vizcaíno J. 2004. "Monografía de México" Vinculado. (En línea) Agosto, México. [http://vinculando.org/documentos/monografia\\_mexico.html](http://vinculando.org/documentos/monografia_mexico.html)

WAFLA. 2009. Deliverable 61: "Recommendations for future research, technology development and cooperation strategies" CADS-UACH.

Williams, C. 2012. MGMT (5th ed.). USA: South Western. College Publishing.

WWAP (2015), Hechos y cifras, La contaminación del agua sigue creciendo a nivel mundial, disponible en <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-15-water-pollution/>

WWDR (2015) Informe de las Naciones Unidas sobre los Recursos Hídricos en el Mundo. (En línea) [http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015ExecutiveSummary\\_SPA\\_web.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015ExecutiveSummary_SPA_web.pdf).

WWDR3: WWAP (2009). Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: El agua en un mundo en constante cambio. Tercera edición Paris, UNESCO y Londres.

## IX.- ANEXOS

### Anexo 1

#### **Cuestionario a Expertos Tratamiento de aguas residuales**

Universidad Autónoma Chapingo  
División de Ciencias Económico Administrativas  
Doctorado en Ciencias en Economía Agrícola.  
M.C. Yasunari Cristóbal Muñoz

Fecha de entrevista:

#### **Mensaje de Inicio**

Esta entrevista tiene la función de integrar información para evaluar las mejores técnicas y métodos de tratamiento de aguas residuales para la generación de conocimiento que beneficie a nuestro país (México) y mejore su desempeño. Por ello le solicito sea tan amable de otorgarme unos minutos para contestar las preguntas que contiene el presente cuestionario, ya que su opinión e información es valiosa para mejorar los sistemas de tratamiento de aguas residuales del país. Los datos que proporcione son para fines estadísticos y será exclusivamente utilizado para la evaluación del Programa. Los datos serán manejados de manera anónima y confidencial, por lo que no se divulgaran en ningún caso, ni harán prueba ante ninguna autoridad.

Nombre:

Universidad en la que labora:

Unidad académica en la que labora:

Teléfono:

#### **I.- Datos generales del entrevistado**

1.-Sexo (Tachar):

*Hombre*      *Mujer*

2.-Fecha de Nacimiento?

*Día:*            *Mes:*            *Año:*

3.-Formación Académica

*Ingeniería o*

*Licenciatura:* \_\_\_\_\_

*Maestría:* \_\_\_\_\_

*Doctorado:* \_\_\_\_\_

4.-Materias que Imparte sobre el tema del agua:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**II.- Tratamiento de aguas residuales**

**Considerando la peor calidad de agua del efluente conteste las siguientes preguntas**

1.-:¿Cuáles son los módulos de tratamiento de aguas residuales que utilizaría para generar una planta de tratamiento eficiente y cumplir con la NOM-003?

2.-:¿Cuáles son los módulos o procesos de pretratamiento de aguas residuales que utilizaría para generar una planta de tratamiento eficiente y cumplir con la NOM-003?

3.-:¿Cuáles son los módulos o procesos de tratamiento primario de aguas residuales que utilizaría para generar una planta de tratamiento eficiente y cumplir con la NOM-003?

4.-:¿Cuáles son los módulos o procesos de tratamiento secundario de aguas residuales que utilizaría para generar una planta de tratamiento eficiente y cumplir con la NOM-003?

5.-:¿Cuáles son los módulos o procesos de tratamiento terciario de aguas residuales que utilizaría para generar una planta de tratamiento eficiente y cumplir con la NOM-003?

6.-:¿Qué sustancias químicas utilizaría en los módulos o procesos de tratamiento primario para generar una planta de tratamiento eficiente y cumplir con la NOM-003?

7.-:¿Qué sustancias químicas utilizaría en los módulos o procesos de tratamiento secundario para generar una planta de tratamiento eficiente y cumplir con la NOM-003?

8.-:¿Qué sustancias químicas utilizaría en los módulos o procesos de tratamiento terciario para generar una planta de tratamiento eficiente y cumplir con la NOM-003?

9.-:¿Es más eficiente la construcción de grandes plantas de tratamiento para las ciudades o la creación de micro plantas de tratamiento para cada familia mexicana, en el tratamiento de aguas residuales?

## **Anexo 2**

### **Tratamiento de aguas residuales (definiciones)**

#### **PRETRATAMIENTO**

*Tamizado:* Los tamices auto limpiantes están contruidos con mallas dispuestas en una inclinación particular, que deja atravesar el agua y obliga a deslizarse a la materia sólida retenida hasta caer fuera de la malla por sí sola. La gran ventaja de este equipo es que es barato, no tiene partes móviles y el mantenimiento es mínimo, pero necesita un desnivel importante entre el punto de alimentación del agua y el de salida.

*Rejas:* Se utilizan para separar objetos de tamaño más importante que el de simples partículas que son arrastrados por la corriente de agua. Se utilizan solamente en desbastes previos. El objetivo es proteger los equipos mecánicos e instalaciones posteriores que podrían ser dañados u obstruidos con perjuicio de los procesos que tuviesen lugar. Se construyen con barras metálicas de 6 o más mm de espesor, dispuestas paralelamente y espaciadas de 10 a 100 mm. Se limpian mediante rastrillos que pueden ser manejados manualmente o accionados automáticamente. Para pequeñas alturas de la corriente de agua se emplean rejas curvas y para alturas mayores, rejas longitudinales dispuestas casi verticalmente.

*Microfiltración:* Los microfiltros trabajan a baja carga, con muy poco desnivel, y están basados en una pantalla giratoria de acero o material plástico a través de la cual circula el agua. Las partículas sólidas quedan retenidas en la superficie interior del microfiltro que dispone de un sistema de lavado continuo para mantener las mallas limpias. Se han utilizado eficazmente para separar algas de aguas superficiales y como tratamiento terciario en la depuración de aguas residuales. Según la aplicación se selecciona el tamaño de malla indicado. Con mallas de acero pueden tener luces del orden de 30 micras y con mallas de poliéster se consiguen buenos rendimientos con tamaños de hasta 6 micras.

### **Tratamientos Primarios**

*Remoción de sólidos o Cribado:* La remoción de los sólidos habitualmente se realiza mediante el cribado. Los sólidos que se remueven son de gran tamaño, por ejemplo, botellas, palos, bolsas, balones, llantas, etc. Con esto se evita tener problemas en la planta de tratamiento de aguas, ya que si no se remueven estos sólidos pueden llegar a tapar tuberías o dañar algún equipo.

*Remoción de arena:* Esta etapa (también conocida como escaneo o maceración), típicamente incluye un canal de arena donde la velocidad de las aguas residuales es cuidadosamente controlada para permitir que la arena y las piedras de ésta tomen partículas, pero todavía se mantiene la mayoría del material orgánico con el flujo. Este equipo es llamado colector de arena. La arena y las piedras necesitan

ser quitadas a tiempo en el proceso para prevenir daño en las bombas y otros equipos, en las etapas restantes del tratamiento. Algunas veces hay baños de arena (clasificador de la arena) seguido por un transportador que transporta la arena a un contenedor para la deposición. El contenido del colector de arena podría ser alimentado en el incinerador en un procesamiento de planta de fangos, pero en muchos casos la arena es enviada a un terraplén.

*Investigación y maceración:* El líquido libre de abrasivos es pasado a través de pantallas arregladas o rotatorias para eliminar material flotante y materia grande como trapos; y partículas pequeñas como chícharos y maíz. Los escaneos son recolectados y podrán ser regresados a la planta de tratamiento de fangos o podrán ser dispuestos al exterior hacia campos o incineración. En la maceración, los sólidos son cortados en partículas pequeñas a través del uso de cuchillos rotatorios montados en un cilindro revolvente, es utilizado en plantas que pueden procesar esta basura en partículas. Los maceradores son, sin embargo, más caros de mantener y menos fiables que las pantallas físicas.

*Sedimentación:* Muchas plantas tienen una etapa de sedimentación donde el agua residual se pasa a través de grandes tanques circulares o rectangulares. Estos tanques son comúnmente llamados clarificadores primarios o tanques de sedimentación primarios. Los tanques son lo suficientemente grandes, tal que los sólidos fecales pueden situarse y el material flotante como la grasa y plásticos pueden levantarse hacia la superficie y desnatarse. El propósito principal de la

etapa primaria es producir un líquido homogéneo capaz de ser tratado biológicamente y unos fangos o lodos que pueden ser tratados separadamente. Los tanques primarios de asentamiento se equipan generalmente con raspadores conducidos mecánicamente que llevan continuamente los fangos recogidos hacia una tolva en la base del tanque donde, mediante una bomba, se pueden llevar hacia otras etapas del tratamiento.

*Sedimentación primaria:* Se realiza en tanques ya sean rectangulares o cilíndricos, en donde se remueve de un 60 a 65% de los sólidos sedimentables, y de 30 a 35% de los sólidos suspendidos en las aguas residuales. En la sedimentación primaria el proceso es de tipo flocúleno y los lodos producidos están conformados por partículas orgánicas.

Un tanque de sedimentación primaria tiene profundidades que oscilan entre 3 y 4 m y tiempos de detención entre 2 y 3 horas. En estos tanques el agua residual es sometida a condiciones de reposo para facilitar la sedimentación de los sólidos sedimentables. El porcentaje de partículas sedimentadas puede aumentarse con tiempos de detención más altos, aunque se sacrifica eficiencia y economía en el proceso; las grasas y espumas que se forman sobre la superficie del sedimentador primario son removidas por medio de rastrillos que ejecutan un barrido superficial continuo.

*Precipitación química – coagulación:* La coagulación en el tratamiento de las aguas residuales es un proceso de precipitación química, en donde se agregan compuestos químicos con el fin de remover los sólidos. El uso de la coagulación ha despertado interés sobre todo como tratamiento terciario y con el fin de remover fósforo, color, turbiedad y otros compuestos orgánicos.

### **Tratamientos Secundarios**

*Desbaste:* Consiste habitualmente en la retención de los sólidos gruesos del agua residual mediante una reja, manual o autolimpiable, o un tamiz, habitualmente de menor paso o luz de malla. Esta operación no solo reduce la carga contaminante del agua a la entrada, sino que permite preservar los equipos como conducciones, bombas y válvulas, frente a los depósitos y obstrucciones provocados por los sólidos, que habitualmente pueden ser muy fibrosos: tejidos, papeles, etc.

*Lodos activados:* Es un tratamiento de tipo biológico en el cual una mezcla de agua residual y lodos biológicos es agitada y aireada. Los lodos biológicos producidos son separados y un porcentaje de ellos devueltos al tanque de aireación en la cantidad que sea necesaria. En este sistema las bacterias utilizan el oxígeno suministrado artificialmente para desdoblar los compuestos orgánicos que a su vez son utilizados para su crecimiento. A medida que los microorganismos van creciendo se aglutinan formando los lodos activados; éstos más el agua residual fluyen a un tanque de sedimentación secundaria en donde sedimentan los lodos. Los efluentes del sedimentador pueden ser descargados a una corriente receptora; parte de los lodos son devueltos al tanque con el fin de

mantener una alta población bacteriana para permitir una oxidación rápida de la materia orgánica.

*Biodiscos:* Es tan eficaz como los lodos activados, requiere un espacio mucho menor, es fácil de operar y tiene un consumo energético inferior. Está formado por una estructura plástica de diseño especial, dispuesto alrededor de un eje horizontal. Según la aplicación puede estar sumergido de un 40 a un 90% en el agua a tratar, sobre el material plástico se desarrolla una película de microorganismos, cuyo espesor se autorregula por el rozamiento con el agua, en la parte menos sumergida, el contacto periódico con el aire exterior es suficiente para aportar el oxígeno necesario para la actividad celular.

*Lagunaje:* El tratamiento se puede realizar en grandes lagunas con largos tiempos de retención (1/3 días) que les hace prácticamente insensibles a las variaciones de carga, pero que requieren terrenos muy extensos. La agitación debe ser suficiente para mantener los lodos en suspensión excepto en la zona más inmediata a la salida del efluente.

*Filtro biológico:* Está formado por un reactor, en el cual se ha situado un material de relleno sobre el cual crece una película de microorganismos aeróbicos con aspecto de limos. La altura del filtro puede alcanzar hasta 12 m. El agua residual se descarga en la parte superior mediante un distribuidor rotativo cuando se trata

de un tanque circular. A medida que el líquido desciende a través del relleno entra en contacto con la corriente de aire ascendente y los microorganismos. La materia orgánica se descompone lo mismo que con los lodos activados, dando más material y CO<sub>2</sub>.

*Camas filtrantes (camas de oxidación):* En plantas más viejas y plantas receptoras de cargas variables, se utilizan camas filtrantes de goteo, en las que el licor (mezcla de microorganismos) de las aguas residuales es rociado en la superficie de una profunda cama compuesta de coque (carbón), piedra caliza o fabricada especialmente de medios plásticos. Tales medios deben tener altas superficies para soportar las biopelículas que se forman. El licor es distribuido mediante unos brazos perforados rotativos que irradian de un pivote central. El licor distribuido gotea en la cama y es recogido en drenes en la base. Estos drenes también proporcionan un recurso de aire que se infiltra hacia arriba de la cama, manteniendo un medio aerobio. Las películas biológicas de bacterias, protozoarios y hongos se forman en la superficie del medio y se comen o reducen los contenidos orgánicos. Esta biopelícula es alimentada a menudo por insectos y gusanos.

*Placas rotativas y espirales:* En algunas plantas pequeñas son usadas placas o espirales de revolvimiento lento que son parcialmente sumergidas en un licor. Se crea un flóculo biótico que proporciona el substrato requerido.

*Reactor biológico de cama móvil:* El reactor biológico de cama móvil (MBBR, por sus siglas en inglés) asume la adición de medios inertes en vasijas de fangos activos existentes para proveer sitios activos para que se adjunte la biomasa. Esta conversión hace como resultante un sistema de crecimiento. Las ventajas de los sistemas de crecimiento adjunto son:

- 1) Mantener una alta densidad de población de biomasa
- 2) Incrementar la eficiencia del sistema sin la necesidad de incrementar la concentración del licor mezclado de sólidos (MLSS)
- 3) Eliminar el costo de operación de la línea de retorno de fangos activos (RAS).

*Filtros aireados biológicos:* Filtros aireados (o anóxicos) biológicos (BAF) combinan la filtración con reducción biológica de carbono, nitrificación o desnitrificación. BAF incluye usualmente un reactor lleno de medios de un filtro. Los medios están en la suspensión o apoyados por una capa en el pie del filtro. El propósito doble de este medio es soportar altamente la biomasa activa que se une a él y a los sólidos suspendidos del filtro. La reducción del carbón y la conversión del amoníaco ocurre en medio aerobio y alguna vez alcanzado en un solo reactor mientras la conversión del nitrato ocurre en una manera anóxica. BAF es también operado en flujo alto o flujo bajo dependiendo del diseño especificado por el fabricante.

*Reactores biológicos de membrana (MBR):* son un sistema con una barrera de membrana semipermeable o en conjunto con un proceso de fangos. Esta

tecnología garantiza la remoción de todos los contaminantes suspendidos y sólidos disueltos. La limitación de los sistemas MBR es directamente proporcional a la eficaz reducción de nutrientes del proceso de fangos activos. El coste de construcción y operación de MBR es usualmente más alto que el de un tratamiento de aguas residuales convencional de esta clase de filtros.

*Sedimentación secundaria:* El paso final de la etapa secundaria del tratamiento es retirar los flóculos biológicos del material de filtro, y producir agua tratada con bajos niveles de materia orgánica y materia suspendida. En una planta de tratamiento rural, se realiza en el tanque de sedimentación secundaria.

### **Tratamientos Terciarios**

*Filtración:* La filtración de arena retiene gran parte de los residuos de materia suspendida. El carbón activado sobrante de la filtración retiene las toxinas residuales.

*Osmosis inversa:* Si se utiliza una presión superior a la presión osmótica, se produce el efecto contrario. Los fluidos se presionan a través de la membrana, mientras que los sólidos disueltos quedan atrás. Para poder purificar el agua necesitamos llevar a cabo el proceso contrario al de la ósmosis convencional, es lo que se conoce como Ósmosis Inversa. Se trata de un proceso con membranas. Para poder forzar el paso del agua que se encuentra en la corriente de salmuera a la corriente de agua con baja concentración de sal, es necesario presurizar el

agua a un valor superior al de la presión osmótica. Como consecuencia a este proceso, la salmuera se concentrará más.

Por ejemplo, la presión de operación del agua de mar es de 60 bar.

1. El agua fluye de una columna con un bajo contenido de sólidos disueltos a una columna con una elevada concentración de sólidos disueltos.

2. La presión osmótica es la aplicada para evitar que el agua siga fluyendo a través de la membrana y de esta forma crear un equilibrio.

3. Para poder alcanzar una presión superior a la presión osmótica, el agua debe fluir en sentido contrario. El agua fluye de la columna con un alto contenido en sólidos disueltos a la columna con bajo contenido en sólidos disueltos.

El fenómeno de la Ósmosis está basado en la búsqueda del equilibrio. Cuando se ponen en contacto dos fluidos con diferentes concentraciones de sólidos disueltos se mezclarán hasta que la concentración sea uniforme. Si estos fluidos están separados por una membrana permeable (la cual permite el paso a su través de uno de los fluidos), el fluido que se moverá a través de la membrana será el de menor concentración de tal forma que pasa al fluido de mayor concentración.

*Lagunaje:* El tratamiento de lagunas proporciona sedimentación y mejora biológica adicional por almacenaje en charcos o lagunas. Se trata de una imitación de los procesos de autodepuración que un río o un lago somete las aguas residuales de forma natural. Estas lagunas son altamente aerobias y se da a menudo la colonización por macrofitos nativos, especialmente cañas. Los invertebrados de

alimentación del filtro pequeño tales como Daphnia y especies de Rotifera ayudan eficazmente al tratamiento reteniendo partículas finas. El sistema de lagunaje es barato y fácil de mantener pero presenta los inconvenientes de necesitar gran cantidad de espacio y de ser poco capaz para depurar las aguas de grandes núcleos.

*Humedales artificiales:* Los humedales artificiales incluyen camas de caña o una serie de métodos similares que proporcionan un alto grado de mejora biológica aerobia, pueden utilizarse a menudo en lugar del tratamiento secundario para las poblaciones pequeñas, también para la fitorremediación. Un ejemplo es una pequeña cama de cañas (o camas de lámina) utilizada para limpiar el drenaje del lugar de los elefantes en el parque zoológico de Chester en Inglaterra.

Remoción de nutrientes: Las aguas residuales pueden contener también altos niveles de los nutrientes nitrógeno y fósforo. Eso en ciertas formas puede ser tóxico para peces e invertebrados en concentraciones muy bajas (por ejemplo amoníaco), o puede crear condiciones insanas en el ambiente de recepción (por ejemplo: mala hierba o crecimiento de algas). Las algas pueden producir toxinas, y su muerte y consumo por bacterias (decaimiento) pueden agotar el oxígeno en el agua y asfixiar peces y otra vida acuática. Cuando se recibe una descarga de los ríos a los lagos o a los mares bajos, los nutrientes agregados pueden causar pérdidas entrópicas severas perdiendo muchos peces sensibles a la contaminación en el agua. La retirada del nitrógeno o del fósforo de las aguas residuales se puede alcanzar mediante la precipitación química o biológica.

La remoción del nitrógeno se efectúa con la oxidación biológica del nitrógeno del amoníaco a nitrato (nitrificación que implica nitrificar bacterias tales como Nitrobacter y Nitrosomonas), y entonces mediante la reducción, el nitrato se convierte en nitrógeno gaseoso (desnitrificación), que se envía a la atmósfera. Estas conversiones requieren condiciones cuidadosamente controladas para permitir la formación adecuada de comunidades biológicas. Los filtros de arena, las lagunas y las camas de lámina se pueden utilizar para reducir el nitrógeno. Algunas veces, la conversión del amoníaco tóxico en nitrato solamente se hace como tratamiento terciario.

La oxidación anaeróbica se define como aquella en que la descomposición se ejecuta en ausencia de oxígeno disuelto y se usa el oxígeno de compuestos orgánicos, nitratos y nitritos, los sulfatos y el CO<sub>2</sub>, como aceptador de electrones. En el proceso conocido como desnitrificación, los nitratos y nitritos son usados por las bacterias facultativas, en condiciones anóxicas, condiciones intermedias, con formación de CO<sub>2</sub>, agua y nitrógeno gaseoso como productos finales.<sup>2</sup>

La retirada del fósforo se puede efectuar biológicamente en un proceso llamado retiro biológico realizado del fósforo. En este proceso, bacterias específicas llamadas organismos acumuladores de polifosfato, se enriquecen y acumulan selectivamente grandes cantidades de fósforo dentro de sus células. Cuando la biomasa enriquecida en estas bacterias se separa del agua tratada, los biosólidos bacterianos tienen un alto valor del fertilizante. La retirada del fósforo se puede alcanzar también, generalmente por la precipitación química con las sales del hierro (por ejemplo: cloruro férrico) o del aluminio (por ejemplo: alumbre). El fango

químico que resulta, sin embargo, es difícil de operar, y el uso de productos químicos en el proceso del tratamiento es costoso. Aunque esto hace la operación difícil y a menudo sucia, la eliminación química del fósforo requiere una huella significativamente más pequeña del equipo que la de retiro biológico y es más fácil de operar.

*Desinfección:* El propósito de la desinfección en el tratamiento de las aguas residuales es reducir substancialmente el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente. La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada (por ejemplo: turbiedad, pH, etc.), del tipo de desinfección que es utilizada, de la dosis de desinfectante (concentración y tiempo), y de otras variables ambientales. El agua turbia será tratada con menor éxito puesto que la materia sólida puede blindar organismos, especialmente de la luz ultravioleta o si los tiempos del contacto son bajos. Generalmente, tiempos de contacto cortos, dosis bajas y altos flujos influyen en contra de una desinfección eficaz. Los métodos comunes de desinfección incluyen el ozono, la clorina, o la luz UV. La Cloramina, que se utiliza para el agua potable, no se utiliza en el tratamiento de aguas residuales debido a su persistencia.

La desinfección con cloro sigue siendo la forma más común de desinfección de las aguas residuales en Norteamérica debido a su bajo historial de costo y del largo plazo de la eficacia. Una desventaja es que la desinfección con cloro del material orgánico residual puede generar compuestos orgánicamente clorados que pueden

ser carcinógenos o dañinos al ambiente. La clorina o las "cloraminas" residuales puede también ser capaces de tratar el material con cloro orgánico en el ambiente acuático natural. Además, porque la clorina residual es tóxica para especies acuáticas, el efluente tratado debe ser químicamente desclorinado, agregándose complejidad y costo del tratamiento.

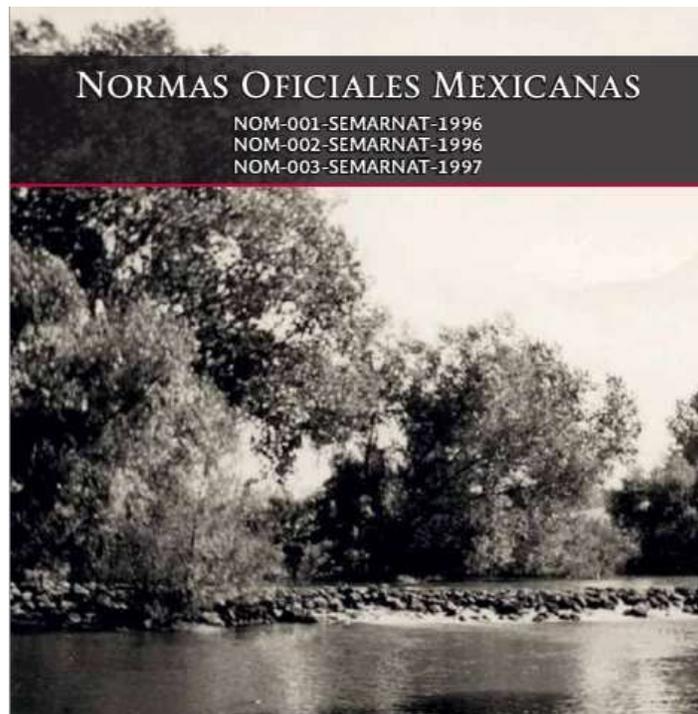
La luz ultravioleta (UV) se está convirtiendo en el medio más común de la desinfección en el Reino Unido debido a las preocupaciones por los impactos de la clorina en el tratamiento de aguas residuales y en la clorinación orgánica en aguas receptoras. La radiación UV se utiliza para dañar la estructura genética de las bacterias, virus, y otros patógenos, haciéndolos incapaces de la reproducción. Las desventajas dominantes de la desinfección UV son la necesidad del mantenimiento y del reemplazo frecuentes de la lámpara y la necesidad de un efluente altamente tratado para asegurarse de que los microorganismos objetivo no están blindados de la radiación UV (es decir, cualquier sólido presente en el efluente tratado puede proteger microorganismos contra la luz UV).

El ozono (O<sub>3</sub>) se genera al pasar oxígeno (O<sub>2</sub>) por un potencial de alto voltaje, lo que añade un tercer átomo de oxígeno y forma O<sub>3</sub>. El ozono es muy inestable y reactivo y oxida la mayoría del material orgánico con que entra en contacto, de tal manera que destruye muchos microorganismos causantes de enfermedades. El ozono se considera más seguro que la clorina porque, mientras que la clorina tiene que ser almacenada en el sitio (altamente venenoso en caso de un lanzamiento accidental), el ozono es colocado según lo necesitado. La ozonización también produce menos subproductos que la desinfección con cloro.

Una desventaja de la desinfección del ozono es el alto costo del equipo de la generación del ozono, y que la cualificación de los operadores deben ser elevada.

### Anexo 3

#### Normas Oficiales Mexicanas del agua



## **SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA**

### **NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PUBLICO.

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5o. fracciones V y XI, 6o., 36, 37, 37 Bis, 117, 118 fracción I, 119, 121, 126, 171 y 173 la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 118 fracción III y 122 de la Ley General de Salud; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 45, 46 y 47 fracciones III y IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y

#### **CONSIDERANDO**

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de enero de 1998, a fin de que los interesados, en un plazo de 60 días naturales, presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en avenida Revolución 1425, mezzanine planta alta, colonia Tlacopac, Delegación Alvaro Obregón, código postal 01040, de esta ciudad.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del ordenamiento legal citado, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto.

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes a dicha Norma; las respuestas a los comentarios de referencia fueron publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de agosto de 1998.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de normas oficiales mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 22 de abril de 1998, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente

#### **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PUBLICO**

#### **INDICE**

1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Muestreo
6. Métodos de prueba
7. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración
8. Bibliografía
9. Observancia de esta Norma
- 1. Objetivo y campo de aplicación**

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

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

## 2. Referencias

Norma Mexicana NMX-AA-003	Aguas residuales-Muestreo, publicada en el <b>Diario Oficial de la Federación</b> el 25 de marzo de 1980.
Norma Mexicana NMX-AA-005	Aguas-Determinación de grasas y aceites-Método de extracción Solhlet, publicada en el <b>Diario Oficial de la Federación</b> el 8 de agosto de 1980.
Norma Mexicana NMX-AA-006	Aguas-Determinación de materia flotante-Método visual con malla específica, publicada en el <b>Diario Oficial de la Federación</b> el 5 de diciembre de 1973.
Norma Mexicana NMX-AA-028	Aguas-Determinación de demanda bioquímica de oxígeno.- Método de incubación por diluciones, publicada en <b>Diario Oficial de la Federación</b> el 6 de julio de 1981.
Norma Mexicana NMX-AA-034	Aguas-Determinación de sólidos en agua.- Método gravimétrico, publicada en el <b>Diario Oficial de la Federación</b> el 3 de julio de 1981.
Norma Mexicana NMX-AA-42	Aguas-Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales.- Método de tubos múltiples de fermentación, publicada en el <b>Diario Oficial de la Federación</b> el 22 de junio de 1987.
Norma Mexicana NMX-AA-102-1987	Calidad del Agua-Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y <i>Escherichia coli</i> presuntiva.- Método de filtración en membrana, publicada en el <b>Diario Oficial de la Federación</b> el 28 de agosto de 1987.
Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, publicada en el <b>Diario Oficial de la Federación</b> el 6 de enero de 1997 y su aclaración, publicada en el citado órgano informativo el 30 de abril de 1997.

## 3. Definiciones

### 3.1 Aguas residuales

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

### 3.2 Aguas crudas

Son las aguas residuales sin tratamiento.

### 3.3 Aguas residuales tratadas

Son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público.

### 3.4 Contaminantes básicos

Son aquellos compuestos o parámetros que pueden ser removidos o estabilizados mediante procesos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno<sub>5</sub> y sólidos suspendidos totales.

### 3.5 Contaminantes patógenos y parasitarios

Son los 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. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los coliformes fecales medidos como NMP o UFC/100 ml (número más probable o unidades formadoras de colonias por cada 100 mililitros) y los huevos de helminto medidos como h/l (huevos por litro).

### 3.6 Entidad pública

Los gobiernos de los estados, del Distrito Federal, y de los municipios, por sí o a través de sus organismos públicos que administren el agua.

### 3.7 Lago artificial recreativo

Es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas con acceso al público para paseos en lancha, prácticas de remo y canotaje donde el usuario tenga contacto directo con el agua.

### 3.8 Lago artificial no recreativo

Es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas que sirve únicamente de ornato, como lagos en campos de golf y parques a los que no tiene acceso el público.

### 3.9 Límite máximo permisible

Valor o rango asignado a un parámetro, que no debe ser excedido por el responsable del suministro de agua residual tratada.

### 3.10 Promedio mensual (P.M.)

Es el valor que resulta del promedio de los resultados de los análisis practicados a por lo menos dos muestras simples en un mes.

Para los coliformes fecales es la media geométrica; y para los huevos de helminto, demanda bioquímica de oxígeno<sub>5</sub>, sólidos suspendidos totales, metales pesados y cianuros y grasas y aceites, es la media aritmética.

### 3.11 Reuso en servicios al público con contacto directo

Es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

### 3.12 Reuso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional

Es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: riego de jardines y camellones en autopistas, camellones en avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

## 4. Especificaciones

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

**TABLA 1**  
**LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES**

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO <sub>5</sub> mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤ 1	15	20	20

SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	≤ 5	15	30	30
---	-------	-----	----	----	----

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

**4.3** El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la columna que corresponde a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola de la Tabla 3 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, referida en el punto 2 de esta Norma.

**4.4** Las entidades públicas responsables del tratamiento de las aguas residuales que reusen en servicios al público, tienen la obligación de realizar el monitoreo de las aguas tratadas en los términos de la presente Norma Oficial Mexicana y de conservar al menos durante los últimos tres años los registros de la información resultante del muestreo y análisis, al momento en que la información sea requerida por la autoridad competente.

## 5. Muestreo

Los responsables del tratamiento y reuso de las aguas residuales tratadas, tienen la obligación de realizar los muestreos como se establece en la Norma Mexicana NMX-AA-003, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana. La periodicidad y número de muestras será:

**5.1** Para los coliformes fecales, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno<sub>5</sub>, sólidos suspendidos totales y grasa y aceites, al menos 4 (cuatro) muestras simples tomadas en días representativos mensualmente.

**5.2** Para los huevos de helminto, al menos 2 (dos) muestras compuestas tomadas en días representativos mensualmente.

**5.3** Para los metales pesados y cianuros, al menos 2 (dos) muestras simples tomadas en días representativos anualmente.

## 6. Métodos de prueba

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deben aplicar los métodos de prueba indicados en las normas mexicanas a que se refiere el punto 2 de esta Norma. Para coliformes fecales, el responsable del tratamiento y reuso del agua residual, podrá realizar los análisis de laboratorio de acuerdo con la NMX-AA-102-1987, siempre y cuando demuestre a la autoridad competente que los resultados de las pruebas guardan una estrecha correlación o son equivalentes a los obtenidos mediante el método de tubos múltiples que se establece en la NMX-AA-42-1987. El responsable del tratamiento y reuso del agua residual, puede solicitar a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, la aprobación de métodos de prueba alternos. En caso de aprobarse, éstos pueden ser aplicados por otros responsables en situaciones similares. Para la determinación de huevos de helminto se deben aplicar las técnicas de análisis que se señalan en el anexo 1 de esta Norma.

## 7. Grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración

**7.1** 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; tampoco existen normas mexicanas que hayan servido de base para su elaboración.

## 8. Bibliografía

**8.1** APHA, AWWA, WPCF, 1994. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 19th Edition. U.S.A. (Métodos normalizados para el análisis del agua y aguas residuales 19a. Edición. E.U.A.).

**8.2** Code of Federal Regulations 40. Protection of Environmental 1992. (Código de Normas Federales 40. Protección al Ambiente) E.U.A.

**8.3** Ingeniería sanitaria y de aguas residuales, 1988. Gordon M. Fair, John Ch. Gerey, Limusa, México.

**8.4** Manual de agua, 1989. Frank N. Kemmer, John McCallion Ed. McGraw-Hill. Volúmenes 1 al 3. México.

**8.5** Development Document for Effluent Limitation Guidelines and New Source Performance Standard for the 1974. (Documento de desarrollo de la U.S.E.P.A. para guías de límites de efluentes y estándares de evaluación de nuevas fuentes para 1974).

**8.6** Water Treatment Handbook, 1991. Degremont 6th Edition Vol. I y II. U.S.A. (Manual de tratamiento de agua 1991) 6a. Edición Vols. I y II. E.U.A.

**8.7** Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse, 1991. 3rd. Edition. U.S.A. (Ingeniería en el tratamiento de aguas residuales. Disposición y reuso) Metcalf and Eddy. McGraw-Hill International Editions. 3a. Edición. E.U.A.

**8.8** Municipal Wastewater Reuse-Selected Readings on Water Reuse-United States Environmental Protection Agency-EPA 430/09-91-022 September, 1991. (Reuso de aguas residuales municipales-lecturas selectivas sobre el reuso del agua-Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América-EPA 430/09-91-022 septiembre 1991).

## **9. Observancia de esta Norma**

**9.1** La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través de la Comisión Nacional del Agua, y a la Secretaría de Salud, en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley General de Salud y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

**9.2** La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**. Las plantas de tratamiento de aguas residuales referidas en esta Norma que antes de su entrada en vigor ya estuvieran en servicio y que no cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en ella, tendrán un plazo de un año para cumplir con los lineamientos establecidos en la presente Norma.

México, Distrito Federal, a los diecisiete días del mes de julio de mil novecientos noventa y ocho.- La Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, **Julia Carabias Lillo**.- Rúbrica.

## **ANEXO 1**

### **TECNICA PARA LA DETERMINACION Y CUANTIFICACION DE HUEVOS DE HELMINTO**

#### **1. Objetivo**

Determinar y cuantificar huevos de helminto en lodos, afluentes y efluentes tratados.

#### **2. Campo de aplicación**

Es aplicable para la cuantificación de huevos de helminto en muestras de lodos, afluentes y efluentes de plantas de tratamiento.

#### **3. Definiciones**

**3.1** Helminto: 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.

**3.2** Platyhelminths: gusano dorsoventralmente aplanado, algunos de interés médico son: *Taenia solium*, *Hymenolepis nana* e *Il. diminuta*, entre otros.

**3.3** Nematelminths: gusanos de cuerpo alargado y forma cilíndrica. Algunas especies enteroparásitas de humanos y animales son: *Ascaris lumbricoides*, *Toxocara canis*, *Enterobius vermicularis* y *Trichuris trichiura*, entre otros.

**3.4** Método difásico: técnica de concentración que utiliza la combinación de dos reactivos no miscibles y donde las partículas (huevos, detritus), se orientan en función de su balance hidrofílico-lipofílico.

**3.5** Método de flotación: técnica de concentración donde las partículas de interés permanecen en la superficie de soluciones cuya densidad es mayor. Por ejemplo, la densidad de huevos de helminto se encuentra entre 1.05 a 1.18, mientras que los líquidos de flotación se sitúan entre 1.1 a 1.4.

#### **4. Fundamento**

Utiliza la combinación de los principios del método difásico y del método de flotación, obteniendo un rendimiento de un 90%, a partir de muestras artificiales contaminadas con huevos de helminto de ascaris.

#### **5. Equipo**

Centrífuga: con intervalos de operación de 1,000 a 2,500 revoluciones por minuto

Periodos de operación de 1 a 3 minutos

Temperatura de operación 20 a 28 °C

Bomba de vacío: adaptada para control de velocidad de succión 1/3 hp

Microscopio óptico: con iluminación Köheler

Aumentos de 10 a 100X; platina móvil; sistema de microfotografía

Agitador de tubos: automático, adaptable con control de velocidad

Parrilla eléctrica: con agitación

Hidrómetro: con intervalo de medición de 1.1 a 1.4 g/cm<sup>3</sup>

Temperatura de operación: 0 a 4°C

## 6. Reactivos

- Sulfato de zinc heptahidratado
- Acido sulfúrico
- Eter etílico
- Etanol
- Agua destilada
- Formaldehído

### 6.1 Solución de sulfato de zinc, gravedad específica de 1.3

- Fórmula
- Sulfato de zinc 800 g
- Agua destilada 1,000 ml

#### PREPARACION

Disolver 800 g de sulfato de zinc en 1,000 ml de agua destilada y agitar en la parrilla eléctrica hasta homogeneizar, medir la densidad con hidrómetro. Para lograr la densidad deseada agregar reactivo o agua, según sea el caso.

### 6.2 Solución de alcohol-ácido

- Fórmula
- Acido sulfúrico 0.1 N 650 ml
- Etanol 350 ml

#### PREPARACION

Homogeneizar 650 ml del ácido sulfúrico al 0.1 N, con 350 ml del etanol para obtener un litro de la solución alcohol-ácida. Almacenarla en recipiente hermético.

## 7. Material

- Garrafrones de 8 litros
- Tamiz de 160 mm (micras) de poro
- Probetas graduadas (1 litro y 50 ml)
- Gradillas para tubos de centrifuga de 50 ml
- Pipetas de 10 ml de plástico
- Aplicadores de madera
- Recipientes de plástico de 2 litros
- Guantes de plástico
- Vasos de precipitado de 1 litro
- Bulbo de goma
- Magneto
- Cámara de conteo Doncaster

- Celda Sedgwich-Rafter

### 8. Condiciones de la muestra

- 1 Se transportarán al laboratorio en hieleras con bolsas refrigerantes o bolsas de hielo.
- 2 Los tiempos de conservación en refrigeración y transporte deben reducirse al mínimo.
- 3 Si no es posible refrigerar la muestra líquida, debe fijarse con 10 ml de formaldehído al 4% o procesarse dentro de las 48 horas de su toma.
- 4 Una muestra sólida debe refrigerarse y procesarse en el menor tiempo posible.

### 9. Interferencias

La sobreposición de estructuras y/o del detritus no eliminado en el sedimento, puede dificultar su lectura, en especial cuando se trata de muestras de lodo. En tal caso, es importante dividir el volumen en alícuotas que se consideren adecuadas.

### 10. Precauciones

- 1 Durante el procesado de la muestra, el analista debe utilizar guantes de plástico para evitar riesgo de infección.
- 2 Lavar y desinfectar el área de trabajo, así como el material utilizado por el analista.

### 11. Procedimiento

- 1 Muestreo
  - a) Preparar recipientes de 8 litros, desinfectándolos con cloro, enjuagándolos con agua potable a chorro y con agua destilada.
  - b) Tomar 5 litros de la muestra (ya sea del afluente o efluente).
  - c) En el caso de que la muestra se trate de lodo, preparar en las mismas condiciones recipientes de plástico de 1 litro con boca ancha.
  - d) Tomar X gramos de materia fresca (húmeda) que corresponda a 10 g de materia seca.
- 2 Concentrado y centrifugado de la muestra
  - a) La muestra se deja sedimentar durante 3 horas o toda la noche.
  - b) El sobrenadante se aspira por vacío sin agitar el sedimento.
  - c) Filtrar el sedimento sobre un tamiz de 160 mm (micras), enjuagando también el recipiente donde se encontraba originalmente la muestra y lavar enseguida con 5 litros de agua (potable o destilada).
  - d) Recibir el filtrado en los mismos recipientes de 8 litros.
  - e) En caso de tratarse de lodos, la muestra se filtrará y enjuagará en las mismas condiciones iniciando a partir del inciso c.
  - f) Dejar sedimentar durante 3 horas o toda la noche.
  - g) Aspirar el sobrenadante al máximo y depositar el sedimento en una botella de centrifuga de 250 ml, incluyendo de 2 a 3 enjuagues del recipiente de 8 litros.
  - h) Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400-2,000 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).
  - i) Decantar el sobrenadante por vacío (asegurarse de que exista la pastilla) y resuspender la pastilla en 150 ml de  $ZnSO_4$  con una densidad de 1.3.
  - j) Homogeneizar la pastilla con el agitador automático, o aplicador de madera.
  - k) Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400-2,000 rpm por 3 minutos).
  - l) Recuperar el sobrenadantevirtiéndolo en un frasco de 2 litros y diluir cuando menos en un litro de agua destilada.
  - m) Dejar sedimentar 3 horas o toda la noche.
  - n) Aspirar al máximo el sobrenadante por vacío y resuspender el sedimento agitando, vertir el líquido resultante en 2 tubos de centrifuga de 50 ml y lavar de 2 a 3 veces con agua destilada el recipiente de 2 litros.
  - o) Centrifugar a 480 g por 3 minutos (2,000-2,500 rpm por 3 minutos, según la centrifuga).

- p) Reagrupar las pastillas en un tubo de 50 ml y centrifugar a 480 g por minutos (2,000-2,500 rpm por 3 minutos).
  - q) Resuspender la pastilla en 15 ml de solución de alcohol-ácido ( $H_2SO_4$  0.1 N) +  $C_2H_5OH$  a 33-35% y adicionar 10 ml de éter etílico.
  - r) Agitar suavemente y abrir de vez en cuando los tubos para dejar escapar el gas (considerar que el éter es sumamente inflamable y tóxico).
  - s) Centrifugar a 660 g por 3 minutos (2,500-3,000 rpm por 3 minutos, según la centrífuga).
  - t) Aspirar al máximo el sobrenadante para dejar menos de 1 ml de líquido, homogeneizar la pastilla y proceder a cuantificar.
- 3** Identificación y cuantificación de la muestra
- a) Distribuir todo el sedimento en una celda de Sedgwich-Rafter o bien en una cámara de conteo de Doncaster.
  - b) Realizar un barrido total al microscopio.

## 12. Cálculos

- 1 Para determinar los rpm de la centrífuga utilizada, la fórmula es:

$$rpm = \sqrt{\frac{Kg}{r}}$$

**¡Error! Argumento de modificador no especificado.**

Donde:

- g:** fuerza relativa de centrifugación
- K:** constante cuyo valor es 89,456
- r:** radio de la centrífuga (spindle to the centre of the bracker) en cm

La fórmula para calcular g es:

$$g = \frac{r(rpm)^2}{K}$$

**¡Error! Argumento de modificador no especificado.**

- 2 Para expresar los resultados en número de huevecillos por litro, es importante tomar en cuenta el volumen y tipo de la muestra analizada.

## 13. Formato

No aplica.

## 14. Bibliografía

- 1 APHA, AWWA, WPCF, 1992 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19a. ed., Washington. (Métodos normalizados para el análisis del agua y aguas residuales, 19a. Edición E.U.A.)
- 2 CETESB, São Paulo, 1989 Helintos e Protozoários Patogénicos Contagem de Ovos e Cistos en Amostras Ambientais.
- 3 Schwartzbrod, J., 1996 Traitement des Eaux Usees de Mexico en Vue d'une Reutilisation a des Fins Agricoles. Reunión de Expertos para el Análisis del Proyecto de Saneamiento del Valle de México. Instituto de Ingeniería UNAM, 86 p.