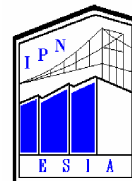




INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

UNIDAD ZACATENCO



SECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION

***“FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES POR
HIDROPONIA”***

T E S I S

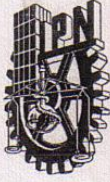
**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN
INGENIERÍA AMBIENTAL**

P R E S E N T A

I.Q.I. JESÚS TORRES CALDERÓN

**DIRECTORA:
DRA. MARINA OLIVIA FRANCO HERNÁNDEZ**

**DIRECTOR:
M. en I. FELIPE LÓPEZ SÁNCHEZ.**



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D.F. siendo las 16:00 horas del día 13 del mes de noviembre del 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.A.-U.Z. para examinar la tesis de grado titulada:

"Fitorremediación de aguas residuales por hidroponía"

Presentada por el alumno:

Torres
Apellido paterno

Calderón
Apellido materno

Jesús
Nombre(s)

Con registro:

A	0	0	0	6	5	8
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

M. en I. Felipe López Sánchez

Director de tesis

Dra. Marina Oliva Franco Hernández

Dr. Víctor Manuel López López

Dr. Jorge Meléndez Estrada

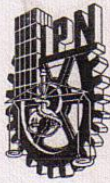
M. en C. Ricardo Contreras Contreras

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

M. en C. Pino Durán Escamilla



SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D.F. siendo las 16:00 horas del día 13 del mes de noviembre del 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.A.-U.Z. para examinar la tesis de grado titulada:
"Fitorremediación de aguas residuales por hidroponía"

Presentada por el alumno:

Torres
Apellido paterno

Calderón
Apellido materno

Jesús
Nombre(s)

Con registro:

A	0	0	0	6	5	8
---	---	---	---	---	---	---


aspirante de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL


Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

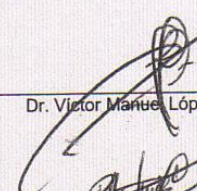
LA COMISIÓN REVISORA

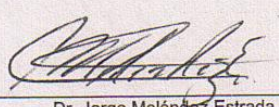
Director de tesis



M. en I. Felipe López Sánchez

Director de tesis

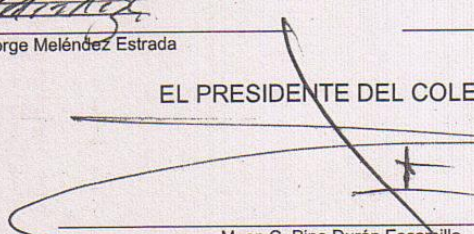

Dra. Marina Olivia Franco Hernández


Dr. Víctor Manuel López López


Dr. Jorge Meléndez Estrada


M. en C. Ricardo Contreras Contreras

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO


M. en C. Pino Durán Escamilla



SECCIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN




INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México DF el día 02 del mes Febrero del año 2010, el (la) que suscribe JESUS TORRES CALDERON, alumno (a) del Programa de La MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL con número de registro A000658, adscrito a la ESIA-UNIDAD ZACATENCO, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la DRA. MARINA OLIVIA FRANCO HERNANDEZ y cede los derechos del trabajo intitulado

” FITORREMEDIACION DE AGUAS RESIDUALES POR HIDROPONIA”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección jtorresc@ipn.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Jesús Torres Calderón 

Nombre y firma

INDICE

	Índice General	v
	Lista de figuras	viii
	Lista de Tablas	x
	Acrónimos y Abreviaturas	xi
	Resumen	xii
	Abstract	xiii
	INTRODUCCION	1
	Justificación	4
	Hipótesis	5
	Objetivo General	5
	Objetivos específicos	5
CAPITULO 1	ANTECEDENTES	6
1.1	Hidroponia Cultivo sin suelo	8
1.2	Hidroponia y la contaminación ambiental	8
CAPITULO 2	APLICACIONES ACTUALES DE LA BIORREMEDIACION	10
2.1	Alternativas de remediación	11
2.1.1	Degradación enzimática	11
2.1.2	Remediación microbiana	12
2.1.3	Fitorremediacion	13
2.2	Fitorremediacion en Suecia	14
2.2.1	Fitorremediacion de suelo por medio de pasto	17
2.3	Fitoextracción y Fitoestablización de suelos contaminados por metales pesados	18
2.4	Ventajas de la Hiperacumulación	19
2.5	Características de la Fitorremediacion	21
2.5.1	La fitorremediacion en los humedales	22
CAPITULO 3	LA CONTAMINACION AMBIENTAL	26
3.1	Principales contaminantes del agua	26
3.2	Efectos de la contaminación del agua	27
3.3	Los contaminantes del agua	28
3.4	Alteraciones físicas, químicas y biológicas del agua	30
3.5	Contaminación por metales pesados	33
3.6	Los metales pesados en la salud humana y ecosistemas	35
3.7	Rutas para el transporte de elementos traza en el ambiente	38
CAPITULO 4	PLANTAS EMPLEADAS EN LA FITORREMEDIACION	39
4.1	El girasol empleado para la fitorremediacion	39

4.1.2	Características del girasol	40
4.1.3	Cultivo del girasol	41
4.1.4	Usos del girasol	41
4.2	La Menta piperita en la fitorremediación	43
4.2.1	Características de la Menta piperita	43
4.2.2	Historia de la Menta piperita	44
4.2.3	Usos de la menta piperita	44
4.3	Absorción de nitratos y fosfatos de aguas residuales por medio de las plantas	45
CAPITULO 5 MATERIALES Y METODOS		48
5.1	Diseño experimental	48
5.2	Ubicación de la planta de ASJISU	48
5.3	Muestreo y análisis del agua residual	49
5.3.1	Análisis fisicoquímicos y microbiológicos.	49
5.3.2	Métodos para la determinación de hierro, cobre, potasio y nitrógeno en soportes, plantas y aguas de tratamiento.	49
5.3.2.1	Principio y procedimiento del método de absorción atómica.	49
5.4	Preparación de las especies vegetales	50
5.5	Preparación de los soportes	51
5.6	Pretratamiento del agua residual	52
5.7	Establecimiento del sistema de tratamiento y recirculación	53
CAPITULO 6 RESULTADOS		56
6.1	Análisis microbiológico del agua residual	56
6.2	Análisis fisicoquímico del agua residual	56
6.2.1	Determinación de DBO Y DQO	56
6.2.2	Análisis de fosfatos, nitratos y nitrógeno total.	57
6.3	Determinación de metales en agua residual y potable al inicio y final del proceso.	58
6.4	Análisis del contenido de metales en los soportes	59
6.5	Análisis físicos y químicos de las plantas desarrolladas en los tres soportes	61
6.5.1	Efecto del soporte en <i>M. piperita</i> y <i>H. annuus</i>	61
6.5.1.1	Efecto del agua residual en las plantas	62
6.5.2	Fósforo total y soluble	62
6.5.3	Absorción de nitrógeno en plantas	64
6.5.4	Concentración de metales en plantas	66
6.5.5	Variación de la concentración de Fe en <i>M. piperita</i> y <i>H. annuus</i> ,	66
6.5.5.1	Variación del crecimiento de la <i>Mentha piperita</i> con respecto a la acumulación de Fe.	68

6.5.6	Determinación de Potasio.	69
6.5.7	Determinación de cobre	70
CAPITULO 7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
7.1	Conclusiones	71
7.2	Enfoque de trabajos futuros	72
CAPITULO 8	BIBLIOGRAFIA	73
8.1	BIBLIOGRAFÍA	73
CAPITULO 9	GLOSARIO Y ANEXOS	77
9.1	Glosario de términos	77
9.2	ANEXO 1. Fundamento para la determinación de nitrógeno amoniacal	82
9.3	ANEXO 2. Contaminantes del agua potable	84
9.4	ANEXO 3. Curvas patrón de potasio, cobre y fósforo	90
9.5	ANEXO 4. Tipos de contaminación	92

LISTA DE FIGURAS

Figura	DESCRIPCION	Pagina
1	Plantas Hiperacumuladoras de metales.	4
2	Cultivos hidropónicos.	7
3	Procesos de degradación intrínseca .	10
4	Diferentes formas de biorremediación.	11
5	Metabolismo microbiano.	13
6	Incorporación de los metales en las partes de la planta.	14
7	Recolección de sauces.	15
8	Microsistema de fitorremediación en Suecia.	16
9	Vista aérea de la planta de lixiviados en Suecia.	16
10	Regadío en plantación de sauces.	17
11	Imagen de un humedal del tipo superficial.	23
12	Localización de los principales humedales en México.	24
13	Aspecto de un humedal artificial.	24
14	Imagen de plantas usadas en un humedal artificial.	25
15	Ruta de transporte de metales a los cuerpos terrestres.	38
16	Girasoles.	42
17	Hojas de <i>Menta sp.</i>	45
18	Plantas de <i>Mentha sp.</i>	45
19	Transporte de nitratos dentro de la célula vegetal.	46
20	Transformación de nitratos a amonio dentro de la célula.	47
21	Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales ASJISU.	48
22	Esquejes de <i>Mentha piperita</i> .	50
23	Soportes empleados para <i>M. piperita</i> , Tezontle rojo, tezontle negro y arcilla.	50
24	Preparación y germinación de semillas de girasol.	50
25	Desinfección del tezontle.	51
26	Cultivos de <i>Mentha piperita</i> en tres soportes.	51

27	Diagrama de pretratamiento de agua residual para disminuirla carga contaminante.	52
28	Cama hidropónica de 2x1 m para cultivo de <i>M. piperita</i>	53
29	Camas hidropónicas de 60x50 cm. para cultivo de plantas de girasol	53
30	Diagrama general del proceso	55
31	Girasoles cultivados en hidroponia en los tres soportes T. rojo, T. negro, y arcilla	61
32	Concentración de Fósforo soluble ($P-PO_4^{3-}$) en plantas de <i>H. annuus</i> , desarrolladas en tres soportes diferentes (TR: Tezontle rojo, TN: tezontle negro y AR: arcilla) y regadas con agua residual (AR) y potable (AP).	63
33	Concentración de Fósforo soluble ($P-PO_4^{3-}$) en plantas de <i>Mentha piperita</i> , desarrolladas en tres soportes diferentes y regadas con agua residual (AR) y potable (AP).	63
34	Nitrógeno total en plantas de <i>H. annuus</i> desarrolladas en tres diferentes soportes (TR: tezontle rojo, TN: tezontle negro y A: arcilla) y regadas con agua potable (AP) ó agua residual (AR).	65
35	Nitrógeno total en plantas de <i>Mentha piperita</i> desarrolladas en tres diferentes soportes (TR: tezontle rojo, TN: tezontle negro y A: arcilla) y regadas con agua potable (AP) ó agua residual (AR).	65
36	Concentración de Hierro (Fe) en hojas, raíz y tallo de plantas de <i>Mentha piperita</i> cultivadas en diferentes soportes (T. rojo, T. negro y arcilla) y regadas con agua potable (AP) y agua residual (AR).	67
37	.Concentración de Hierro (Fe) en hojas, raíz y tallo de plantas de <i>H. annuus</i> cultivadas en diferentes soportes (T. rojo, T. negro y arcilla) y regadas con agua potable (AP) y residual (AR).	67
38	Variación del crecimiento de la <i>M. piperita</i> con relación a la acumulación de Fe.	68
39	Concentración de potasio en diferentes partes de <i>Mentha piperita</i> y en tres diferentes soportes, regadas con agua residual (AR) y agua potable (AP).	69
40	Concentración de potasio en diferentes partes de <i>Helianthus annuus</i> y en tres diferentes soportes y regadas con agua residual (AR) y agua potable (AP).	70

LISTA DE TABLAS

Tabla	DESCRIPCION	Pagina
1	Descripción de los tipos de fitorremediación	21
2	Limites establecidos por la OMS para el consumo de agua potable.	29
3	Alteraciones físicas del agua.	30
4	Alteraciones químicas del agua.	31
5	Alteraciones biológicas del agua .	33
6	Toxicidad de los metales.	36
7	Coliformes presentes en el agua residual en los diferentes puntos de muestreo	56
8	Demanda bioquímica y química de oxígeno en los diferentes puntos de muestreo del agua residual.	57
9	Características químicas del agua residual antes y después del proceso	57
10	Concentración de metales en los diferentes soportes, arcilla, tezontle negro, tezontle rojo, agua residual, agua potable, agua residual tratada, y agua potable tratada en ppm (mg/ L)	60
11	Características físicas de las plantas de <i>Mentha piperita (menta)</i> y <i>Helianthus annuus</i> (girasol) después de ocho semanas de desarrollo regadas con agua residual (AR) y agua potable (AP) en los tres soportes.	62

LISTA DE ACRONIMOS Y ABREVIATURAS

AA	absorción atómica
ASJISU	Aguas de San Juan ixhuatepec Sociedad Unida
CIATEJ	Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología del Estado de Jalisco
DNT	Di nitrotolueno
DDT	1,1,1-Tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)-etano
DQO	Demanda química de oxígeno
DBO ₅	Demanda bioquímica de oxígeno
DL ₅₀	Dosis letal mg /Kg.
EDTA	etilen diamino tetra acético
EC ₅₀	media concentración eficaz máxima (EC ₅₀) se refiere a la concentración de una droga que induzca una respuesta
Km ³	kilómetro cúbico
Kg.	kilogramo masa
LC ₅₀	Concentración letal inhalativa
mL	mililitro
mg	miligramo
m ³	metro cúbico
nm	nanometro
ND	no detectado
NM	no medido
NOM	Norma Oficial Mexicana
NMX-AA	Norma Mexicana Absorción Atómica
N/Kg.	nitrógeno sobre kilogramo
ppm	partes por millón
RDX	Ciclotrimetilentrinitramina (explosivo)
USEPA	United States Environmental Protection Agency
ug	microgramo

RESUMEN

Los procesos de extracción y procesamiento de metales, los efluentes de aguas residuales procedentes de industrias basadas en procesos químicos, el uso de pesticidas y fertilizantes, conducen a la contaminación de suelos, las aguas superficiales y fuentes subterráneas con metales o iones metálicos.

La contaminación del medio ambiente por metales tóxicos constituye una amenaza para el hombre y los ecosistemas. En las naciones desarrolladas estos problemas están siendo dirigidos a resolverlos por medio de la “la tecnología verde” involucrando a plantas tolerantes a los metales para limpiar los suelos contaminados

Existen normas que establecen criterios cada vez más estrictos sobre los valores de concentración permitidos para iones metálicos presentes en agua potable y aguas de vertimiento. Los procedimientos existentes para la eliminación de estos iones pueden clasificarse en biológicos (basados en la acumulación de metales en plantas) o procesos fisicoquímicos como precipitación, coprecipitación, electrodeposición y adsorción.

Dentro de los principales iones metálicos tóxicos o que causan problemas en el manejo de aguas de consumo humano se destacan los cationes de Pb^{+2} , Cd^{+2} , Zn^{+2} , Hg^{+2} , Ag^{+1} , Cu^{+2} y Fe^{+2} (Peralta-Videa, J.R., López, M. 2009).

La necesidad de protección de los suelos y las fuentes naturales de aguas, genera la búsqueda de alternativas de solución con el objeto de prevenir o remediar la contaminación ocasionada por iones metálicos tóxicos. En el presente trabajo se hace un estudio comparativo de la capacidad de absorción de metales pesados contenidos en agua residual utilizando para esto las plantas de Menta Piperita y Girasol por sus propiedades acumuladoras de metales pesados por medio de un procedimiento llamado fitorremediación hidropónica

Se utilizan tres tipos de soportes, tezontle rojo, tezontle negro y arcilla en donde van colocadas las plantas previamente germinadas como en el caso del girasol o en esquejes enraizados como en la menta piperita y fortalecidos con solución nutritiva, para posteriormente ser colocados en las camas hidropónicas, recirculando el agua residual durante 6 semanas hasta su crecimiento total.

Posteriormente las plantas son medidas, pesadas y analizadas en su contenido de metales pesados en raíz, tallo u hojas por medio del procedimiento Analítico de Absorción Atómica.

Se presentan y discuten los resultados haciendo la recomendación de continuar bajo esta línea de investigación con el propósito de implementar esta metodología para la remediación de agua residual o suelos contaminados, por su gran afinidad con la naturaleza, bajos costos, facilidad de implementación y la comercialización de los productos obtenidos

ABSTRACT

Processing and metals manufacturing, wastewaters effluents of Chemicals industries, pesticides and fertilizers in farms lands are responsibilities of soil contamination and surface and underground waters by ionic metals .

The contamination of the environment by toxic metals poses a threat for “Man and biosphere”, reducing agricultural productivity and damaging the health of the ecosystem. In developed nations, this problem is being addressed and solved to some extent by using “green technology” involving metal tolerant plants, to clean up the polluted soils.

Most important toxic metals ions in water for consumer human are Pb, Cd, Zn, Hg, Ag, Cu and Fe cations.

There are several procedures which can be used to eliminated these are absorptions plants, biological, and physicochemical, such as precipitation, co precipitations electrodeposition, adsorption and many others

In the present work is performed a comparative study related to absorption capacity of heavy metals in waste water using menta piperita and sunflowers plants, because of their high capacity to accumulate ions in hydroponics systems.

For growth the plants on hydroponics beds, three kinds of supports are used red and black tezontle and clay, recirculation residual water for six weeks. After the plants are weighted, measured, analyzing metals content by atomic absorption spectroscopy.

Results are showed for sunflowers and Menta Piperita plants in three supports using water and Waste water. In this work an experimental methodology was proposed in order to decreased number microorganisms in waste water using ozone gas

DEDICATORIAS

A mi compañera eterna y amada esposa Catalina por ser mi ayuda idónea y apoyo en todo momento, a mis hijos Alejandra, Melissa Areli y Jesús Guillermo, que son la razón de mí existir, a fin de que el presente trabajo les motive a continuar con sus estudios y puedan cumplir adecuadamente con la medida de su creación

A mi Madre Clementina, por su amor, paciencia y apoyo que siempre me ha proporcionado, a mi Padre (in memoria), a mis hermanos Consuelo, Irma, María Eugenia, Alfonso y Emilio, a mis sobrinos Sergio, Sandra y Uriel, por el apoyo incondicional y confianza que siempre me han brindado

A mis colegas y amigos Maria Elena Jiménez, Saúl Cardoso, Carlos Argüís, Román Cabrera, Miguel Castañeda, Maria Eugenia Gutiérrez, Rocío Gutiérrez, Luís Morín, y Bernardo Maldonado con aprecio, admiración y respeto por su integridad y gran compromiso con el quehacer docente así como por las gratas experiencias que hemos compartido juntos

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater el INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL por el apoyo brindado en mi formación profesional, desde mis inicios en la prevocacional # 6, hasta el posgrado en la ESIA-ZAc

A los maestros de la ESIA ZACATENCO de la DIVISION DE POSGRADO Por compartir su vasta experiencia, conocimientos y gran calidad humana

Al COTEPABE por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo

A la Dra. Marina Olivia Franco Hernández, por el apoyo y orientación brindada en la elaboración del presente trabajo, así como por su gran ejemplo de integridad y superación personal.

Al M en I Felipe López Sánchez con especial agradecimiento por valiosa guía y por la oportunidad de compartir sus experiencias como docente

A los maestros M en C Ricardo Contreras, Dr. Víctor López López, Dr. Jorge Meléndez Estrada, por sus valiosas recomendaciones y observaciones

A la UPIBI por darme las facilidades de realizar el presente trabajo en sus instalaciones

INTRODUCCION

De acuerdo con los datos del Primer Simposio sobre potabilización del agua de mar, en Washington D. C. en 1965, se calcula que existe en la tierra unos 1 300 millones de kilómetros cúbicos (km³) de agua, de los cuales el 97.2 % se encuentra en los océanos y el 2.8 % es de agua dulce, de la cual 28.3 millones de km³ está en los casquetes polares y en las altas cordilleras, 8.1 millones de km³ de agua disponible en ríos, lagos, arroyos, manantiales y depósitos subterráneos y el resto se encuentra en la atmósfera.

El agua para satisfacer distintas necesidades se transforma en un recurso. Sin embargo no todas las personas disponen de él. Esto sucede por varios motivos, entre los cuales se puede mencionar la desigual distribución natural del agua en la superficie terrestre. Esta imposibilidad lleva a situaciones de escasez, que no tiene causas exclusivamente naturales, sino que también sociales.

Esto nos permite decir que existe una estrecha relación entre la posibilidad de abastecimiento y el desarrollo, porque cuanto mayor es el desarrollo, mayor es la capacidad para obtenerla y mayor es la contaminación.

El consumo de agua varía según el tipo de actividad para el cual se emplea. La agricultura de irrigación es la que demanda mayor cantidad; a ella le sigue la industria y en el último término el consumo doméstico. En el caso de la agricultura, debemos considerar que mediante la irrigación artificial se logra incrementar la producción de alimentos.

En el proceso industrial, el agua también es imprescindible, algunas industrias usan agua potable para elaborar sus productos, mientras que la mayoría la utilizan en sus procesos productivos, como refrigerante o como diluyente de efluentes.

Por otra parte, se entiende por contaminación: la presencia en el medio ambiente de uno o más contaminantes, o cualquiera combinación de ellos, que perjudiquen o molesten la vida, salud y el bienestar humanos, flora y fauna, o degraden la calidad del aire, del agua, de la tierra, de los bienes, de los recursos de la nación en general o de particulares.

El problema de la contaminación es múltiple y se presenta en formas muy diversas, con asociaciones y sinergismos difíciles de prever. Pero las principales consecuencias biológicas de las contaminaciones derivan de sus efectos ecológicos.

En general, se habla de cuatro tipos básicos de contaminación: contaminaciones físicas (ruidos, infrasonidos, térmica y radioisótopos), químicas (hidrocarburos, detergentes, plásticos, pesticidas, metales pesados, derivados del azufre y del nitrógeno), biológicas (bacterias, hongos, virus, parásitos mayores, introducción de animales y vegetales de otras zonas) y por elementos que dañan la estética

(degradación del paisaje y la introducción de industrias). También se habla de contaminación atmosférica, del agua y del suelo o de la biosfera.

Pero actualmente, ya no son solamente estos desperdicios orgánicos los que son arrojados a los ríos y a los mares sino cantidades mayores y desperdicios de productos químicos nocivos que destruyen la vida animal y vegetal acuática, y anulan o exceden la acción de las bacterias y las algas en el proceso de biodegradación de los contaminantes orgánicos y químicos de las aguas

Los contaminantes más frecuentes de las aguas son: materias orgánicas y bacterias, hidrocarburos, desperdicios industriales, productos pesticidas y otros utilizados en la agricultura, productos químicos domésticos y desechos radioactivos. Lo más grave es que una parte de los derivados del petróleo son arrojados al mar por los barcos o por las industrias ribereñas y son absorbidos por la fauna y flora marinas que los retransmiten a los consumidores de peces, crustáceos, moluscos, algas, etc.

En los últimos años ha crecido espectacularmente el interés en las plantas que pueden acumular y tolerar cantidades inusualmente altas de metales en los tejidos de su parte aérea. Las investigaciones con estas plantas llamadas hiperacumuladoras de metales se han multiplicado por su potencial utilidad para el hombre como herramienta en la limpieza de suelos contaminados. La fitoextracción es una técnica "in situ" dentro de la fitorremediación basada en el uso de plantas y sus microorganismos asociados para disminuir la concentración de elementos químicos inorgánicos en suelos contaminados.

La reducción del contenido de metales pesados hasta niveles óptimos permitiría la reutilización del suelo tratado con un fin agrícola, forestal, hortícola o lúdico, evitando la transferencia de éstos a aguas subterráneas o zonas cercanas por acción del viento y/o erosión del agua. Sin embargo, hay todavía muchas cuestiones sin resolver en relación a la evolución de estas características tan inusuales que presentan estas plantas (*Baker et al., 2000; Schat et al., 2000; Macnair, 2003*). Por una parte, las plantas hiperacumuladoras han de tener mecanismos de absorción y de tolerancia para poder resistir los elevados niveles de metales acumulados en sus tejidos que serían extremadamente tóxicos para otros organismos.

Por otra, la hiperacumulación es un proceso activo que parece estar implicado en la protección de la planta contra patógenos y herbívoros, confiriéndole una posible ventaja adaptativa que aún no está firmemente establecida (*Behmer et al., 2005; Poschenrieder et al., 2006; Salt, 2006*). Finalmente hemos de considerar que la aplicación de la fitoextracción no elimina el metal del medio, sino que lo transfiere a un organismo, quedando por resolver de forma efectiva qué hacer con las plantas una vez acumulado el metal en ellas. Este metal puede, como hemos dicho, no ser tóxico para la propia planta pero sí para cualquier organismo vivo que se alimente de ella. Se debería controlar en qué situaciones es favorable el uso de esta técnica y hasta qué punto las plantas hiperacumuladoras son una buena herramienta en fitorremediación

Todas las plantas absorben metales del suelo donde se encuentran pero en distinto grado, dependiendo de la especie vegetal, y de las características y contenido en metales del suelo. Las plantas pueden adoptar distintas estrategias frente a la presencia de metales en su entorno (*Baker, 1981; Barceló et al., 2003*). Unas basan su resistencia a los metales con la estrategia de una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea. Otras prefieren acumular el metal en la parte aérea en una forma no tóxica para la planta.

La exclusión es más característica de especies sensibles y tolerantes a los metales, mientras que la acumulación es más común de especies que aparecen siempre en suelos contaminados o metalíferos. De acuerdo con la estrategia de acumulación de *Baker (1981)* las plantas hiperacumuladoras pueden superar en 100 ó más veces los valores normales de metales acumulados. Estas plantas son especies muy tolerantes a uno o más metales pesados y a menudo su distribución está restringida a suelos ricos en un amplio rango de concentraciones de metales, pues no son competitivas en zonas no contaminadas.

La hiperacumulación ha evolucionado en más de 400 especies de plantas repartidas en 45 familias botánicas, siendo la familia Brassicaceae una de las que cuenta con más géneros de este tipo. Se encuentran distribuidas por todo el mundo, predominando en Nueva Caledonia, Cuba y la región Mediterránea, entre otros lugares (*Baker et al., 2000*).

Esta capacidad de sobrevivir y crecer en suelos contaminados, acumulando gran cantidad de metales convierte a las hiperacumuladoras en organismos muy indicados para la fitoextracción. La hiperacumulación implica la existencia de mecanismos internos de detoxificación de los iones metálicos libres para evitar que puedan causar daño oxidativo a las células. La planta puede protegerse formando complejos metálicos estables menos tóxicos con quelantes (como fitoquelatinas, ácidos orgánicos, aminoácidos o fenoles de tipo flavonoides) y/o secuestrando los metales desde zonas con un metabolismo activo (citoplasma) hacia el interior de vacuolas o en la pared celular, dónde no puedan ocasionar efectos adversos (*Krämer et al., 1996; Tolrà et al., 1996; Barceló et al., 2002; Schat et al., 2002; Vázquez et al., 2006*).

Parece ser que la tolerancia en estas plantas no viene determinada por la acción de un solo mecanismo interno, sino de varios, que actuarían conjuntamente. En general, las hiperacumuladoras presentan una tasa de crecimiento baja, poca producción de biomasa y un sistema radicular pobre, posiblemente debido al coste energético que supone acumular niveles de metales en su interior que pueden exceder valores tan altos como el 1% del peso seco de la planta.

JUSTIFICACION

Extensas áreas de suelo han sido contaminadas por metales pesados, los cuales han deteriorado la existencia y la reproducción de organismos vivos, incluyendo plantas animales y microorganismos. Este fenómeno ha sido poco tratado, resultando en el daño a ecosistemas y a los humanos mismos. La remediación de suelos no ha recibido tanta atención como otras ciencias del medio ambiente y la ingeniería, sin embargo es un problema global que necesita ser resuelto urgentemente.

La fitoextracción hace uso de las plantas en su totalidad (raíces y parte aérea) para la remoción de contaminantes, representando una herramienta amigable para tratar suelos y aguas contaminadas, debido a que es menos costosa comparadas con otras tecnologías como los tratamientos fisicoquímicos convencionales, que además dejan daños secundarios.

Aun cuando en la fitorremediación se han reportado aproximadamente 400 especies hiperacumuladoras, es importante encontrar nuevas especies con estas características, con el fin de dar tratamiento tanto a aguas como a suelos contaminados.

Si se demuestra que tanto el **girasol como la menta**, que son las plantas empleadas en el presente estudio poseen propiedades acumuladoras de metales se obtendrá un triple beneficio; sabemos que estas plantas tienen propiedades etnobotánicas lo cual significa que tienen propiedades curativas, que están dentro de la cadena alimenticia que pueden remediar el agua contaminada.

Entre algunas especies con características hiperacumuladoras de metales están *Impatiens balsamina*, *Caléndula officinalis* y *Althaea rosea* con habilidad para acumular cadmio y plomo (Cd) (Pb) (Madrid et al., 2003). Cabe destacar que las especies anteriormente mencionadas también tienen propiedades etnobotánicas, y desarrollan una gran cantidad de raíces donde normalmente acumulan los metales.



Figura 1.- Plantas hiperacumuladoras de metales. De izquierda a derecha *Impatiens balsamina*, *Caléndula officinalis* y *Althaea rosea*.

HIPOTESIS

Los metales, contenidos en agua residual tratada serán acumulados por la planta de *Menta piperita*, así como los nitratos y fosfatos por la planta de girasol dejando las hojas libres de estos contaminantes para poder darles un uso medicinal o comercial

OBJETIVO GENERAL.

Eliminar metales, nitratos y fosfatos de aguas residuales usando plantas de *Mentha piperita* (menta), y *Helianthus annuus* (girasol), mediante cultivos hidropónicos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- a) Caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente el agua residual de la planta de tratamiento de agua ubicada en San Juan Ixhuatepec
- b) Establecer el sistema hidropónico para plantas de *Mentha piperita*, y *Helianthus annuus*, usando soportes diferentes, con recirculación constante de agua potable y agua residual.
- c) Evaluar el efecto de tres soportes sobre las características de las plantas de *M. piperita* y *H. annuus*.
- d) Evaluar la capacidad de absorción de metales provenientes de las aguas de estudio, en raíces y parte aérea de las plantas.

CAPITULO 1.

ANTECEDENTES

La Hidroponia o agricultura hidropónica es un método utilizado para cultivar plantas usando soluciones minerales en vez de suelo agrícola. La palabra hidroponía proviene del griego, hydro = agua y ponos = trabajo.

Las raíces reciben una solución nutritiva equilibrada disuelta en agua con todos los elementos químicos esenciales para el desarrollo de la planta. Y pueden crecer en una solución mineral únicamente o bien en un medio inerte como arena lavada, grava o perlita.

Los investigadores en fisiología vegetal descubrieron en el siglo XIX que las plantas absorben los minerales esenciales por medio de iones inorgánicos disueltos en el agua. En condiciones naturales, el suelo actúa como reserva de nutrientes minerales pero el suelo en si no es esencial para que la planta crezca. Cuando los nutrientes minerales de la tierra se disuelven en agua, las raíces de la planta son capaces de absorberlos y ya no se requiere el suelo para que la planta prospere. Casi cualquier planta terrestre puede crecer con hidroponía, pero algunas pueden hacerlo mejor que otras.

Hoy en día esta actividad está tomando mucho auge en los países donde las condiciones para la agricultura resultan adversas, combinando la hidroponía con un buen manejo de invernadero se llegan a obtener rendimientos muy superiores a los que se obtienen en cultivos a cielo abierto.

Es una forma sencilla, limpia y de bajo costo, para producir vegetales de rápido crecimiento y generalmente ricos en elementos nutritivos. Con esta técnica de agricultura a pequeña escala se utilizan los recursos que las personas tienen a la mano, como materiales de desecho, espacios sin utilizar, tiempo libre.

Hoy puede decirse que la hidropónia o cultivo sin suelo ha conseguido estándares comerciales y que algunos alimentos, plantas ornamentales y jóvenes plantas de tabaco se hacen de esta manera por diversas razones que tienen que ver con la falta de suelos adecuados; por suelos contaminados por microorganismos que producen enfermedades a las plantas o por usar aguas subterráneas que degradaron la calidad de esos suelos.

El cultivo hidropónico requiere del conocimiento en que esta fundamentado. Al no usar suelo ya no se cuenta con el efecto amortiguador o buffer que brinda un suelo agrícola. Tiene también diversos problemas con la oxigenación de las raíces y no es algo que pueda llamarse limpio cuando se realiza en escala comercial. Para investigación, demostraciones sobre la esencialidad de ciertos elementos químicos, aún para quien quiera cultivar en un contenedor, una pequeña tina, para cultivar en naves espaciales o para cultivos en gran escala, presentará diversos niveles de

complejidad sobre todo si se quiere que sea una actividad económica y tenga bajo impacto ambiental.

La clasificación de los cultivos hidropónicos ha evolucionado hacia formas abiertas o cerradas dependiendo de si vuelcan el efluente o reutilizan la solución nutritiva como forma de protección ambiental y una mayor economía en su utilización. Sistema Abierto Vs. Sistema Cerrado.

Según el manejo que se le de a la solución nutritiva, un sistema hidropónico puede ser abierto o cerrado.

Sistema Abierto la solución nutritiva que se le aplica a las plantas es justamente la necesaria y el drenaje no es reutilizado. La cantidad que drena es mínima aplicándole a la planta solamente lo necesario para el consumo diario evitando así el desperdicio de nutrientes.

Sistema cerrado la solución nutritiva circula a través del cultivo y es almacenada en un tanque desde el cual puede ser reutilizada. En este caso se utiliza una composición cuidadosamente formulada con el fin de evitar desbalances nutricionales. Esta solución puede ser utilizada indefinidamente siempre y cuando se reponga el agua y los nutrientes que vaya consumiendo la planta y se tengan las debidas consideraciones microbiológicas En la figura 2 se muestran algunos cultivos hidropónicos



Figura 2.-Cultivos Hidropónicos fuente: www.elmejorguia.com 2005-2007

1.1 Hidroponía. Cultivo Sin Suelo.

Una nueva agricultura altamente eficiente para lograr mayor productividad y mayor calidad a bajo costo y con menor trabajo.

Muchos de los métodos Hidropónicos actuales emplean algún tipo de medio de cultivo o sustrato, tales como: cascarilla de arroz cruda y quemada, grava, arenas, piedra pómez, serrines, arcillas expandidas, carbones, turba, cáscara de coco, lana de roca, espumas sintéticas etc. a los cuales se les añade una Solución Nutritiva que contiene todos los elementos esenciales necesarios para el normal crecimiento y desarrollo de las plantas.

El Cultivo Hidropónico era en un principio solamente en agua a la cual se le agregaban los elementos Nutritivos. La palabra Hidroponía fue inventada por W.F. Gericke, profesor de la universidad de California. Al Profesor Gericke le corresponde el mérito de haber comenzado en 1938 a realizar los primeros cultivos comerciales sin suelo. Desde la época del profesor Gericke hasta la actualidad el interés por la utilización de esta tecnología se ha incrementado. En América Latina las posibilidades de adaptación de estos cultivos a las diversas situaciones de la población son cada día mayores y su aplicación estimula el desarrollo de la creatividad de las gentes por lograr mayores y mejores resultados.

En el Japón ha ganado rápida popularidad el cultivo de plantas sin utilizar el suelo. La Hyponía es un modelo tecnológico desarrollado en ese país por el Profesor Shigeo Nozawa basado en cultivar plantas en verdaderas piscinas de agua en movimiento, con estrictos controles en el suministro de nutrientes, oxígeno y temperatura para el desarrollo de inmensas masas radiculares, responsables de la formación de Súper-Plantas, como Tomateras capaces de producir en solo 6 meses cosechas de 13.000 Tomates.

1.2 Hidroponia y contaminación ambiental

El cultivo sin suelo es justamente un conjunto de técnicas recomendables cuando no hay suelos con aptitudes agrícolas disponibles. El esquema consiste en una fuente de agua que impulsa por bombeo agua a través del sistema, recipientes con soluciones madre nutrientes concentrados, cabezales de riego y canales construidos donde están los sustratos, las plantas, los conductos para aplicación del fertiriego y el receptor del efluente.

La fatiga por alta carga de patógenos tras cultivos repetidos o la acumulación de iones que conllevan alcalinidad y/o elevación de sodio ha llevado a muchos productores a realizar cultivos hidropónicos o sin suelo, sin tener en cuenta factores ambientales desfavorables que acompañan este tipo de cultivos.

Los cultivos hidropónicos o sin suelo requieren mucha atención respecto de que se hace con el líquido efluente, ya que las soluciones nutritivas son contaminantes del ambiente, pues tienen nitratos, nitritos, fosfatos, iones metálicos como cobre,

manganeso, molibdeno y otros, que son contaminantes y los métodos de cultivo sin suelo se hacen en medios generalmente de baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) y poca capacidad buffer para retener los iones que las raíces de las plantas no usan en el momento.

En cultivos comerciales en cuanto a su superficie se hace obligatorio seguir normas ambientales amigables con el ambiente y emplear métodos de recirculación de las soluciones volviéndolas al cultivo tras equilibrarlas y desinfectarlas o buscándoles un lugar de descarga que evite la llegada de los nutrientes efluentes al suelo, cursos de agua y a los acuíferos.

Trabajos científicos están tratando de buscar las formas de reconvertir el efluente de los sistemas abiertos a través un segundo uso que fije los iones liberados antes que lleguen al ambiente. Ya existen métodos en sistemas abiertos que permiten un segundo cultivo, fijación por plantas que crecen en pequeñas lagunas de fondo impermeabilizado y otros ensayándose.

Las recomendaciones de realizar cultivos hidropónicos o sin suelo solo por considerar su alta productividad y rendimiento económico, que no tengan en cuenta estos aspectos ambientales perniciosos, no son aconsejables

CAPITULO 2.

APLICACIONES ACTUALES DE LA BIORREMEDIACION

BIORREMEDIACION: Alternativa de Saneamiento que se apoya en un proceso en el que microorganismos autóctonos o inoculados (ej. hongos, bacterias y otros microorganismos) degradan (ej. metabolizan) los contaminantes orgánicos encontrados en el suelo agua subterráneas, en contaminantes menos perjudiciales como productos finales

En presencia de oxígeno suficiente (condiciones aeróbicas), los microorganismos convierten los contaminantes orgánicos a dióxido de carbono, agua y masa de células microbianas

-*biorremediación intrínseca*: Se deja que el propio ambiente natural resuelva el problema si se determina que en el propio ambiente hay las poblaciones y condiciones óptimas (temperatura, pH, nutrientes etc.). Aún así se sigue un control para asegurarse que no se producen compuestos tóxicos secundarios. A continuación se muestra en la figura 3 un esquema con los procesos de degradación intrínseca

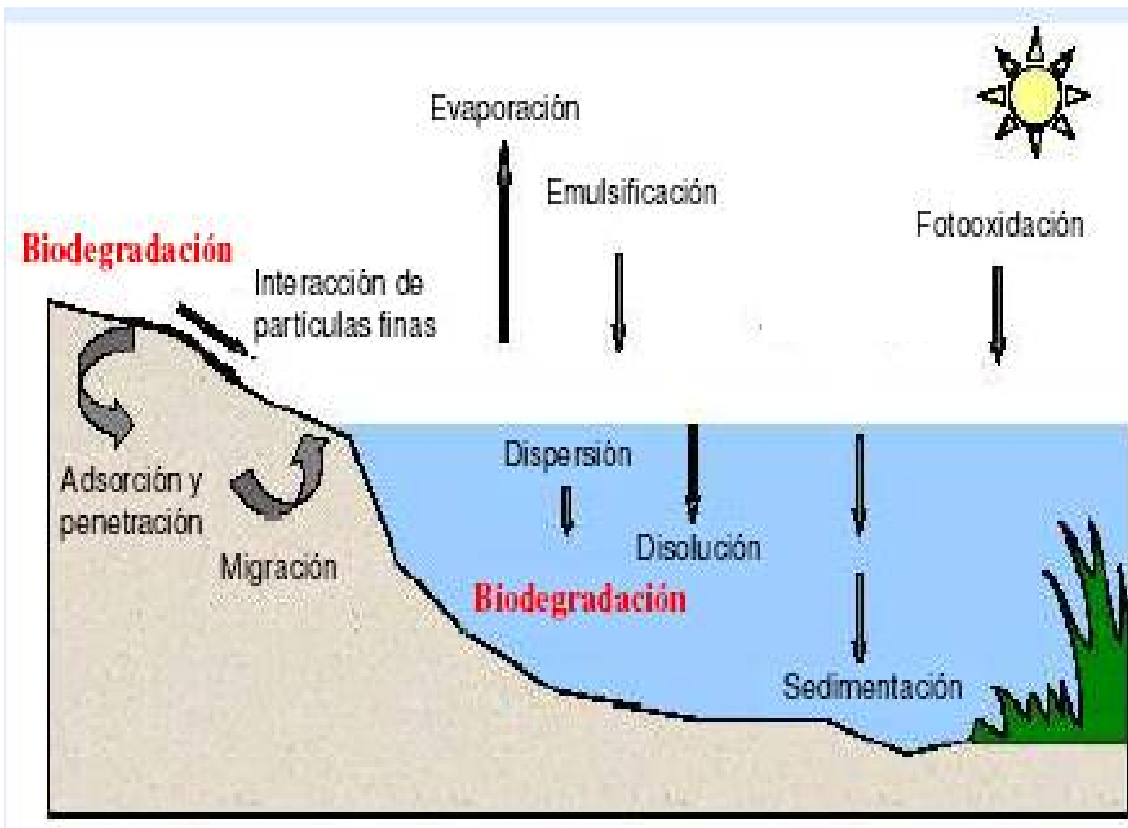


Figura 3.-Proceso de degradación intrínseca

-*biorremediación in-situ*: se intenta acelerar el proceso en el mismo ambiente modificando las condiciones ambientales o por inoculación microbiana.

-*biorremediación ex-situ*: consiste en extraer el contaminante y degradarlo en otro sitio en condiciones controladas de laboratorio. Evidentemente la mayoría de veces no se puede hacer a parte que es un proceso más caro.

2.1 ALTERNATIVAS DE REMEDIACION.

En los procesos de biorremediación generalmente se emplean mezclas de ciertos microorganismos o plantas capaces de degradar o acumular sustancias contaminantes tales como metales pesados y compuestos orgánicos derivados de petróleo o sintéticos.

Básicamente, los procesos de biorremediación pueden ser de tres tipos como se muestra en la figura 4



Figura 4.- Diferentes formas de biorremediación.

Fuente: Teoremaambiental.com

2.1.1 Degradación enzimática

Este tipo de degradación consiste en el empleo de enzimas en el sitio contaminado con el fin de degradar las sustancias nocivas. Estas enzimas se obtienen en cantidades industriales por bacterias que las producen naturalmente, o por bacterias modificadas genéticamente que son comercializadas por las empresas biotecnológicas.

Por ejemplo, existe un amplio número de industrias de procesamiento de alimentos que producen residuos que necesariamente deben ser posteriormente tratados.

En estos casos, se aplican grupos de enzimas que hidrolizan (rompen) polímeros complejos para luego terminar de degradarlos con el uso de microorganismos (ver en la próxima sección). Un ejemplo lo constituyen las enzimas lipasas (que degradan lípidos) que se usan junto a cultivos bacterianos para eliminar los depósitos de grasa procedentes de las paredes de las tuberías que transportan los efluentes.

Otras enzimas que rompen polímeros utilizados de forma similar son las celulasas, proteinasas y amilasas, que degradan celulosa, proteínas y almidón, respectivamente.

Además de hidrolizar estos polímeros, existen enzimas capaces de degradar compuestos altamente tóxicos. Estas enzimas son utilizadas en tratamientos en donde los microorganismos no pueden desarrollarse debido a la alta toxicidad de los contaminantes. Por ejemplo, se emplea la enzima peroxidasa para iniciar la degradación de fenoles y aminas aromáticas presentes en aguas residuales de muchas industrias.

2.1.2 Remediación microbiana.

En este tipo de remediación se usan microorganismos directamente en el foco de la contaminación. Los microorganismos utilizados en biorremediación pueden ser los ya existentes (autóctonos) en el sitio contaminado o pueden provenir de otros ecosistemas, en cuyo caso deben ser agregados o inoculados

La descontaminación se produce debido a la capacidad natural que tienen ciertos organismos de transformar moléculas orgánicas en sustancias más pequeñas, que resultan menos tóxicas. El hombre ha aprendido a aprovechar estos procesos metabólicos de los microorganismos.

De esta forma, los microorganismos que pueden degradar compuestos tóxicos para el ambiente y convertirlos en compuestos inocuos o menos tóxicos, se aprovechan en el proceso de biorremediación. De esta forma, reducen la polución de los sistemas acuáticos y terrestres.

La gran diversidad de microorganismos existente ofrece muchos recursos para limpiar el medio ambiente y, en la actualidad, esta área está siendo objeto de intensa investigación.

Existen, por ejemplo, bacterias y hongos que pueden degradar con relativa facilidad petróleo y sus derivados, benceno, tolueno, acetona, pesticidas, herbicidas, éteres, alcoholes simples, entre otros. Los metales pesados como uranio, cadmio y mercurio no son biodegradables, pero las bacterias pueden concentrarlos de tal manera de aislarlos para que sean eliminados más fácilmente.

Las actividades microbianas en el proceso de biorremediación se pueden resumir en la figura 5

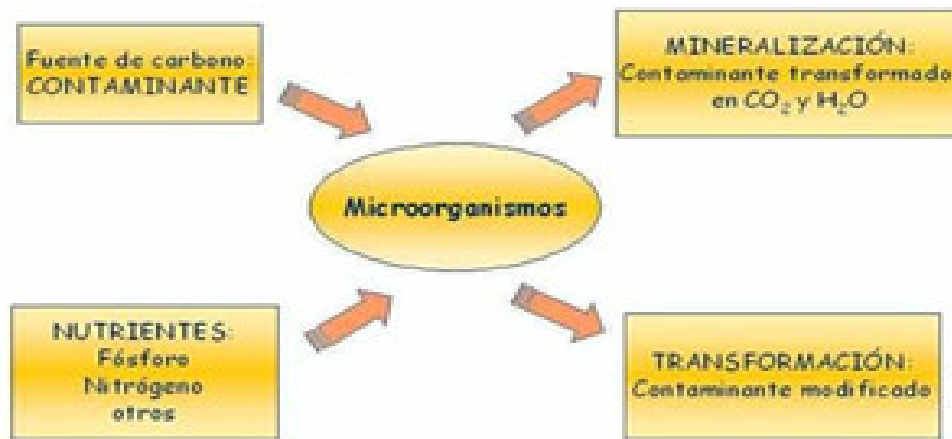


Figura 5.- "METABOLISMO MICROBIANO". Los microorganismos ingieren contaminantes como fuente de carbono y algunos nutrientes como fósforo y nitrógeno. La digestión de estos compuestos en sustancias más simples como parte del metabolismo del microorganismo, puede resultar en la degradación del compuesto en forma parcial (transformación) o total a dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O). Fuente Agro2000.com.

2.1.3. Fitorremediación (remediación con plantas) .

La fitorremediación es el uso de plantas para limpiar ambientes contaminados. aunque se encuentra en desarrollo, constituye una estrategia muy interesante, debido a la capacidad que tienen algunas especies vegetales de absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos.

La fitorremediación ofrece algunas ventajas y desventajas frente a los otros tipos de biorremediación:

Ventajas:

1. Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar suelos y aguas contaminadas.
2. Algunos procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos.
3. Es un método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos.

Limitaciones:

- 1.-El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o aguas poco profundas
- 2.-Los tiempos del proceso pueden ser muy prolongados.
- 3.-La biodisponibilidad de los compuestos o metales es un factor limitante de la captación.

Las plantas pueden incorporar las sustancias contaminantes mediante distintos procesos que se representan en la figura 6

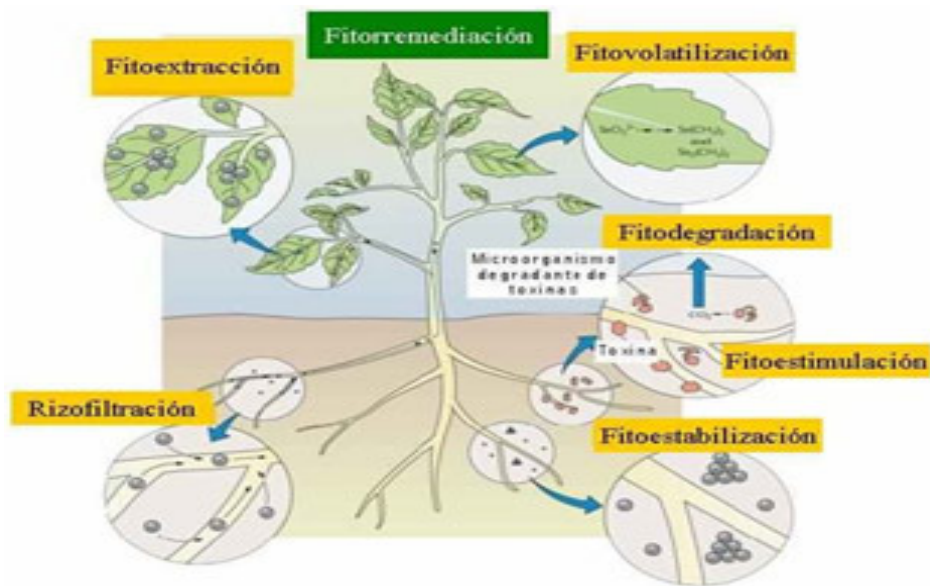


Figura 6.- Incorporación de los metales en las partes de la planta.

Fuente: www.porquebiotecnologia.com.ar/

2.2 Fitorremediación en Suecia

El sauce se cultiva en Suecia en régimen de monte bajo de corta rotación con la finalidad de obtener biomasa para la producción de energía. Se trata de cultivos comerciales, principalmente en tierras agrícolas, y la biomasa producida se utiliza en centrales térmicas de distrito para la producción combinada de calor y energía.

Los productos de desecho ricos en nutrientes principalmente aguas residuales urbanas, lixiviados de vertimientos, aguas residuales industriales, aguas de

escorrentía de aserradero, fangos de cloaca y cenizas de madera se han aplicado recientemente con éxito a montes bajos de sauces para reducir, por absorción de las plantas, el contenido de contaminantes, y/o el exceso de nutrientes en aguas y suelos, y facilitar así la degradación microbiana de los contaminantes orgánicos por medio de la fitorremediación.

Los beneficios de tales prácticas son medioambientales y económicas este tratamiento de los productos de desecho (que pueden considerarse aquí más como recursos que como desechos) es más económico que los tratamientos convencionales, y los nutrientes contenidos en los desechos sirven como fertilizantes baratos para aumentar la producción de biomasa.

Extensas investigaciones para identificar especies de crecimiento rápido que pudieran cultivarse intensivamente para la producción de energía indicaron que los sauces en sistemas de monte bajo eran los más adecuados

Actualmente se cultivan en Suecia unas 16 000 hectáreas de sauces en plantaciones bajas de corta rotación, compuestas principalmente de diferentes clones e híbridos

Las plantaciones bajas de sauce de corta rotación se recolectan cada 3 a 5 años, en invierno cuando el suelo esta helado con máquinas especiales como se muestra en la figura 7



Figura 7.- Recolección de sauces

Sistema de fitorremediación mediante plantación de 75 hectáreas de sauces en Enköping, Suecia central: planta de tratamiento de aguas residuales (primer plano), albercas para almacenar las aguas en invierno (al fondo) y campos de sauces regados con efluentes de fangos.(Figura 8)



Figura 8.-Macro sistema de fitorremediación en Suecia.

Vista aérea del vertedero de Högbytorp, Suecia central, administrado por Ragnsells Avfallsbehandling AB: los lixiviados de vertidos se airean en albercas y se usan para regar plantaciones bajas contiguas de sauces en verano (figura 9)



Figura 9.-Vista aérea de planta de lixiviados en Suecia.

Plantación baja de sauces de una hectárea en Heby, Suecia central, regada con agua de escorrentía industrial de un aserradero contiguo (figura 10)



Figura 10.-Regadío en plantación de sauces.

2.2.1 Fitorremediación de suelo por medio de pasto.

Actualmente existen estudios tendientes a resolver la contaminación originada por metales pesados en suelos, mediante estrategias basadas en el uso de plantas que tienen la propiedad de acumular metales pesados; proceso denominado "fitorremediación" que consiste en la remoción, transferencia, estabilización y/o degradación y neutralización de compuestos orgánicos, inorgánicos y radioactivos que resultan tóxicos en suelos y agua.

Esta novedosa tecnología tiene como objetivo degradar y/o asimilar, los metales pesados, presentes en el suelo, lo cual tiene muchas ventajas con respecto a los métodos convencionales de tratamientos de lugares contaminados; en primer lugar es una tecnología económica, de bajo costo, en segundo lugar posee un impacto regenerativo en lugares en donde se aplica y en tercer lugar su capacidad extractiva se mantiene debido al crecimiento vegetal (*Harvey et al., 2002*).

La fitorremediación no es un remedio para todos los suelos contaminados, antes de que esta tecnología pueda volverse técnicamente eficiente y económicamente viable, hay algunas limitaciones que necesitan ser superadas como por ejemplo, sus mecanismos tanto moleculares, bioquímicos y fisiológicos los cuales son pocos conocidos e insuficientemente entendidos, sin embargo, a pesar de esto un gran número de plantas hiperacumuladoras todavía pueden descubrirse e identificarse (*Freitas et al., 2004*).

El pasto tiene capacidad de fitorremediar un suelo contaminado con plomo, por actividad industrial.

2.3 Fitoextracción y fitoestabilización de suelos contaminados con metales pesados.

Los residuos de las minas depositados en la superficie son a menudo inestables y pueden provocar flujos de contaminación. Los suelos de minas con metales, por ejemplo, a causa de sus propiedades físico-químicas, suelen tener una falta de materia orgánica y nutriente que inhibe los procesos de formación de suelo y de crecimiento de las plantas. En el caso de los metales pesados (principalmente Cu, Pb, Ni y Zn) la diversidad y actividad de los microorganismos edáficos también se ve drásticamente afectada.

En el artículo "*Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils*", M. H. Wong, realiza una interesante revisión de las dificultades y posibilidades de restaurar los suelos de minas contaminados por metales, destacando algunas técnicas de la fitorremediación como procesos clave [*Chemosphere*, 2003; 50 (6): 775- 778].

Básicamente, existen dos tipos de fitorremediación aplicables a los suelos contaminados por metales pesados: la fitoestabilización y la fitoextracción. La fitoestabilización se utiliza en los suelos donde la gran cantidad de contaminantes imposibilita la fitoextracción, y se basa en el uso de plantas tolerantes a los metales para inmovilizarlos a través de su absorción y acumulación en las raíces o precipitación en la rizosfera, reduciendo así su movilidad y su biodisponibilidad para otras plantas o microorganismos.

Por otra parte, la fitoextracción, también conocida como fitoacumulación, consiste en la absorción y translocación de los metales desde las raíces hasta las partes aéreas de las plantas, que posteriormente se cortarán y serán incineradas o bien acumuladas con el objetivo de reciclar los metales.

Las plantas adecuadas para llevar a cabo acciones de este tipo deben cumplir algunas características como la tolerancia al metal que se desea eliminar (plantas hiperacumuladoras), que la acumulación se produzca fundamentalmente en la parte aérea de la planta, y que presenten un rápido crecimiento, así como una alta producción de biomasa en la parte aérea. Una de las líneas de investigación actuales es la transferencia y mejora de los genes de estas plantas "hiperacumuladoras".

2.4 Ventajas de la hiperacumulación.

Los metales pesados están presentes de forma natural en los suelos, pero en los últimos años las actividades industriales y la deposición de residuos tóxicos de todo tipo han contribuido a la acumulación de estos elementos en los suelos.

A menudo la contaminación por metales pesados está directamente causada por la actividad industrial y minera, pero los casos más graves se han dado de forma accidental (*Ej. Minas de Aznalcóllar. El desastre de Aznalcóllar fue un desastre ecológico producido por un vertido de residuos tóxicos en el Parque natural de Doñana, en Andalucía, España, en 1998*).

Metales como el Pb, Hg, Cd, As, Se y Cr son muy dañinos para la salud humana y para la de la mayoría de organismos vivos. Son elementos no degradables, ni química ni biológicamente, con lo que acaban acumulándose en los suelos.

Si además se filtran a las aguas subterráneas, su control se hace muy difícil y acaban entrando en la cadena alimenticia, sea a través del agua de bebida o a través de los cultivos en suelos agrícolas contaminados, suponiendo un riesgo potencial para la salud.

En 1993 se realizaron los primeros experimentos utilizando plantas hiperacumuladoras para extraer metales de lugares contaminados (McGrath *et al.*, 1993 y 2006), y desde entonces se han descubierto muchas plantas con esta capacidad, que acumulan distintos metales (*Alyssum sp.-Ni*, *Thlaspi caerulescens-Zn/Cd*, *Melastoma malabanthricum Al*, etc.).

La capacidad de absorción por parte de la planta varía según el tipo de contaminante, tipo de suelo y pH del mismo, por lo que aparece la posibilidad de adaptar la elección del cultivo al nivel y tipo de contaminación

Una ventaja del uso de plantas hiperacumuladoras es que pueden ser tolerantes a más de un metal y, por lo tanto, tienen una gran flexibilidad, es decir, una gran habilidad para adaptarse a ellos en los lugares de contaminación.

La extracción de los metales del suelo por parte de las plantas no supone ningún daño para la zona tratada a diferencia de otras técnicas ya existentes y más caras (vitrificación, eliminación y reposición, etc.) que eliminan los organismos vivos asociados al suelo o alteran su estructura; todo lo contrario, el sistema radicular de las plantas tampona el suelo químicamente y lo estabiliza frente a la erosión y la presencia de vegetación es estéticamente placentera (*Meagher et al., 2000; Chaney et al., 2000; Barceló et al., 2003*).

Pero para que esta técnica sea efectiva, se requiere una planta con gran producción de biomasa aérea, para acumular mayor cantidad de metal y para facilitar su cosecha con técnicas agrícolas tradicionales, y de un sistema radicular bien

desarrollado que explore y limpie extensas áreas de suelo. También es conveniente que presente una tasa de crecimiento elevada. Sin embargo, estas características no siempre conviven en las plantas hiperacumuladoras (*Meagher et al., 2000;*)

La selección y el cultivo convencional de variedades con una combinación de las propiedades más útiles serían una solución a este problema, así como la transferencia por ingeniería de los genes responsables de la hiperacumulación (absorción, transporte a la parte aérea y acumulación) a plantas con mayor tolerancia, capacidad de acumular o degradar diversos contaminantes, y una mayor producción de biomasa (*Martínez et al., 2006*).

Este objetivo no está todavía logrado, pero empiezan a conocerse algunos genes responsables de un mayor transporte de metales (Zn) hacia la parte aérea en comparación con la raíz en la hiperacumuladora *Thlaspi caerulescens* (*Lasat et al., 2000; Assunção et al., 2001*).

Sin embargo, estas soluciones crean una preocupación general, bien por el uso de plantas transgénicas, como por la bioacumulación de estos metales en las plantas que pueden pasar a niveles superiores de la cadena trófica.

La creciente concentración de metales pesados en la cadena alimenticia puede provocar daños en la salud (cancerígenos o mutagénicos) aunque se sabe poco de su efecto crónico por consumo de pequeñas dosis durante largos periodos (*Birley et al., 1999*).

Se han sugerido varias medidas de prevención, como definir las normas referentes a los niveles y tipos de contaminación para agua y suelos destinados a uso agrícola, establecer distancias mínimas de los cultivos a las rutas principales de comunicación por carretera, tratamiento del suelo para inmovilizar los metales pesados, lavado y procesado del gran volumen de vegetación contaminada, para reducir el contenido de metales pesados de forma efectiva.

En los últimos años la fitorremediación ha ido ganando aceptación como tecnología, y ha supuesto un notable incremento del conocimiento de los mecanismos de absorción, transporte y detoxificación por plantas.

La fitorremediación ofrece efectividad para un amplio rango de contaminantes orgánicos e inorgánicos, pero está todavía limitada por el poco conocimiento de algunos procesos básicos de las plantas, como la degradación mediante mecanismos orgánicos, los mecanismos de transporte y quelación mediante mecanismos inorgánicos, o las interacciones planta-microorganismos

A continuación se muestran los tipos de fitorremediación en la tabla 1

Tabla 1.- Descripción de los tipos de fitorremediación

Tipo	Proceso Involucrado	Contaminación Tratada
Fitoextracción	Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (hojas y raíces)	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc
Rizofiltración	Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc isótopos radioactivos, compuestos fenólicos
Fitoestabilización	Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a napas subterráneas o al aire.	Lagunas de deshecho de yacimientos mineros. Propuesto para fenólicos y compuestos clorados.
Fitoestimulación	Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos)	Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc.
Fitovolatilización	Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.	Mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano)
Fitodegradación	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.	Municiones (TNT, DNT, RDX, nitrobenzono, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc.

Fuente: Teoremaambiental.com

2.5 Características de la fitorremediación.

- a)- Es una técnica de limpieza pasiva, estéticamente agradable y dependiente de la energía solar.
- b)- Se emplean en zonas no muy extensas y donde la contaminación no está a mucha profundidad.
- c)- Es una técnica empleada para un amplio rango de contaminantes.
- d).-Aunque las medidas fitocorrectoras son mucho más lentas que los métodos mecánicos y llegan solamente a la profundidad hasta la cual llegan las raíces,

pueden eliminar los últimos restos de contaminantes atrapados en el suelo que a veces quedan con las técnicas mecánicas de tratamiento.

e)- La hiperacumulación de metales que conlleva el desarrollo de mecanismos de tolerancia en las plantas que cuentan con esta capacidad, permite, su estudio como plantas modelo; y la discusión de distintas hipótesis sobre las ventajas que obtienen de esta peculiaridad.

f)- Los aspectos bioquímicos y de genética molecular de plantas, más destacados en los mecanismos de tolerancia y acumulación de metales pesados.

El objetivo final de la fitorremediación de un suelo contaminado no es sólo eliminar o reducir el contaminante sino, sobre todo, recuperar *la* calidad del mismo. Los indicadores biológicos de la calidad del suelo, en especial aquellos relacionados con las comunidades microbianas, presentan un enorme potencial para el seguimiento y control de *un proceso* fitorremediador.

2.5.1 La fitorremediación en los humedales.

Una alternativa de tratamiento que está siendo poco a poco más conocida por sus bajos costos de instalación y operación son los denominados humedales artificiales o "*constructed wetlands*" en el idioma inglés. Este tipo de sistemas es usado en un 5.8 % del total de las plantas de tratamiento instaladas en el 2005 en México. Los humedales artificiales, en general, son cuerpos de agua de baja profundidad que retienen temporalmente el agua y que pueden ser diseñados con diferentes fines, por ejemplo el formar un hábitat para diversas especies vegetales y animales, generar jardines acuáticos decorativos, o bien funcionar como sistemas depuradores de aguas pluviales, entre otros.

Los humedales pueden ser construidos de tal forma que el agua se ve en la superficie (superficiales) o bien cuya superficie de agua se encuentre por debajo de un lecho de piedras y prácticamente el agua no se ve (subsuperficiales), ver figura 11

La mayoría de los humedales construidos en México con el fin de tratar las aguas residuales son del tipo superficial lo cual tiene prácticamente los mismos inconvenientes que las lagunas de estabilización o las instalaciones con lodos activados, adicionalmente un mal diseño conduce a derrames de las aguas en proceso de tratamiento y hay que invertir en un sistema mecánico para extraer el exceso de plantas acuáticas (lirio acuático o tule) que por lo general hay que buscar qué hacer con estos residuos, entre otros problemas.

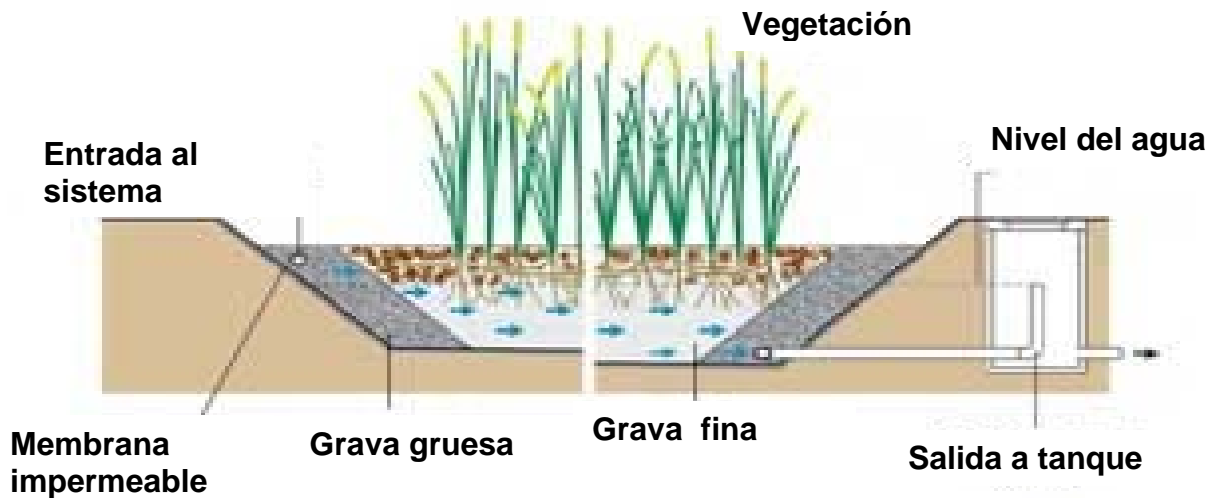


Figura 11.-Imagen de un humedal del tipo superficial.

Esto ha traído como consecuencia que este tipo de sistemas no sea la primera opción entre las comunidades que requieren de un sistema de tratamiento más seguro.

Con la finalidad de eliminar muchos de los inconvenientes que tienen los humedales artificiales, investigadores del CIATEJ desarrollaron una tecnología, en proceso de patente, para tratar aguas residuales domésticas, que incluye el agua de los sanitarios, de las regaderas y del servicio de lavado, haciendo uso de un humedal del tipo sub-superficial con un alto nivel de eficiencia, en donde se hace compatible el tratamiento de las aguas con la producción de plantas ornamentales y estéticas.

En comunidades grandes esta sería una opción para generar un sistema para la producción de flor ornamental con fines comerciales lo cual permitiría una retribución de la inversión hecha en el sistema. El sistema de construcción de un humedal de esta naturaleza es por demás sencillo. Primeramente es necesario instalar un tanque séptico para recibir las aguas a tratar.

A nivel comercial existen diferente tipo de tanques sépticos. Uno de los que ha demostrado mayor efectividad es el de tres compartimientos. El tanque séptico tiene la función de recibir las aguas residuales de casa y sedimentar los sólidos gruesos y finos de tal forma que éstos ya no aparecen en la descarga del tanque. Igualmente proveen de una primera fase de tratamiento ya que en este tanque crecen bacterias que comienzan a degradar la materia orgánica.

Como puede apreciarse el humedal cuenta con varios elementos de construcción, sin embargo es un sistema de fácil instalación y adaptable a cualquier terreno para su correcta operación.

En México existen 11 (CIATEJ, 2007) humedales importantes, repartidos a lo largo de la república que dan tratamiento a aguas residuales (figura12). Existen otros como el de Xochimilco que no aparece en el mapa, y algunos todavía mas pequeños que no son considerados, sin embargo son insuficientes para dar tratamiento a todas las aguas residuales del país (figura 13)

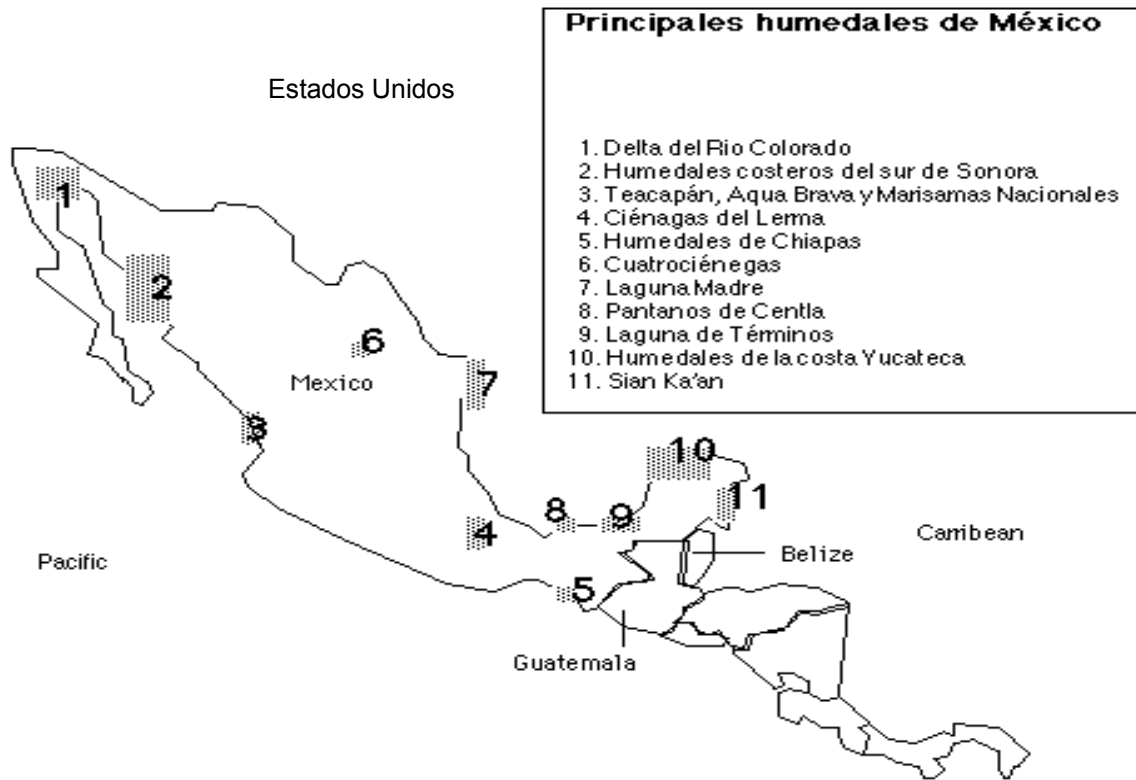


Fig.12.- Localización de los principales humedales en México. (CIATEJ, 2007).



Figura 13.-Aspecto de un humedal artificial .

La superficie de construcción del humedal depende del número de personas que vayan conectarse al sistema. El criterio general que se establece para asegurar un buen tratamiento del humedal es que sea de 1.5 a 2 m² por persona.

Las plantas que se usan normalmente en este tipo de humedales es muy variada, el criterio general es utilizar plantas ornamentales o estéticas que requieran de humedad para su desarrollo. (Figura 14)

Generalmente se les puede localizar entre las conocidas como plantas acuáticas (<http://www.infojardin.com>).

Tal es el caso de plantas ornamentales como el alcatraz, ave de paraíso, lirio amarillo, cuna de moisés, platanillo, entre otras.

Entre las plantas estéticas acuáticas de ribera o palustres pueden utilizarse colomos, papiro de Egipto, oreja de elefante, entre otras.

Al final el humedal no tendrá apariencia de estanque sino de un jardín sin causar molestia de malos olores y generando, por el contrario, un espacio decorativo armonizando el entorno.

Finalmente el agua tratada en el humedal se recibe en un tanque comercial. Este tanque se instala igualmente debajo del nivel del piso con la finalidad de que no sea visible, y se le instala una bomba para el riego de jardines



Figura 14.-Imágenes de plantas usadas en un humedal artificial (lirio amarillo a la derecha y caña de las Indias a la izquierda) Fuente:parquebiotecnologico.com

Las aguas tratadas cumplen con la siguiente normatividad oficial para su descarga a un cuerpo de agua considerado como bien nacional (NOM-001-ECOL-1996), o al sistema de alcantarillado municipal (NOM-002-ECOL-1996), o para su reutilización en servicio público (NOM-003-ECOL-1997), o para su disposición mediante riego agrícola (NOM-CCA/032-ECOL/1993).

Generación de un mínimo de residuos sólidos los cuales se remueven esporádicamente (1 o dos veces por año) para su aprovechamiento y disposición final de acuerdo con la norma oficial NOM-004-ECOL-2002.

CAPITULO 3.

CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

La contaminación se produce cuando en el medio ambiente aparecen determinados agentes físicos, químicos, o biológicos que producen efectos nocivos en los seres vivos y que pueden hacer peligrar la existencia de vida en el planeta.

3.1 Principales Contaminantes del Agua.

Incorporación al agua de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos.

Los principales contaminantes del agua son los siguientes: Aguas residuales y otros residuos que demandan oxígeno (en su mayor parte materia orgánica, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua). Agentes infecciosos.

Nutrientes vegetales que pueden estimular el crecimiento de las plantas acuáticas. Éstas, a su vez, interfieren con los usos a los que se destina el agua y, al descomponerse, agotan el oxígeno disuelto y producen olores desagradables. Productos químicos, incluyendo los pesticidas, diversos productos industriales, las sustancias tensoactivas contenidas en los detergentes, y los productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos.

Petróleo, especialmente el procedente de los vertidos accidentales. Minerales inorgánicos y compuestos químicos.

Sedimentos formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por las tormentas y escorrentías desde las tierras de cultivo, los suelos sin protección, las explotaciones mineras, las carreteras y los derribos urbanos. El calor también puede ser considerado un contaminante cuando el vertido del agua empleada para la refrigeración de las fábricas y las centrales energéticas hace subir la temperatura del agua de la que se abastecen.

3.2. Efectos de la contaminación del agua.

Los efectos de la contaminación del agua incluyen los que afectan a la salud humana. La presencia de nitratos (sales del ácido nítrico) en el agua potable puede producir una enfermedad infantil que en ocasiones es mortal.

El cadmio presente en los fertilizantes derivados del cieno o lodo puede ser absorbido por las cosechas; de ser ingerido en cantidad suficiente, el metal puede producir un trastorno diarreico agudo, así como lesiones en el hígado y los riñones. Hace tiempo que se conoce o se sospecha de la peligrosidad de sustancias inorgánicas, como el mercurio, el arsénico y el plomo.

Los lagos son especialmente vulnerables a la contaminación. Hay un problema, la eutrofización, que se produce cuando el agua se enriquece de modo artificial con nutrientes, lo que produce un crecimiento anormal de las plantas. Los fertilizantes químicos arrastrados por el agua desde los campos de cultivo pueden ser los responsables.

El proceso de eutrofización puede ocasionar problemas estéticos, como mal sabor y olor, y acumulación de algas o verdín desagradable a la vista, así como un crecimiento denso de las plantas con raíces, el agotamiento del oxígeno en las aguas más profundas y la acumulación de sedimentos en el fondo de los lagos, así como otros cambios químicos, tales como la precipitación del carbonato de calcio en las aguas duras. Otro problema cada vez más preocupante es la lluvia ácida, que ha dejado muchos lagos del norte y el este de Europa y del noreste de Norteamérica totalmente desprovistos de vida.

El agua sigue un ciclo muy bien conocido. En el mar se localiza el 97.2% del agua de la Tierra. El calor provoca una vaporización que en forma de nubes es arrastrada. En parte. Hacia el continente. Con la lluvia. El agua vuelve a su estado líquido y desde el punto donde cae se dirige hacia el mar. En este recorrido transporta sales y todo tipo de sustancias que encuentra a su paso.

El hombre utiliza el agua para cumplir dos finalidades: satisfacer sus necesidades domésticas, agrícolas e industriales y como medio de transporte y destino de sus residuos. Si la cantidad de residuos no es demasiado grande. Son descompuestos por los microorganismos y por los procesos del río. Si sobrepasa una cantidad determinada y constantemente se le echan nuevas sustancias.

El río se degrada progresivamente. En la sociedad industrial el consumo por habitante crece continuamente. La cantidad de agua disponible se aprovecha al máximo. Si nos fijamos en el uso del agua de alguno de nuestros ríos observamos que se embalsa para producir electricidad y para regar.

Es utilizada para abastecer las necesidades de industrias y poblaciones. Una parte del agua vuelve al río en peores condiciones que cuando se sacó. Si no hay una buena gestión y planificación de los recursos acuáticos. Los conflictos entre los diferentes usuarios surgen inevitablemente.

Las aguas residuales se dividen en agrícolas, domésticas, de escorrentía e industriales como se define a continuación

Aguas agrícolas: Son resultantes de la irrigación y otros usos agrícolas como la limpieza de establos que llega a arrastrar grandes cantidades de heno y de orina. Estas aguas contienen sales, fertilizantes, abonos, pesticidas y restos de las diversas sustancias químicas que se utilizan.

Aguas domésticas: Son las que provienen de las viviendas. Contienen excrementos humanos restos de cocina papel, productos de limpieza, jabones y detergentes. Las características de las aguas domésticas varían de una comunidad a otra y de un momento a otro en la misma comunidad. Físicamente tienen un color gris y materias flotantes. Químicamente contienen los complejos compuestos del nitrógeno de los excrementos humanos y los del fósforo de los detergentes. Biológicamente arrastran gran cantidad de microorganismos.

Las aguas de escorrentía: Cuando llueve, el agua arrastra toda clase de suciedad. Esta agua es en términos generales más sucia que la que proviene del consumo doméstico. Algunos Ayuntamientos las agrupan para tratarlas conjuntamente. En otros las aguas de lluvia disponen de una red de cloacas diferente y son vertidas directamente sin ser tratadas.

Las aguas industriales: Su contenido depende del tipo de industria y del proceso empleado. Los productos químicos pueden ser muy diversos, algunos son tóxicos y otros inhiben los microorganismos del agua.

3.3 Los contaminantes del agua.

Los microorganismos son los causantes de las grandes epidemias que se han producido en la historia de la humanidad. Como ejemplos se puede citar el tifus, el cólera, la disentería y muchas enfermedades parasitarias.

A pesar de todo no todos los microorganismos son beneficiosos porque ayudan a depurar el agua del río. Cada hombre evacua diariamente de 100 000 a 400 000 microorganismos.

La contaminación orgánica. Químicamente se llama contaminación orgánica aquella que posee uno o varios átomos de carbono (a excepción de los óxidos, ácidos y bases de este elemento). Históricamente se les llamó sustancias orgánicas porque son los que constituyen la materia viva. En la actualidad el hombre ha sintetizado millares que no existían en estado natural (por ejemplo, el plástico). La

contaminación orgánica es en magnitud la más importante. Los contaminantes orgánicos Son descompuestos por microorganismos que viven en el agua, los cuales los utilizan como alimento.

Los nutrientes. Son unos elementos escasos en la naturaleza y necesarios para el crecimiento de las plantas. Se denominan también sustancias limitantes porque de ellos depende la cantidad de materia vegetal que puede crecer en una cierta localidad. Los productos limitantes más importantes son los compuestos de fósforo y del nitrógeno. Cuando hay un incremento de estas materias en el agua se produce un crecimiento mayor que el ordinario de algas que al morir y descomponerse provoca grandes problemas. Las fuentes humanas más importantes de nutrientes son los fertilizantes utilizados en agricultura y los detergentes que contienen una gran cantidad de compuestos del fósforo. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido los límites máximos para la presencia de sustancias nocivas en el agua de consumo humano como se muestra en la Tabla 2

Tabla 2.-Límites establecidos por la OMS para el consumo de agua potable. Fuente: OMS

Sustancias	Concentración Máxima (mg/L)
Sales totales	2000
Cloruros	600
Sulfatos	300
Nitratos	45
Nitritos	No debe haber
Amoníaco	0,5
Mat. Orgánica	3
Calcio	80
Magnesio	50
Arsénico	0,05
Cadmio	0,01
Cianuros	0,05
Plomo	0,1
Mercurio	0,001
Selenio	0,01
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	0,0002
Biocida	No hay datos

3.4 Alteraciones físicas, químicas y biológicas del agua.

Como consecuencia de los contaminantes mencionados, para el caso específico del agua se muestran una serie de tablas con las alteraciones físicas, químicas o biológicas así como sus características y contaminación producida, tablas 4,5 y 6 respectivamente

Tabla 3.- Alteraciones físicas del agua

Alteraciones físicas	Características y contaminación que indica
Color	<p>El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen.</p> <p>Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación</p>
Olor y sabor	<p>Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor.</p>
Temperatura	<p>El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 14°C. Las centrales nucleares, térmicas y otras industrias contribuyen a la contaminación térmica de las aguas, a veces de forma importante.</p>
Materiales en suspensión	<p>Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas)</p>
Radiactividad	<p>Las aguas naturales tienen unos valores de radiactividad, debidos sobre todo a isótopos del K. Algunas actividades humanas pueden contaminar el agua con isótopos radiactivos.</p>
Espumas	<p>Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización). Disminuyen mucho el poder autodepurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.</p>
Conductividad	<p>El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad</p>

	como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C.
--	--

Tabla 4.-Alteraciones químicas del agua

Alteraciones químicas	Características y contaminación que indica
pH	Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO ₂ disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO ₂ formando un sistema tampón carbonato / bicarbonato. Las aguas contaminadas con vertidos mineros o industriales pueden tener pH muy ácido. El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua, actuación de los floculantes, tratamientos de depuración, etc.
Oxígeno disuelto (OD)	Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.
Materia orgánica biodegradable: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	DBO5 es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas e ir comprobando cual está siendo la eficacia del tratamiento depurador en una planta.
Materiales oxidables: Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente dicromato potásico en medio ácido). Se determina en tres horas y, en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.
Nitrógeno total	Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total jendahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado.
Fósforo total	El fósforo, como el nitrógeno, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.

cloruros	
nitratos	indican salinidad
nitritos	indican contaminación agrícola
fosfatos	indican actividad bacteriológica
fosfatos	indican detergentes y fertilizantes
cianuros	indican acción bacteriológica anaerobia (aguas negras) indican contaminación de origen industrial
fluoruros	En algunos casos se añaden al agua para la prevención de las caries, aunque es una práctica muy discutida.
Sodio	
calcio y magnesio	indica salinidad
amonio	están relacionados con la dureza del agua contaminación con fertilizantes
metales pesados	de efectos muy nocivos; se bioacumulan en la cadena trófica
Compuestos orgánicos	Los aceites y grasas procedentes de restos de alimentos o de procesos industriales (automóviles, lubricantes, etc.) son difíciles de metabolizar por las bacterias y flotan formando películas en el agua que dañan a los seres vivos. Los fenoles pueden estar en el agua como resultado de contaminación industrial y cuando reaccionan con el cloro que se añade como desinfectante forman clorofenoles que son un serio problema porque dan al agua muy mal olor y sabor. La contaminación con pesticidas, petróleo y otros hidrocarburos se estudia con detalle en los capítulos correspondientes.

Tabla 5.-Alteraciones biológicas del agua

Alteraciones biológicas del agua	Contaminación que indican
Bacterias coliformes	Desechos fecales
Virus	Desechos fecales y restos orgánicos
Animales, plantas, microorganismos diversos	Eutrofización

3.5 Contaminación por metales pesados.

Los metales constituyen una importante clase de agentes tóxicos que suponen un riesgo significativo para la salud por exposición ocupacional así como ambiental. Una indicación de su importancia relativa respecto a otros riesgos potenciales la encontramos respecto a su ubicación en la clasificación de la Agencia para el registro de sustancias y enfermedades por tóxicos de Estados Unidos ("*U.S. Agency for Toxic Substances and Disease Registry*"), en la cual figura una lista de todos los riesgos presentes en los lugares donde existen desechos tóxicos de acuerdo con su prevalencia y la gravedad de su toxicidad.

El primero, segundo, tercero y sexto riesgo de la lista son metales pesados: plomo, mercurio, arsénico y cadmio, respectivamente.

Por la lluvia ácida que agrieta los suelos y pueden llegar por estas grietas los metales pesados a las aguas subterráneas o simplemente la lluvia ácida. El término de metal pesado refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas.

Los ejemplos de metales pesados incluyen el mercurio (Hg.), cadmio (Cd) el arsénico (As), el cromo (Cr), el talio (Tl), y el plomo (Pb)

Los metales pesados son componentes naturales de la corteza de tierra. No pueden ser degradados o ser destruidos. En un grado pequeño se incorpora a nuestros cuerpos vía el alimento, el agua potable y el aire.

Como elementos de rastro, algunos metales pesados (ej. cobre, selenio, zinc) son esenciales mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo, en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento. El envenenamiento por metales pesados podrían resultar, por ejemplo, de la contaminación del agua potable (ej. tuberías de plomo), las altas concentraciones en el aire ocasionadas por las fuentes de la emisión, o productos vía la cadena de alimentos

Los metales pesados pueden entrar en un abastecimiento de agua por medio de residuos industriales depositándose en las corrientes de agua, los lagos, los ríos, etc.

La estabilidad atómica intrínseca de los metales permite que sean relativamente fáciles de rastrear y medir en las muestras biológicas, aunque no siempre esté clara la importancia clínica de los niveles médicos. Los metales se inhalan principalmente en forma de polvos y humos (estos últimos definidos como partículas minúsculas generadas por la combustión).

También se puede producir una intoxicación por metales como consecuencia de la exposición a vapores; por ejemplo el vapor de mercurio en la fabricación de lámparas fluorescentes.

Cuando se ingieren metales en alimentos o bebidas contaminadas, la absorción gastrointestinal varía mucho según la forma química específica del metal y la situación nutricional del huésped.

Una vez absorbido un metal, el principal medio de transporte es la sangre, y su cinética precisa depende de la capacidad de difusión, las formas en que se liga, las tasas de biotransformación, la disponibilidad de ligandos intracelulares, y otros factores.

Algunos órganos como por ejemplo los huesos, el hígado y el riñón; secuestran metales a concentraciones relativamente elevadas durante años. La mayoría de los metales se elimina también por la saliva, el sudor, la exhalación, la lactación, la descamación cutánea y la caída del pelo y las uñas.

Sin embargo algunos metales, como son el cobre y el selenio, son esenciales para el funcionamiento metabólico normal en forma de oligoelementos, pero a niveles altos resultan tóxicos. Otros como el plomo y el mercurio, son xenobióticos y teóricamente capaces de ejercer efectos tóxicos a cualquier nivel de exposición.

Muchos de los contaminantes que llegan a nuestro organismo lo hacen a través de la comida o el agua. La cadena alimenticia se enfrenta a nuevos retos llegados con la modernización del sector y el aumento del uso de antibióticos para la cría de ganado.

Las dioxinas, el mercurio, el plomo, los isótopos radiactivos, o los pesticidas son algunos de los contaminantes que podemos encontrar en nuestro plato, directamente procedentes del suelo y el agua contaminados.

Pelar la fruta o lavar bien la verdura antes de llevarlas al plato; elegir alimentos frescos, evitando los enlatados, o aquellos que han estado en contacto con PVC, y recurrir a la agricultura ecológica son formas sencillas de evitar la llegada de pesticidas a nuestro organismo.

Sólo en Europa, por ejemplo, hasta ocho países consideran que la contaminación del agua potable es un problema sanitario de gran importancia, y otros 19 tuvieron brotes graves provocados por la disolución de sustancias peligrosas en el agua para beber.

3.6 Los metales pesados en la salud humana y ecosistemas.

Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse. La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente.

La actividad industrial y minera arroja al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo, muy dañinos para la salud humana y para la mayoría de formas de vida. Además, los metales originados en las fuentes de emisión generadas por el hombre (antropogénicas), incluyendo la combustión de gasolina con plomo, se encuentran en la atmósfera como material suspendido que respiramos.

Por otro lado, las aguas residuales no tratadas, provenientes de minas y fábricas, llegan a los ríos, mientras los residuos industriales contaminan las aguas subterráneas. Cuando se abandonan metales tóxicos en el ambiente, contaminan el suelo y se acumulan en las plantas y los tejidos orgánicos.

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación

La exposición a estos elementos está relacionada con problemas de salud como retrasos en el desarrollo, varios tipos de cáncer, daños en el riñón, e, incluso, con casos de muerte.

La relación con niveles elevados de mercurio, oro y plomo ha estado asociada al desarrollo de la auto inmunidad (el sistema inmunológico ataca a sus propias células tomándolas por invasoras).

En la tabla 6 se muestra una relación con algunos de los metales que por su toxicidad pueden impactar en la salud humana

Tabla 6-TOXICIDAD DE LOS METALES

METAL	USOS PRINCIPALES	DAÑO EN HUMANOS, PLANTAS y/o ANIMALES	DOSIS LETAL EN HUMANOS	NORMA QUE RIGE LA CONCENTRACION
PLOMO	En pinturas soldaduras, cerámicas , y gasolinas vidrios de colores	Anemia, dolor muscular, lesión cerebral, el daño dura toda la vida riñones sistema reproductor	> 28 ug En adultos	NOM-004-SEMARNAT-2002, NMX-AA-051-SCFI-2001 EPA 6020/1994
ALUMINIO	El aluminio puro se emplea principalmente en la fabricación de espejos, tanto para uso doméstico como para telescopios reflectores.	Encefalopatía, relacionado con el Alzheimer.	5 gramos /kg	NOM-004-SEMARNAT-2002, NMX-AA-051-SCFI-2001 EPA 6020/1994
CROMO	Utilizado en industrias de pinturas, papel, caucho	Daños a riñón, hígado, sistema circulatorio y sistema nervioso, cáncer de pulmón	La DL50 de un cromato soluble en el hombre, es de unos 50 mg/Kg. A partir de 1-2 mg de cromo hexavalente/Kg. puede ocasionar una insuficiencia renal aguda.	NOM-004-SEMARNAT-2002, NMX-AA-051-SCFI-2001 EPA 6020/1994
ANTIMONIO	Baterías, pigmentos, cerámica y cristal, retardantes de llama.	Nausea, vomito, diarrea, agente carcinógeno y bioacumulable en la vida acuática.	c.m.p. o.5 mg /m ³ de estibina ,0.1 ppm de hidruro de antimonio	NOM-004-SEMARNAT-2002, NMX-AA-051-SCFI-2001 EPA 6020/1994
CADMIO	Refinación de zinc, baterías, aleaciones resistentes a la corrosión usados en componentes aeroespaciales y marinos.	Disfunción renal, cáncer de pulmón, efectos sobre el tejido óseo.	El valor máximo admisible para los trabajadores de acuerdo con la legislación alemana es de 15 µ g / l.	NOM-004-SEMARNAT-2002 NMX-AA-051-SCFI-2001 EPA 6020/1994
COBRE	Conductores de electricidad, tuberías de agua potable, fabricación de circuitos electrónicos, control de crecimiento de algas.	Daños a riñón, hígado, irritación de estomago e intestino.	LC ₅₀ : 76.9 (57.2 - 103.6) ppm EC ₅₀ : 17.1 (13.7 - 21.3) ppb	NOM-004-SEMARNAT-2002 NMX-AA-051-SCFI-2001 EPA 6020/1994

Continuación Tabla 6. Toxicidad de los Metales

NIQUEL	El níquel se usa como un revestimiento decorativo y protector para metales, particularmente hierro, aluminio y acero, que son susceptibles a la corrosión.	Daño a corazón e hígado, irritación de la piel	La exposición al humo de níquel dio por resultado una neumonitis severa aunque temporal en dos trabajadores; en un caso la exposición fue de 6 horas y un muestreo Posterior al incidente indicó una concentración de níquel 0,26 mg/m ³ .	NOM-004-SEMARNAT-2002 NMX-AA-051-SCFI-2001 EPA 6020/1994
SELENIO	El selenio gris conduce la electricidad, aunque su conductividad varía con la intensidad luminosa: es mejor conductor en la luz que en la oscuridad. Se usa por lo tanto en muchos dispositivos fotoeléctricos.	Fatiga, daño al sistema nervioso, pérdida de pelo y uñas	Selenio en orina. Valor normal < a 25 mcg/g de creatinina	NOM-004-SEMARNAT-2002 NMX-AA-051-SCFI-2001 EPA 6020/1994
MERCURIO	Baterías, lámparas, termómetros, producción no ferrosa de metales, en odontología.	Temblor corporal, gingivitis, cambios psicológicos, aborto espontáneo, malformación congénita, daño cerebral	Exposición a vapor de Mercurio a niveles de exposición de aproximadamente 20 µg/m ³ o más altos (OMS/IPCS, 2002).	NOM-004-SEMARNAT-2002 NMX-AA-051-SCFI-2001 EPA 6020/1994

3.7 Rutas para el transporte de elementos traza en el ambiente

Los únicos metales emitidos en fase gaseosa, en concentraciones medibles son el mercurio y el selenio. La presencia de metales en las aguas refleja la erosión de fuentes naturales en adición con la actividad industrial. Además los metales presentes en el suelo y el agua pueden entrar en la cadena alimentaría.

En la figura 15 se resumen las rutas más importantes de transporte de los metales a través de los distintos cuerpos terrestres.

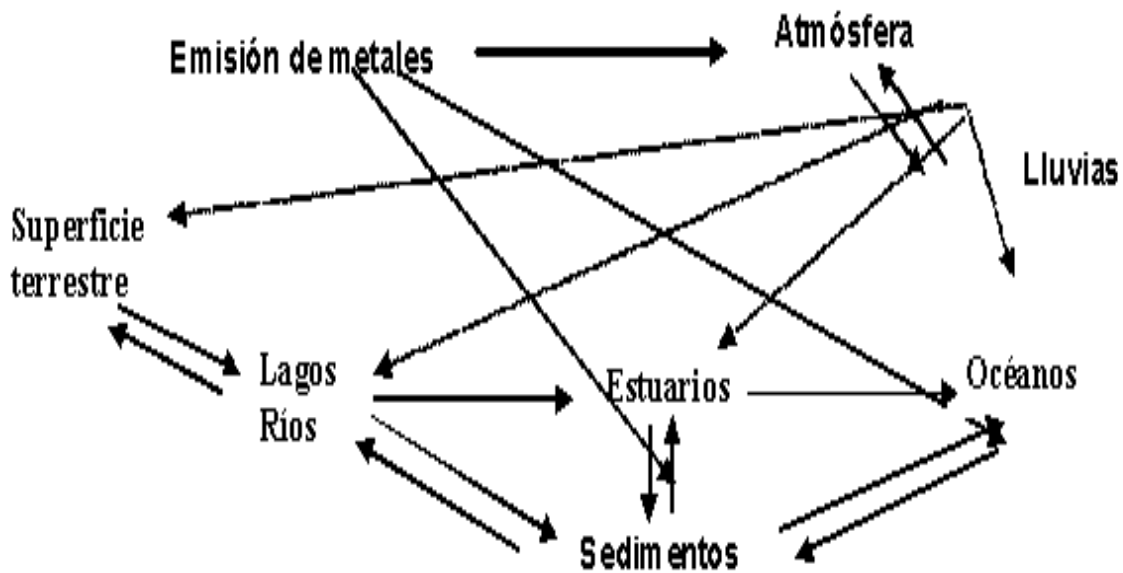


Figura 15.- Ruta de transporte de los metales a los cuerpos terrestres.

CAPITULO 4

PLANTAS EMPLEADAS EN LA FITORREMEDIACION

4.1 El girasol empleado para la fitorremediación.

Se conocen alrededor de 400 especies de plantas con capacidad para hiperacumular selectivamente alguna sustancia. En la mayoría de los casos, no se trata de especies raras, sino de cultivos conocidos. Así, el girasol (*Heliantus annuus*) es capaz de absorber en grandes cantidades el uranio depositado en el suelo. Los álamos (género *Populus*) absorben selectivamente níquel, cadmio y zinc. También la pequeña planta *Arabidopsis thaliana* de gran utilidad para los biólogos es capaz de hiperacumular cobre y zinc.

Otras plantas comunes que se han ensayado con éxitos como posibles especies fitorremediadoras en el futuro inmediato son, la alfalfa, la mostaza, el tomate, la calabaza, el esparto, el sauce y el bambú incluyendo al girasol. Incluso existen especies vegetales capaces de eliminar la alta salinidad del suelo, gracias a su capacidad para acumular el cloruro de sodio.

En general, hay plantas que convierten los productos que extraen del suelo a componentes inocuos, o volátiles. Pero cuando se plantea realizar un esquema de fitorremediación de un cuerpo de agua o un área de tierra contaminados, se siembra la planta con capacidad (natural o adquirida por ingeniería genética) de extraer el contaminante particular, y luego del período de tiempo determinado, se cosecha la biomasa y se incinera o se le da otro curso dependiendo del contaminante. De esta forma, los contaminantes acumulados en las plantas no se transmiten a través de las redes alimentarias a otros organismos.

La madrugada del 25 de abril de 1998, el dique de contención de una balsa de decantación de la mina de los Frailes, en Aznalcollar (Sevilla), se desplazó unos 60 m, liberándose una mezcla de lodos y aguas ácidas (unos 5 millones de m³) que inundó parte de las cuencas de los ríos Agrio y Guadiamar. La contaminación se extendió a lo largo de 60 Km., entre la balsa minera y las marismas del Guadalquivir, en el límite del Parque Nacional de Doñana (véase una revisión del accidente y su impacto ambiental en el número monográfico de la revista *Science of Total Environment*, Grimalt y Macpherson, 1999).

Tras el accidente, se procedió a retirar de forma inmediata la capa de lodos, junto con los primeros 10-20 cm. de suelo contaminado subyacente. A pesar de estas labores de limpieza y de adición de enmiendas, se ha seguido detectando un cierto nivel de contaminación residual, incluso en las zonas más 'limpias' (Cabrera *et al.*, 2004).

La toxicidad de ciertos elementos traza (como el plomo, el cadmio, el arsénico y el talio) que formaban parte de los residuos mineros y podrían afectar a plantas y animales, impulsó que la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía organizara un programa de investigación coordinado, conocido como PICOVER (Plan de Investigación del Corredor Verde, CMA 2003).

En uno de los trabajos se dio seguimiento de la bioacumulación de elementos traza en plantas de la Cuenca del Río Guadiamar, durante los años 1999 a 2001. Se han seleccionado cinco especies de plantas como diferentes modelos para investigar estos procesos bio-geo-químicos: el álamo blanco (*Populus alba* L.) es una especie abundante en el bosque de ribera del Guadiamar, la encina (*Quercus rotundifolia* Lam.) y el acebuche (*Olea europaea* L.) son especies representativas del bosque mediterráneo y todavía persisten en algunos retazos de dehesa, en terrazas del Guadiamar; la grama (*Cynodon dactylon* (L.) Pers. variedad *affinis* (Caro y Sánchez) Romero-Zarco) es una gramínea muy abundante y que ha colonizado los antiguos cultivos, que han sido transformados en plantaciones forestales después del accidente; por último se ha incluido el girasol (*Helianthus annuus* L.), una especie cultivada que se ha ensayado para la fitorremediación.

4.1.2 Características del girasol.

Helianthus annuus, como se le conoce científicamente, significa "flor que gira con el sol" en griego, debido a su capacidad heliotrópica. En la Mitología griega aparece una ninfa de agua llamada Clytie, hija del dios Océano y de la diosa del mar Tetis (titánide). Clytie se enamoró de Apolo y lo observaba diariamente desde que salía de su palacio por la mañana hasta que llegaba al oeste por la tarde. Según la leyenda, tras unos días Clytie se transformó en girasol y aún hoy no olvida el objeto de su amor y sigue al sol en su recorrido diario. De todas formas, la palabra "girasol" y sus cognados (emparentado morfológicamente), existían desde mucho antes que se llevara a Europa.

Helianthus annuus, también llamado calom, jáquima, maravilla, mirasol, tlapololote, maíz de teja o Dani es una planta herbácea de la familia de las asteráceas, cultivada como ornamental y oleaginosa, por su flor (en realidad una inflorescencia compuesta de múltiples flores) apical, de color amarillo vibrante, que gira a lo largo del día para mirar hacia el sol. Las inflorescencias crecen al cabo de un tallo que puede alcanzar varios metros de altura y que tiene pocas hojas. Los pétalos pueden ser amarillos, marrones, naranjas y de otros colores.

El girasol es nativo de América, específicamente del Perú y fue cultivado hacia el 1000 AC. Los españoles lo exportaron a Europa al principio del siglo XVI, se utiliza para cocinar, aunque no tiene las características cardiosaludables del aceite de oliva. También sirve para producir biodiesel. Las cáscaras y demás restos que quedan una vez que se han procesadas las semillas para el aceite, se utilizan en algunas ocasiones como alimento para la ganadería.

4.1.3 Cultivo del girasol.

La época de siembra para el cultivo de secano, (tierra de labor que no tiene riego, y solo participa del agua de lluvia), varía según la latitud, pero dura aproximadamente un mes a contar del inicio del verano. La siembra se debe efectuar en hileras separadas a 0,70 m, con una densidad de siembra de cuatro plantas por metro lineal.

Es un cultivo poco exigente en el tipo de suelo, aunque prefiere los arcillo-arenosos y ricos en materia orgánica, pero es esencial que el suelo tenga un buen drenaje y la capa freática se encuentre a poca profundidad. La germinación de las semillas de girasol depende de la temperatura y de la humedad del suelo, la temperatura es un factor muy importante en el desarrollo del girasol, adaptándose muy bien a un amplio margen de temperaturas que van desde 25-30 a 13-17°C. (Figura 16)

4.1.4 Usos del girasol.

En La última década México ha registrado una tendencia a la baja en la producción de oleaginosas, ese comportamiento también se ha observado en el caso de la semilla de girasol, la cual ha disminuido su producción de 1,450 toneladas a alrededor de 200 toneladas en promedio durante los últimos años.

Ese comportamiento de la producción nacional ha implicado que las importaciones se conviertan en la principal fuente de abasto para el mercado interno.

La semilla de girasol presenta algunas de las propiedades como son:

- a. Resistencia a la sequía y a las bajas temperaturas.
- b. Alto porcentaje de aceite.
- c. Facilidad de adaptación incluso en áreas rústicas.
- d. Aceptación del aceite por su sabor y calidad.

De la semilla de girasol se obtienen básicamente dos subproductos: harina y aceite. La primera se utiliza en la industria de alimentos balanceados ya que su contenido de proteína, entre 40 y 50%, la hace atractiva para la alimentación del ganado.

Por su parte, el aceite de girasol está considerado como uno de los que brindan mayores beneficios en la salud del consumidor por su alto contenido de grasas polinsaturadas.

Además de la obtención del aceite y de harina, la semilla de girasol, o sus derivados, son utilizados en otros procesos industriales, como en la elaboración de jabones, cosméticos, detergentes, e incluso en la fabricación de combustibles en algunos países

El aceite de girasol ocupa el cuarto lugar en importancia dentro de la producción mundial de aceites vegetales, sólo detrás del de soya, palma y colza. Los volúmenes que se producen al año se ubican en aproximadamente 8.6 millones de toneladas, esto representa cerca del 9.8% de la producción mundial de oleaginosas.

Al igual que en el caso de la harina, su participación en el total mundial ha ido en descenso, ya que mientras que en el año 1998/1999 la producción mundial de semilla de girasol representó el 11.4% del total de aceites vegetales, para el año 2000/2003 el porcentaje se redujo a 9.8%.

Cultivo de girasoles (Figura 16)



Figura 16.-Girasoles Fuente:es.encarta.msn.com.../cultivo de girasoles

4.2 La *Mentha piperita* en la fitorremediación.

4.2.1 Características de la *Mentha piperita*. Nombre científico: *Mentha piperita* L. = *Mentha X piperita* L. El nombre de la especie "*piperita*" procede del latín "piper" que significa "pimienta" y se refiere al sabor picante particular de esta hierba. El nombre del género "*Mentha*" procede del nombre de la ninfa griega "*Mentha*", a la cual amaba Plutón. Proserpina, amante de Plutón, tuvo celos y la convirtió en la planta que lleva su nombre.

Planta perenne, rizomatosa que crece en lugares encharcados y cursos de agua. La altura que puede alcanzar oscila de 40 a 80 centímetros. Con tallos de 25-70 cm. ascendentes y ramificados. Las flores son de color rosado. Tiene sus hojas lisas, de color verde intenso, opuestas, lanceoladas y con los bordes levemente dentados. Para el cultivo la planta requiere de ciertas condiciones que a continuación se mencionan.

- ❖ Requiere una atención constante en el riego ya que éste deberá ser abundante (al menos una vez cada dos días) con el fin de mantener constantemente el sustrato húmedo.
- ❖ Crece bien en terrenos ricos en humus, algo húmedos y sombríos.
- ❖ Los suelos arcillosos y bien drenados favorecerán el crecimiento de esta planta que agradecerá el enriquecimiento periódico del terreno con abono de liberación lenta como el estiércol.
- ❖ Se planta en hileras a 40 cm. unas de otras y con 30 cm. entre plantas.
- ❖ La menta tiende a ser invasora si no se controla su crecimiento podándola convenientemente.
- ❖ Aunque son perennes, su follaje cae en otoño, y es la época en que conviene podarlas y rodearlas con hojas podridas o podas de césped para incrementar materia orgánica.
- ❖ Si resultan atacadas por la roya, deben quemarse y reiniciar la plantación con matas nuevas en otra parte del jardín.
- ❖ La propagación se consigue a partir de estolones en la primavera, que originarán numerosos brotes, sacados de las plantas viejas, que tengan raíces, preferiblemente.

Hábitat: Es un híbrido entre *Mentha aquatica* y *Mentha spicata*. Solamente se conoce como planta cultivada de huerto o jardín, aunque a veces se escapa hacia los campos y crece espontáneamente en tierras profundas, ricas en humus y con bastante humedad. Se puede encontrar con facilidad a lo largo de todo el mundo, prefiriendo los climas templados a los calurosos o fríos. En Europa, aunque falta en Escandinavia, es bastante abundante, especialmente la variante *Mentha x piperita* var. *rubescens*.

4.2.2 Historia de la *Mentha piperita*.

Las mentas son plantas de origen europeo. Esta planta ha tenido siempre una gran estima en la tradición europea entre los griegos y los romanos. Los griegos ambientaban sus casas con aroma de menta y la utilizaban en el agua de sus baños para fortalecer el cuerpo y proporcionarle un buen olor. El origen de esta planta se ha atribuido a Inglaterra, lo cual no es cierto del todo pues se sabe que existía y era utilizada en la antigüedad. Probablemente los primeros ejemplares procedentes del cruzamiento de las especies salvajes *Mentha aquatica* y *Mentha spicata* se produjeron de una manera espontánea o causal. A los ingleses se les debe atribuir la virtud de la mejora genética de esta especie ya que en sus huertos consiguieron producir las plantas con aromas más refinados y apreciados. Hoy en día todavía se considera que la menta piperita de mejor calidad es la inglesa.

4.2.3 Usos de la *Mentha piperita*

Aparato digestivo: Las propiedades beneficiosas de esta planta para el aparato digestivo han sido alabadas desde la antigüedad. La menta piperita ha sido habitualmente utilizada, como otro tipo de mentas, después de las comidas para "asentar" el estómago, evitar las flatulencias, y digerir mejor los alimentos. Concretamente, entre las principales propiedades, podemos mencionar las siguientes

Aparato respiratorio: La menta es rica en mentol, componente con propiedades diaforéticas y anticongestivas, es decir aumenta la producción de sudor y desconggestionan las vías respiratorias. Estas propiedades se han aprovechado en el tratamiento de la gripe y del resfriado ya que es capaz de rebajar la fiebre por evaporación del calor corporal y abrir las vías respiratorias

Uso externo - Dolor: - Halitosis o mal aliento - Problemas de la piel: - Heridas- Picor aplicado sobre la piel ayuda a disminuir el prurito, produciendo una sensación de alivio y frescor. (Aplicar las hojas frescas machacadas sobre la zona afectada)- **Picaduras de insectos: - Eccemas:** Igualmente, este remedio aplicado sobre los eccemas, ayudará a mejorar la salud de la piel.

La *Mentha piperita* aparece también en multitud de comidas dulces (helados, cremas, natillas, chocolate con menta, licores, siropes (líquido espeso azucarado que se emplea en repostería y para elaborar refrescos, gelatinas, etc.) o golosinas. No menos importante es su uso aromatizante de otras preparaciones medicinales a las cuales las hace más sabrosas y digestivas (Es muy habitual en la India tomar el té con menta). Igualmente forma parte de numerosas preparaciones aromáticas como el curry tailandés, la salsa de menta o el vinagre de menta.

El género menta está constituido por numerosas especies muy similares y, en la mayoría de las veces, muy difíciles de clasificar, la razón se debe a la capacidad de hibridación o mestizaje figuras 17 y 18



Figura 17.- Hojas de *Mentha* sp. De izquierda a derecha: agua de colonia de menta (*M. citrata*); Menta japonesa (*M. arvensis* var. *piperascens*, también conocida como var. *japonica*); "Menta del caballo" (*M. longifolia*); Menta verde marroquí (*M. spicata*); "Menta de piña" (*M. suaveolens*); y Menta de Carintio (*M. carinthiaca* = *M. arvensis* x *M. suaveolens*) Fuente:<http://www.botanical-online.com>



Figura 18.-Plantas de *Mentha* sp. Fuente: <http://www.awl.ch/>

4.3 Absorción de nitratos y fosfatos de aguas residuales por medio de las plantas

El incremento de aguas residuales, con un alto contenido de nutrientes, como aquellas que provienen de procesos agrícolas, producción de productos para la agricultura, incluyendo las aguas de desecho de granjas hidropónicas, incrementa el número de plantas de tratamiento de aguas, y deben remover concentraciones de nitrógeno de diferentes efluentes (>300 mg N/L).

Muchos de estos procesos que remueven nitratos incluyen la oxidación anaeróbica del amonio. El proceso es autótrofo y reduce el nitrito y nitrato a nitrógeno, usando amonio como donador de electrones. (Van de Graaf et al., 1996). En otros casos se han reportado donares como el azufre, hidrógeno y fierro (Brian et al., 1998; Kurt et

al., 1987; Lee et al., 2001), aunque en el caso del azufre se necesitan condiciones alcalinas.

Tanto las raíces como las partes aéreas de las plantas necesitan compuestos nitrogenados por lo que éstas, utilizan como fuente de nitrógeno principalmente nitratos y amonio, y en algunos casos puede ser el nitrógeno atmosférico. En este caso son de especial interés las primeras.

La absorción de nitratos (NO_3^{-1}), esta mediada por un mecanismo de simporte, por cada mol de nitrato que entra a través de la membrana celular, son necesarios 2 mol de ión hidronio (H^+) y el gasto de energía correspondiente a un ATP y un mol de ión H^+ (Figura 6) (*Salisbury y Ross, 2000*)

Dentro de la célula vegetal (Figuras 19 y 20) los nitratos sufren una reducción en las vacuolas donde mediante la nitrato reductasa se transforma a nitrito y finalmente con la nitrito reductasa se transforma a amonio.

El amonio finalmente seguirá la ruta de formación de aminoácidos y proteínas y otros compuestos nitrogenados

Como se puede ver con el uso de las plantas se puede disminuir de manera importante la concentración de nitratos, ya que estas lo involucran en su metabolismo de desarrollo,

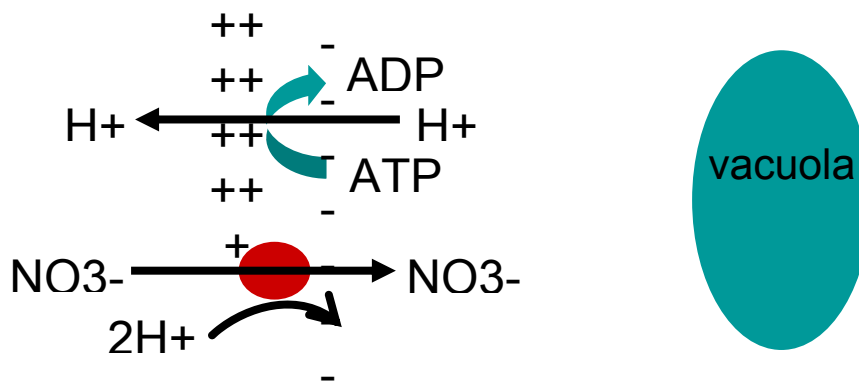


Figura 19.-Transporte de nitratos dentro de la célula vegetal (Taiz and Zeiger, 1998).

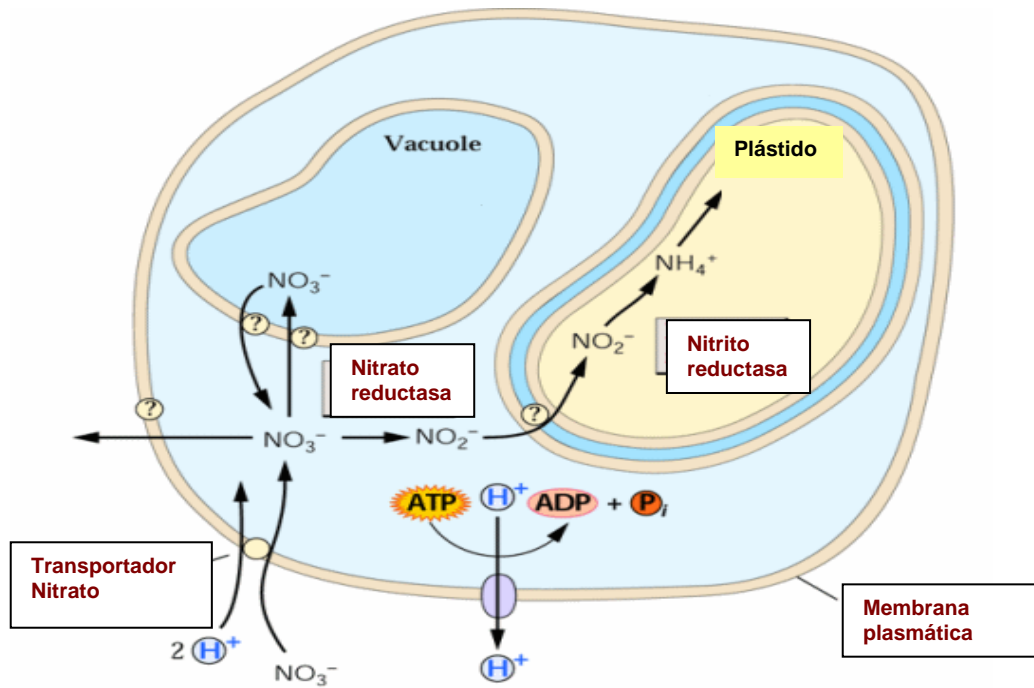


Figura 20.- Transformación de nitratos a amonio dentro de la célula (Taiz and Zeiger, 1998).

CAPITULO 5

MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Diseño Experimental

Se usó *Mentha piperita* como especie vegetal de estudio, los soportes hidropónicos fueron tezontle negro, tezontle rojo y arcilla. El agua utilizada para el estudio fue potable y residual que fue tomada de la planta de tratamiento ASJISU. Los análisis se hicieron al inicio y al final de cada experimento., por lo que el diseño experimental quedó como a continuación se plantea.

- 2 plantas
- 3 soportes
- 2 tratamientos (Agua potable y agua residual).
- 2 tiempos
- 30 repeticiones
- Total: 720 experimentos

5.2 Ubicación de la Planta de ASJISU.

La planta de donde fueron tomadas las muestras de agua para el presente estudio, se encuentra ubicada en Av. La Presa No. 1, Colonia la Presa, Estado de México (figura 21) La empresa trata aguas residuales de las industrias cercanas, como Vitrofibras, Aceros Corsa entre otras, así como aguas municipales de la misma colonia.

El tratamiento es muy sencillo, el agua residual es pasada a través de un desarenador, posteriormente a un reactor biológico aerobio por lotes, espesamiento de los lodos, clarificación de las aguas, y clorada. Diariamente dan tratamiento a 100,000 m³ de aguas residuales, y el agua tratada es reutilizada para riego de las zonas verdes y para lavado de automóviles.



Figura 21.- Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales ASJISU.

5.3 Muestreo y análisis del agua residual.

Para el análisis fisicoquímico y microbiológico, se tomaron muestras al azar del agua residual en las instalaciones de la planta de ASJISU, a la salida del desarenador y reactor biológico. Para los experimentos hidropónicos solo se utilizó agua de la salida del desarenador (agua sin tratar). Las determinaciones se hicieron al inicio y al término del experimento.

5.3.1 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

Se realizó la determinación de DQO y DBO de acuerdo a lo descrito en la Norma Mexicana NMX-AA-028 (1981). El pH, de acuerdo a lo descrito en la Norma Mexicana NMX-AA-008 (1980). Las sales de nitratos se midieron de acuerdo a la norma NOM-021-RECNAT-2000.

La concentración de metales (Fe, K, Cu) se realizó mediante una digestión ácida y el extracto se leyó en el equipo de Absorción atómica.

Para los análisis microbiológicos se determinó, coliformes totales y fecales de acuerdo a lo descrito en la norma Ecol 004 2000

Para la planta

Desarrollo de la planta (crecimiento y no, de hojas), Nitrógeno total por el método de Kjeldahl y fósforo soluble por el método de Watanabe y Olsen (NOM-021-RECNAT-2000, APHA-AWWA WPCF, 1971).

Metales en raíz y parte aérea: (Fe, K, Cu) Digestión ácida y Absorción atómica

5.3.2 Métodos para la determinación de hierro, cobre, potasio y nitrógeno en soportes, plantas y aguas de tratamiento.

El análisis se realizó en la raíz y parte aérea de la planta por medio de una digestión ácida. Las plantas secas, así como los soportes fueron secados en horno a 60°C y molidos en mortero. Se pesaron entre 0.1 y 0.3 g de material, se le adicionó una mezcla de ácido nítrico, ácido sulfúrico en proporción de 3:1 y se digirieron en reflujo durante 3 horas.

Las muestras digeridas fueron aforadas con agua desionizada a 100 mL y las absorbancias para cada metal fueron medidas en un espectrofotómetro de Absorción atómica, de acuerdo al método reportado en la Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas – (Determinación de metales - Método espectrofotométrico de absorción atómica, 1982).

5.3.2.1 Principio y procedimiento del método de absorción atómica.

Este método físico de análisis utiliza la propiedad que tienen los átomos neutros de absorber a una cierta longitud de onda un cuanto de energía. Se nebuliza el agua a analizar en una llama de aire acetileno ligeramente oxidante intercalando agua destilada después de cada muestra y se efectúan las lecturas a la longitud de onda característica de cada elemento. El equipo que se utilizó fue un espectrofotómetro de absorción atómica marca GBC 932 para fiero, cobre y potasio en muestras de plantas. Para el análisis general de metales se usó un espectrofotómetro de emisión óptica acoplado a plasma (ICP-OES, 4600DV-Perkin Elmer, USA).

5.4 Preparación de las especies vegetales.

Se tomaron especies de *Mentha piperita* crecidas en suelo fértil (5 meses) y se cortaron 90 tallos de 5 a 10 cm. de altura (esquejes), se les quitaron las hojas de la parte más baja, se sumergieron en agua (aproximadamente 3-4 cm. del esqueje) durante 1 a 2 semanas, tiempo en el cual se desarrollo suficiente raíz para ser puestas en el sistema de cultivo hidropónico (Figuras 22 y 23).



Figura 22.-Esquejes de *Mentha piperita*



Figura 23.-Tezontle rojo, tezontle negro y arcilla, soportes empleados para *M. piperita*.

Para el caso de las plantas de *H. annuus*, se seleccionaron un kilogramo de semillas, de acuerdo a su coloración y retirando las fragmentadas. Se colocaron en charolas extendidas previamente humedecidas en una solución de cloruro de benzilo con el fin de desinfectarlas y evitar el crecimiento de hongos (figura 24). Las charolas se inundaron con agua potable para mantener una humedad superior al 80% y se dejaron germinar durante 3 días. Las plántulas germinadas se traspasaron a las camas hidropónicas para dar inicio al tratamiento.

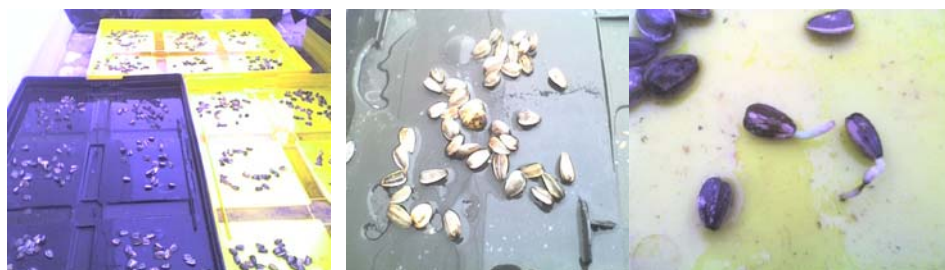


Figura 24.-Preparación y germinación de semillas de girasol

5.5 Preparación de los soportes.

Los soportes (tezontle negro, tezontle rojo y arcilla) tienen la finalidad de servir como apoyo para, sostener los tallos y ramas de las plantas a cultivar, fueron lavados con agua y detergente, esto con el fin de eliminar cualquier material, sustancia extraña que pudiera interferir con el experimento. Posteriormente fueron desinfectados con cloro usando 100 mL de hipoclorito de sodio con agua por cada Kg. de material, se dejó en reposo durante 24 horas y finalmente se lavaron con agua de la llave como se muestra en la figura 25



Figura 25. Desinfección de tezontle.

Los soportes fueron secados al ambiente para eliminar el exceso de cloro, y posteriormente se pesó 1.5 Kg. y fueron colocados en bolsas de plástico negras de para cultivo. Posteriormente las plantas ya enraizadas fueron acomodadas en cada soporte (figura 26), para que a continuación se iniciara con el tratamiento de riego con agua potable ó con agua residual.



Figura 26.- Cultivos hidropónicos de *Mentha piperita* en 3 soportes.

Las plantas fueron cultivadas durante cuatro meses y posteriormente fueron cosechadas para su análisis.

Las plantas de *Mentha piperita* y *Helianthus annuus*, se dejaron crecer en cada uno de los tres soportes y la mitad de ellas fueron regadas con agua residual y la otra mitad con agua potable de acuerdo al diseño experimental, se mantuvieron durante

12 a 16 semanas, tiempo al cual se cosecharon y se procedió a realizar las determinaciones.

Al final del experimento se evaluó el desarrollo de la planta, analizando el crecimiento en base a la altura midiéndola desde la base de la raíz hasta la parte más alta del tallo y contando el número de hojas.

Se determinó la humedad de las plantas por secado en horno a 60°C, con el fin de reportar los análisis determinados en base seca. Una vez secas se separa cada muestra en tres partes a) hojas, b) tallos y c) raíz; a cada parte se le realizaron los análisis de metales.

5.6 Pretratamiento del agua residual.

Un pretratamiento con hipoclorito al 0.6% en agua residual fue necesario antes de llevarla a los tanques de alimentación con el fin de eliminar la presencia de *Salmonella* sp. (Figura 27). El hipoclorito se mezcló con el agua residual dejando reposar por un periodo de 24 horas, tiempo suficiente para eliminar los microorganismos patógenos. Posteriormente se utilizó para inundar las camas hidropónicas que contenían las especies vegetales de *M. piperita* y de *H annus* (figuras 28 y 29).

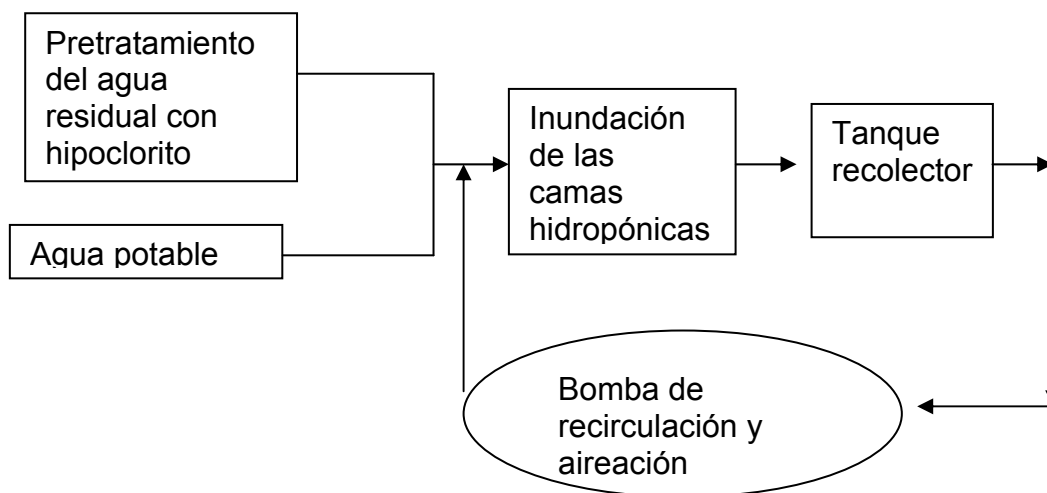


Figura 27.- Diagrama del pretratamiento de agua residual para disminuir la carga contaminante



Figura 28.- Cama hidropónica de 2m X 1m para cultivo de *M. piperita*

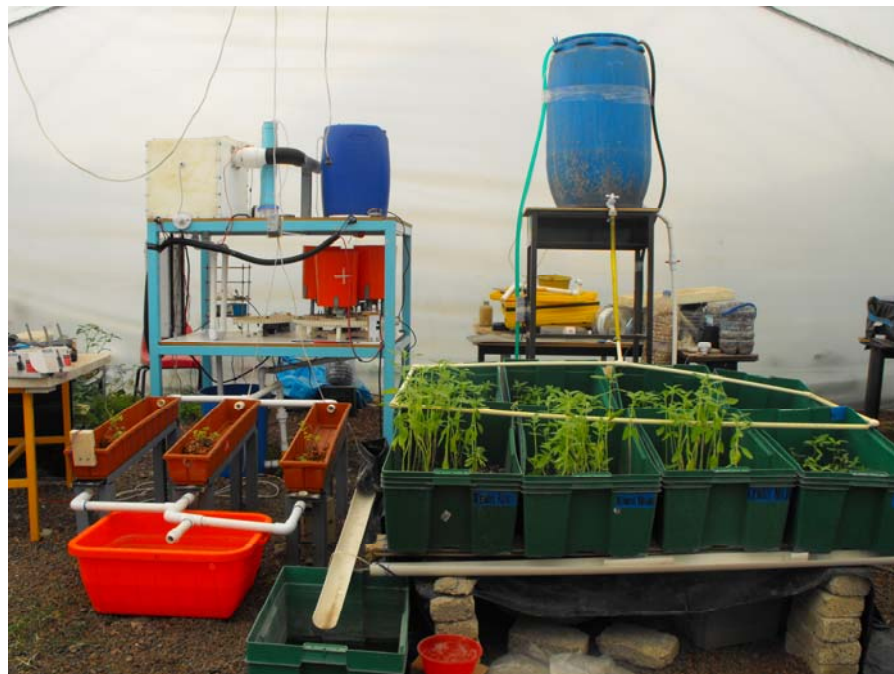


Figura 29.- Camas hidropónicas de 60 X 50 cm para cultivo de plantas de girasol.

5.7 Establecimiento del sistema de tratamiento y recirculación

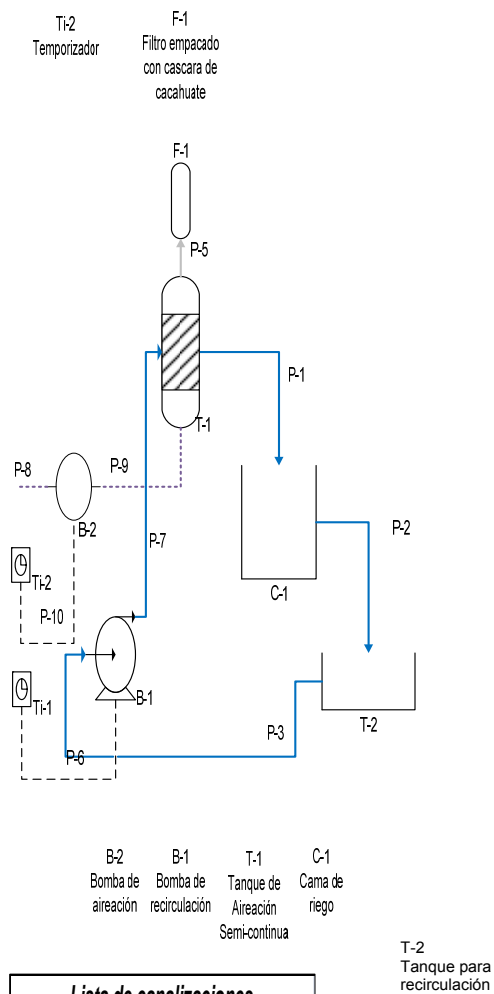
Se usaron tuberías de PVC de 3/8 pulgadas para la recirculación del agua entre los tanques. Para disminuir la caída de presión y adecuar el flujo del agua de salida con respecto a la de entrada se utilizaron bombas con una capacidad de 11 L/min, pero debido a que rebasaban la capacidad de las camas, se adicionó una tubería de hule latex de 10 m de longitud y de 0.5 cm de diámetro interno. Con lo anterior se logró disminuir el flujo a 4 L/min.

Además para que cada cama fuera independiente de la alimentación de agua, se adaptó un sistema de tuberías de 0.5 pulgadas de diámetro, y con esto se logró que se inundaran todas al mismo tiempo. Con la adición de controladores de flujo (timers) y válvulas de paso, se logró mantener el flujo a una descarga de 2 L/min. Para mantener aireado el sistema y evitar el crecimiento de algas y de microorganismos anaerobios se utilizó un difusor de aire de doble salida, alimentado por una bomba peristáltica, con una capacidad de aireación de 0.5 L/min.

Con los cambios realizados las condiciones del sistema de recirculación quedaron de la siguiente manera.

Datos del sistema de recirculación

Flujo a la entrada.	11 L/min
Flujo a la salida.	2 L/min
Volumen de la cama.	40 L
Volumen del contenedor primario.	100 L
Volumen del contenedor secundario.	50 L
Intervalo de trabajo del "timer" controlador del tanque primario.	8 h con 20 min de trabajo.
Intervalo de trabajo del timer controlador del tanque secundario.	12 h con 20 min de trabajo.
Difusor de aire	0.5/L/min



Lista de canalizaciones	
Clave	Descripción
P-1	Agua residual
P-2	Agua residual
P-3	Agua residual
P-7	Agua residual
P-6	Línea eléctrica de control de la bomba
P-10	Línea eléctrica de control de la bomba
P-8	Aire
P-9	Aire
P-5	Vapores del agua residual

Figura 30. Diagrama general del proceso del tratamiento.

CAPITULO 6

Resultados

6.1.- Análisis microbiológico del agua residual.

De la caracterización microbiológica del agua residual se obtuvieron los siguientes resultados de coliformes que rebasan lo indicado por la norma, por lo que fue necesario un pretratamiento para bajar esta cuenta microbiana, el pretratamiento usado fue la adición de hipoclorito de sodio al 2%, durante 24 h, debido a que se ha reportado en la literatura que este tiempo y concentración son suficientes para eliminar microorganismos patógenos.

Aún así se realizó el análisis de *Salmonella*, después de las 6 semanas del proceso de riego y no se detectó presencia de éstos microorganismos, lo cual era el resultado esperado.

Tabla 7.- Coliformes presentes en el agua residual, en los diferentes puntos de muestreo.

Punto de muestreo	Salmonella sp UFC/mL	Coliformes totales UFC/mL	NOM 004 Salmonella	Coliformes totales
Reactor Biológico Entrada.	> 1000	10^{11}	<3	< 1000
Desarenador Antes del proceso	>1000	10^{10}		
Desarenador Después del proceso.	ND	NM		

ND = No detectado

NM = No medido.

6.2.- Análisis Fisicoquímico del agua residual.

6.2.1.- Determinación de DBO Y DQO. Para la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y Demanda química de oxígeno (DQO), estos parámetros se encuentran dentro de los límites máximos permisibles marcados en la NOM-001-ECOL-1993

Por otro lado el tratamiento del agua consta de una aireación semicontinua al sistema con lo cual se proporciona O₂ al agua residual.

La tabla 8 muestra los valores de la DBO y la DQO que después del proceso disminuyeron en un 40% aproximadamente. En éste caso solo se midieron metales, pero seguramente otros compuestos de carácter orgánico, presentes en el agua, fueron transformados por los propios microorganismos del sistema y al estar en un

sistema aireado, también actuó como un biorreactor, notándose el resultado en la disminución de estas dos mediciones.

Es posible que se requiera más tiempo en contacto del agua residual con las plantas para poder disminuir al 80% la DBO y DQO, y así tener un tratamiento que pudiera competir con los ya existentes.

Tabla 8.- Demanda bioquímica y química de oxígeno en los diferentes puntos de muestreo del agua residual.

Punto de muestreo	DBO mg/L Inicial	DBO mg/L Después del proceso	DQO mg/L inicial	DQO mg/L Después del proceso	NOM 002 ECOL-96 DBO	NOM 071 ECOL-96 DBO
Reactor Biológico	69.5	41.7	1480	740	75-150 mg/L DBO	200 mg/L
Desarenador	88.3	52.9	800	400		

6.2.2 Análisis de fosfatos, nitratos y nitrógeno total.

Como se puede observar en la tabla 9 la concentración de fósforo como fosfatos que contiene el agua residual, varía según el proceso en el que se encuentre el agua, siendo el reactor biológico el que presenta una mayor concentración.

Tabla 9.- Características químicas del agua residual antes y después del proceso

Característica	DESARENADOR INICIO DEL PROCESO	DESARENADOR FIN DEL PROCESO	REACTOR BIOLOGICO	Valor marcado en la normatividad vigente
Fósforo soluble mg P-PO ₄ ³⁻ /L	22 X 10 ⁻³	15X10 ⁻³	2970X10 ⁻³	20 -30 NOM 001
Nitrógeno Total mg Nitrógeno/L	33.85	21.3	232.98	232.98 NOM 001
% de Nitrógeno total	3.38	2.1	23.2	40-60 NOM 001
Sales de nitrato mg NO ₃ ⁻¹ /L	28	12	43	40-60 NOM 001

Con respecto a la determinación de nitrógeno total y nitratos, se observó una disminución del 38%, cabe mencionar que el nitrógeno es uno de los macro nutrientes que las plantas utilizan en mayor cantidad, por ejemplo para cebada se usan hasta 35 g/Kg. de planta y para maíz hasta 135 g N/Kg de planta.

Siendo los nitratos una de las formas preferidas por las plantas para la asimilación del nitrógeno (*Foth 1997*), es el parámetro en el que se observó una mayor disminución, ya que el agua residual fue la única que aportó este nitrógeno, disminuyendo en aproximadamente el 60%.

6.3. Determinación de metales en agua residual y potable al inicio y al final del proceso.

La concentración de metales encontrada en el agua residual a la salida del desarenador es muy baja, y aunque no existe norma de agua que indique los valores permisibles, en las normas de salud, se indica que no debe rebasar la concentración 500 ppm de Hierro, y como se puede observar en la tabla 10, esta concentración está muy por debajo de lo marcado por la norma de salud. La concentración de Fe en el agua residual encontrada es de 0.12 ppm y después del tratamiento (0.1 ppm), no se detectó un gran cambio.

En las aguas residuales de la empresa en estudio, no se han encontrado concentraciones importantes de metales, por lo que las concentraciones totales de Ni, Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, K y Cr, presentaron valores por debajo de la normatividad marcada para México y USA, con respecto a aguas residuales, (Tabla 10) la concentración de metales presentes podría proveer de micronutrientes a las plantas y microorganismos del suelo (*Khan y Scullion, 1999*).

Se observan algunas diferencias importantes para los siguientes metales, para el caso del potasio la disminución fue de 42%, magnesio 47%, plomo 28%, y selenio en un 75%. Cabe mencionar que los dos primeros son considerados como micronutrientes de las plantas y que por lo tanto se esperaba una disminución de la concentración en el agua tratada. Para el caso de magnesio en agua potable, se observó un incremento en la concentración, que pudo ser debida a la solubilización de los compuestos presentes en tezontle rojo. En el caso de los otros metales (Ca, Cd, Co, Cr, Mo, Ni, Sb y Zn) no hubo diferencia significativa. El manganeso y cobre no fueron detectados en el agua residual ni en el agua potable.

En muestras de agua tomadas a una cuarta parte de iniciado el proceso, se encontró que hubo un incremento en la concentración de sales de hierro, lo anterior puede ser debido a que los iones de hierro solubles procedentes de los soportes en parte fueron absorbidos por las plantas y otra parte permaneció en la solución del agua, o probablemente se hayan formado sales insolubles.

En el caso específico de potasio como ya se había mencionado la disminución fue de 42% en promedio, pero lo interesante es que este elemento no se detectó en los soportes., por lo que se deduce que parte de esta concentración disminuyó, debido a la absorción de la planta.

Se detectó selenio en las aguas residuales y potables de aproximadamente 1.45 ppm y en los soportes la concentración fue mucho mayor (45 ppm), y al final del proceso se encontró una concentración de 0.36 ppm. Se puede deducir que las sales de

selenio de los soportes resultaron insolubles, debido a que éstas no se incrementaron en el agua. Pero la contenida en el agua si disminuyó, debido a la probable absorción de la planta.

6.4 Análisis del contenido de metales en los soportes.

La concentración de Cobre fue de 3.7 ppm para los tres soportes y es menor a lo reportado por las normas 001 y 002 para aguas, por lo que en caso de solubilizarse en el agua de riego, no rebasarían los límites (Tabla 10). La concentración de Fe contenida en los soportes fue 866 ppm para arcilla, 192 ppm para tezontle negro y 150 ppm para tezontle rojo (Tabla 10). En todos los casos la concentración encontrada en agua tanto residual como potable fue de 0.1 ppm en promedio, por lo que la sal de fierro contenida en las arcillas resultó insoluble y por lo tanto en ningún caso se rebasa lo reportado por la normatividad marcada en SSA.

Con respecto al potasio no fue detectado en ninguno de los tres soportes, y tampoco se encontró ningún dato reportado en la normatividad con respecto a este metal. Otros metales encontrados en las arcillas fueron Calcio con una concentración entre 101 ppm hasta 240 ppm, selenio en un intervalo de 40 a 60 ppm, plomo entre 6 a 11ppm., antimonio entre 6 y 18 ppm. El caso del magnesio fue diferente ya que se encontraron cantidades entre 0.5 y 0.94 para arcilla y tezontle negro y una alta concentración de 585 ppm en tezontle rojo.

Tabla 10.-Concentración de metales en los diferentes soportes, arcilla, tezontle negro, tezontle rojo, agua residual, agua potable, agua residual tratada, y agua potable tratada en ppm (mg/ L)

Metal	Arcilla	Tezontle negro	Tezontle Rojo	Agua Residual	Agua Residual tratada	Agua potable	Agua potable tratada
Ca	170,48	247,55	101,43	1,97	1.73	0,80	0,56
Cd	1.02	1.54	1.33	0.06	0.045	0.03	0.05
Co	2.62	1.76	0.87	0.05	0.049	0.04	0.05
Cr	1.44	7.85	1.39	0.01	0.01	0.02	0.02
Cu	3.71	3.78	3.74	ND	ND	ND	ND
Fe	866.35	192.27	150	0.12	0.1	0.10	0.013
K	ND	ND	ND	5.58	3.22	----	----
Mg	0.5	0.94	585.23	0.95	0.5	41.7	584.2
Mn	13.23	6.6	3.86	ND	ND	ND	ND
Mo	2.65	2.35	3.36	0.15	0.12	0.07	0.11
Ni	2.20	4.29	0.96	0.05	0.05	0.06	0.06
Pb	11.71	5.91	7.85	0.21	0.15	0.39	0.33
Sb	17.86	21.25	6.72	0.47	0.59	0.51	0.64
Se	51.62	40.02	61.74	1.45	0.36	1.94	0.85
Zn	7.15	6.99	1.76	0.04	0.03	0.05	0.02

6.5 Análisis físicos y químicos de las plantas desarrolladas en los tres soportes.

6.5.1 Efecto del soporte en *M. piperita* y *H. annuus*

En la tabla 11 se puede apreciar el efecto del soporte sobre el crecimiento de las plantas. Comparando éste en agua potable, tanto para *Mentha piperita* como *Helianthus annuus*, se puede observar que después del tratamiento, las que presentaron un mayor crecimiento fueron aquellas que crecieron en tezontle rojo con muy poca diferencia en tezontle negro y la arcilla resultó el soporte en el que las plantas muestran un crecimiento mucho menor. Esto pudiera ser afectado por la cantidad de metales que contienen los soportes, aunque no se midieron todos en las plantas, hay diferencias de concentraciones en algunos metales que podrían servir como nutrientes como es el caso del magnesio donde se tiene una concentración de 585 ppm en tezontle rojo y en arcilla solo de 0.5 ppm, o algunos que pudieran ser dañinos como el antimonio donde la arcilla roja es la que presenta una mayor concentración (17,85 ppm) y menor en tezontle rojo (6.72 ppm). La humedad solo se determinó para poder dar los resultados en base seca, y también para conocer si alguno de los soportes ocasionaba resequedad en las plantas. La humedad fue la misma en todas las plantas con un valor promedio de 87%. El mismo resultado se obtuvo para el caso del número de hojas en girasol, donde la mayor cantidad la presentaron las plantas crecidas en tezontle rojo. Para menta el resultado fue ligeramente mayor en tezontle negro.

Las plantas de girasol fueron cosechadas después de dos meses. En la figura 31 se puede observar el crecimiento de las plantas en los diferentes soportes.



Figura 31.- Girasoles cultivados en hidroponía en los tres soportes Tezontle rojo, tezontle negro y arcilla

6.5.1.1 Efecto del agua residual en las plantas

En la tabla 11 se presentan los resultados del desarrollo de las plantas, donde se puede apreciar que éstas presentaron un mejor crecimiento al ser regadas con agua residual, obteniéndose una diferencia de 63% para *M. piperita* y de 16% para girasol, en número de ramas para la menta la diferencia fue de 57% y en número de hojas para el girasol fue de 50%. Estos resultados concuerdan con el pronóstico, debido a que las aguas residuales, proporcionaron una mayor cantidad de nutrientes asimilables por las plantas, las cuales no estaban presentes en el agua potable.

Tabla 11. Características físicas de las plantas de *Mentha piperita* (menta) y *Helianthus annuus* (girasol) después de ocho semanas de desarrollo regadas con agua residual (AR) y agua potable (AP) en los tres soportes.

Característica		SOPORTE					
		Tezontle rojo		Tezontle negro		Arcilla	
		AP	AR	AP	AR	AP	AR
Longitud cm.	Menta	12.8	35	10.5	28	9.6	31
	Girasol	37.8	45	30.8	42	26.2	44
No. de hojas ó ramas por planta	Menta	3	7	5	8	3	7
	girasol	8	16	7	14	5	14

6.5.2. Fósforo total y soluble

Analizando la figura 32 para las plantas de *H. annuus* se puede observar que la mayor concentración de fósforo se acumuló en la flor, regada con agua residual y el soporte de tezontle rojo, estos resultados se esperaban debido a que algunos autores como *Frank y Colen (2000)*, demuestran que la mayor concentración de nutrientes se acumulan en la flor que posteriormente darán lugar a la formación de semillas que constituyen el reservorio de nutrientes de la planta. En el caso de las plantas de *M. piperita* la mayor acumulación se tiene en tallo y hojas más que en la raíz. También es notorio que cuando se usó tezontle rojo como soporte las plantas absorbieron una mayor cantidad de fósforo.

Por otro lado en las plantas de *M. piperita* (Figura 33), que crecieron en agua potable se observó una coloración negra en las puntas de las hojas y el número de las hojas fue aproximadamente la mitad de las que crecieron en agua residual, lo que se resume en una falta de fósforo, potasio y nutrientes en general (Brown y col., 2001). Se considera que en caso de que se quisiera incrementar la producción de las hojas de mentha, tendría que adicionarse sales de fósforo, para suplir la carencia en el agua residual. También realizar nuevos experimentos donde la recirculación del agua sea cada 12 horas en vez de cada 24, para que la planta absorba en el tiempo necesario los nutrientes.

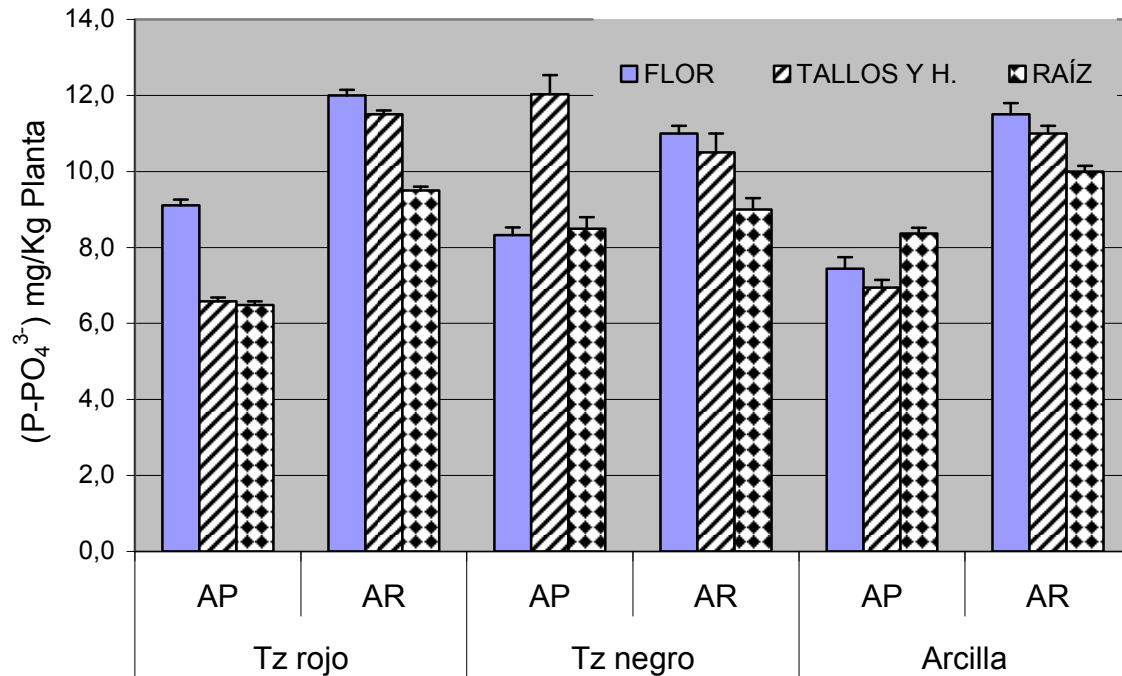


Figura 32.- Concentración de Fósforo soluble (P-PO₄³⁻) en plantas de *H. annuus*, desarrolladas en tres soportes diferentes (TR: Tezontle rojo, TN: tezontle negro y AR: arcilla) y regadas con agua residual (AR) y potable (AP).

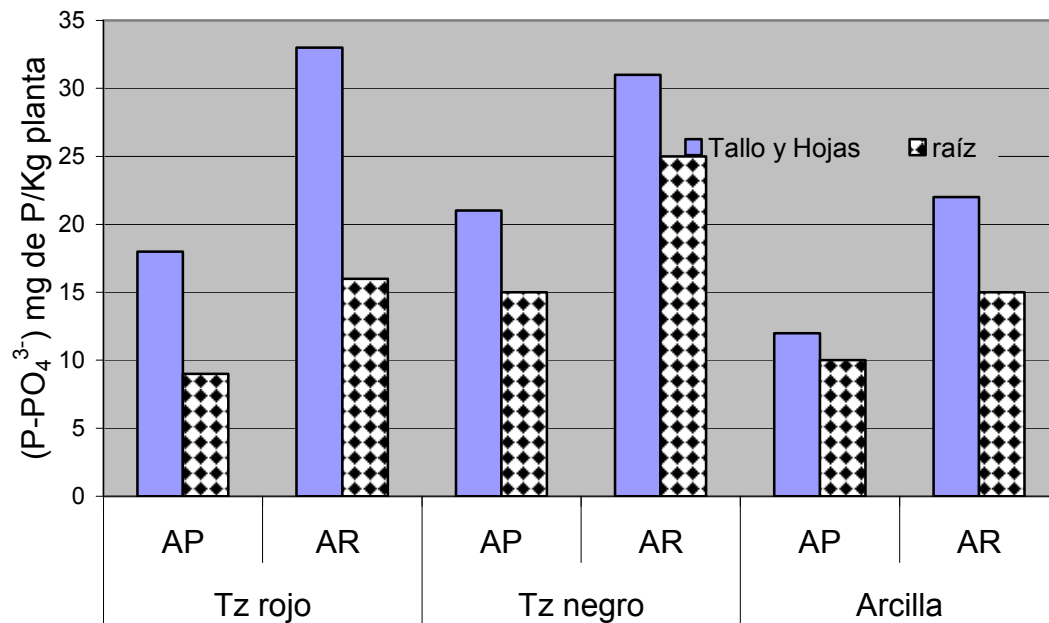


Figura 33.- Concentración de Fósforo soluble (P-PO₄³⁻) en plantas de *Mentha piperita*, desarrolladas en tres soportes diferentes y regadas con agua residual (AR) y potable (AP).

6.5.3 Absorción de nitrógeno en plantas.

La mayor concentración de nitrógeno en esta especie se encontró en la flor, en tallos y hojas, realmente en estos dos casos no hubo diferencia significativa. La raíz es la parte que menor concentración acumuló.

Comparando con los datos que se obtuvieron para crecimiento, se puede observar que las plantas absorbieron mayor cantidad de nitrógeno cuando crecieron en agua residual que cuando lo hicieron en agua potable, esto concuerda con el crecimiento, que también fue mayor en agua residual, debido a la concentración de nitrógeno aportada por el agua residual.

En el caso de girasol regada con agua potable, fue evidente la mayor absorción de nitrógeno, cuando las plantas usaron como soporte Tezontle rojo, que probablemente este favoreciendo la absorción de este. En el caso de agua residual no hubo diferencia significativa.

Comparando los resultados descritos en las figuras 34 y 35, las plantas de *M. piperita*, absorbieron una menor cantidad de nitrógeno que las plantas de girasol. En la bibliografía se reporta un consumo de 87 mg de N por Kg de *M. piperita* y para girasol aproximadamente 750 mg N por Kg de planta., en algunos casos tanto para las plantas de menta como para las de girasol las hojas resultaron amarillentas al crecer en agua potable, lo cual indica que hubo falta de nitrógeno, sin embargo en agua residual no se presentó este problema.

En las plantas desarrolladas con agua potable, la proporción de nitrógeno total y fósforo resulto ser mayor cuando se utilizó como soporte el tezontle rojo (Figura 34 y 35). Esto concuerda con lo que reporta *Salisbury (2000)* que comenta que es necesaria la presencia de hierro para llevar a cabo una mejor absorción de nitrógeno por la planta, tal como se describe a detalle en la sección 6.6.

Por otro lado en las plantas desarrolladas con agua residual se observó que la absorción de nitrógeno fue mayor que en el caso de las plantas que fueron desarrolladas con agua potable, estos resultados son lógicos debido a que el agua residual proporcionó a las plantas el nitrógeno necesario para su crecimiento.

Las plantas crecidas de esta manera presentaron una altura mayor y las hojas presentaron una coloración verde uniforme, en cambio con agua potable el tamaño de la planta fue menor y algunas hojas fueron de color amarillento, denotando una falta de nitrógeno.

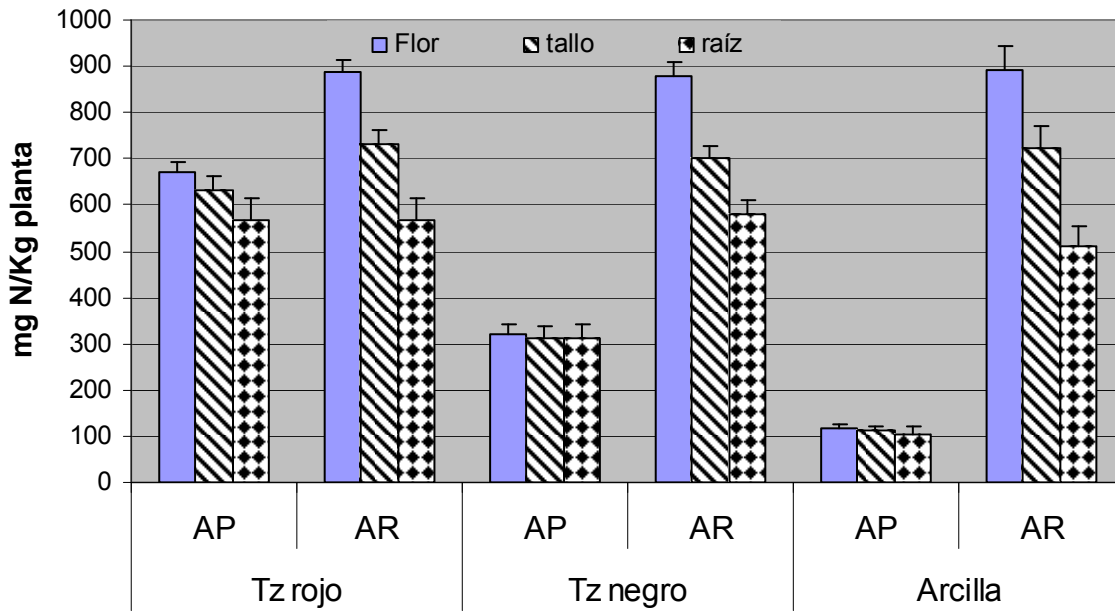


Figura 34. Nitrógeno total en plantas de *H. annuus* desarrolladas en tres diferentes soportes (TR: tezontle rojo, TN: tezontle negro y A: arcilla) y regadas con agua potable (AP) ó agua residual (AR).

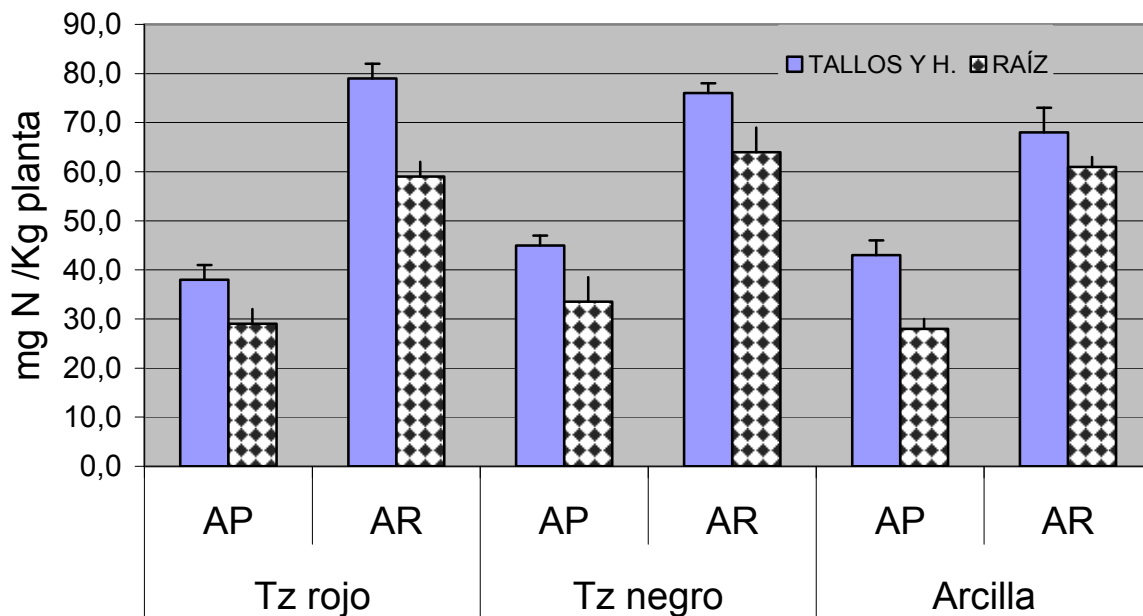


Figura 35. Nitrógeno total en plantas de *Mentha piperita* desarrolladas en tres diferentes soportes (TR: tezontle rojo, TN: tezontle negro y A: arcilla) y regadas con agua potable (AP) ó agua residual (AR).

6.5.4. Concentración de metales en plantas.

Solo se realizó la evaluación de metales de Hierro (Fe), Potasio (K) y Cobre (Cu), debido a que se contaba solo con estas lámparas del equipo para hacer la determinación, además de que el hierro es muy importante para la absorción de nitrógeno de las plantas y el potasio es considerado como uno de los micronutrientes, y en el caso del cobre, se eligió por estar presente también en los diferentes soportes.

6.5.5 Variación de la concentración de Fe en *M. piperita* y *H. annuus*,

La mayor absorción de Fe considerando los tres soportes y los dos tipos de agua se lleva a cabo en la raíz concordando con lo que reporta *Lasat (2000)*, después en las hojas y mínima en los tallos

Cuando se utilizó arcilla como soporte y regando con agua potable, se observó una mayor concentración absorbida de hierro en raíz y tallo, sin embargo las hojas presentaron una mayor concentración cuando se uso tezontle rojo como soporte y ligeramente mayor con agua residual.

Esto podría ser debido a que la forma en que se encuentra el hierro, está más biodisponible que en el caso del tezontle rojo o negro. En este caso la mayor absorción se dio en raíz-tallo-hoja. Sin embargo también se puede observar que con respecto al tipo de agua y de acuerdo al análisis estadístico no se encontraron diferencias significativas, lo cual indicaría que son los soportes y no el tipo de agua el factor que influye en la absorción de hierro.

En la figura 37 para el caso del *H. annuus*, la mayor cantidad de Fe se encuentra en la flor y después en la raíz y la menor concentración se da en el tallo y hoja.

Analizando la concentración de hierro en las plantas con respecto a los diferentes soportes regadas con agua potable, se observa que la mayor concentración es en Tezontle rojo y la menor en arcilla. En tallo y hoja no hubo diferencia significativa.

Cuando fueron regadas con agua residual se observaron resultados parecidos, donde la mayor concentración en la flor se dió en el caso de las plantas crecidas en tezontle rojo como soporte. Para la raíz igualmente los valores mas altos se presentaron teniendo arcilla como soporte. Para el caso del tallo la mayor absorción se da cuando se usa tezontle rojo como soporte y entre los otros casos no hubo diferencias significativas.

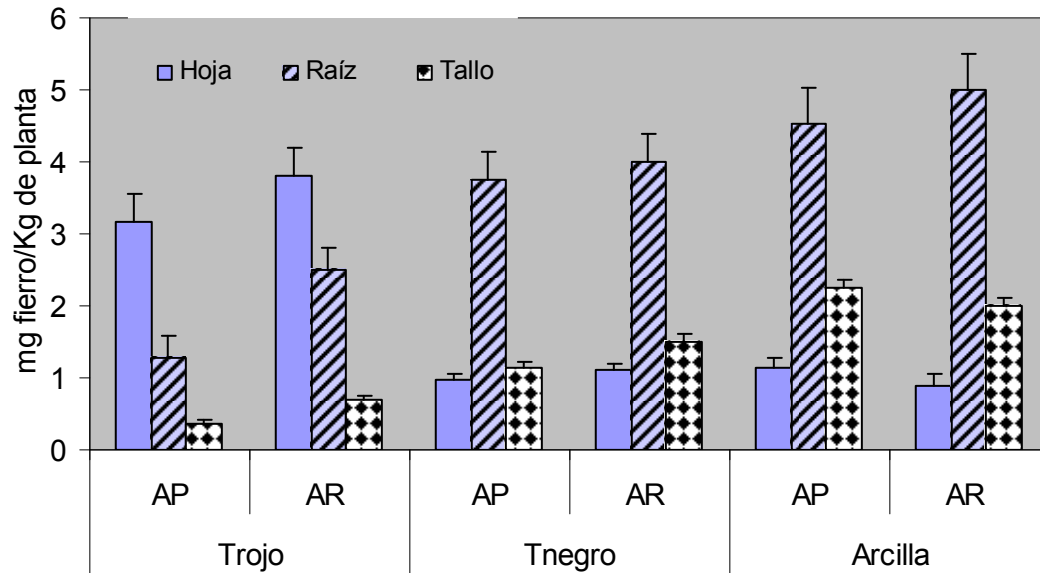


Figura 36. Concentración de Hierro (Fe) en hojas, raíz y tallo de plantas de *Mentha piperita* cultivadas en diferentes soportes (T. rojo, T. negro y arcilla) y regadas con agua potable (AP) y agua residual (AR).

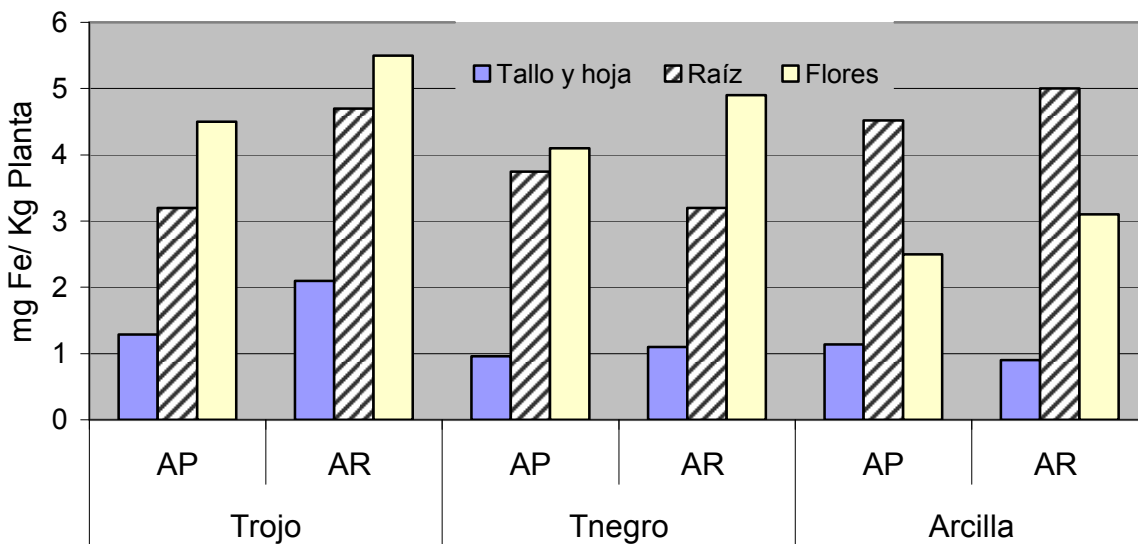
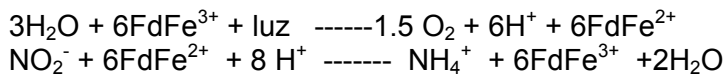


Figura 37. Concentración de Hierro (Fe) en hojas, raíz y tallo de plantas de *H. annuus* cultivadas en diferentes soportes (T. rojo, T. negro y arcilla) y regadas con agua potable (AP) y residual (AR).

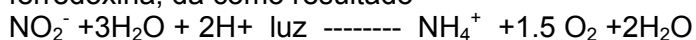
6.5.5.1 Variación del crecimiento de la *Mentha piperita* con respecto a la acumulación de Fe.

El crecimiento de la *Mentha piperita* se ve afectado por la acumulación de Fe, teniendo un mayor crecimiento a una concentración de 0.0076mg de Fe/Kg. de planta (Figura 38). Esto concuerda con lo que reporta *Salisbury (2000)* y que comenta que es necesaria la presencia de hierro para llevar a cabo una mejor absorción de nitrógeno por la planta.

Las reacciones reportadas son:



La reacción final que resulta del acoplamiento de estas dos reacciones, donde Fd es ferredoxina, da como resultado



Comparando los valores de la tabla 11 suponemos que en arcilla y tezontle rojo el hierro se encuentra en una forma más biodisponible para la planta, por lo que encuentra las concentraciones adecuadas para llevar a cabo la absorción y transformación de otros nutrientes como el nitrógeno.

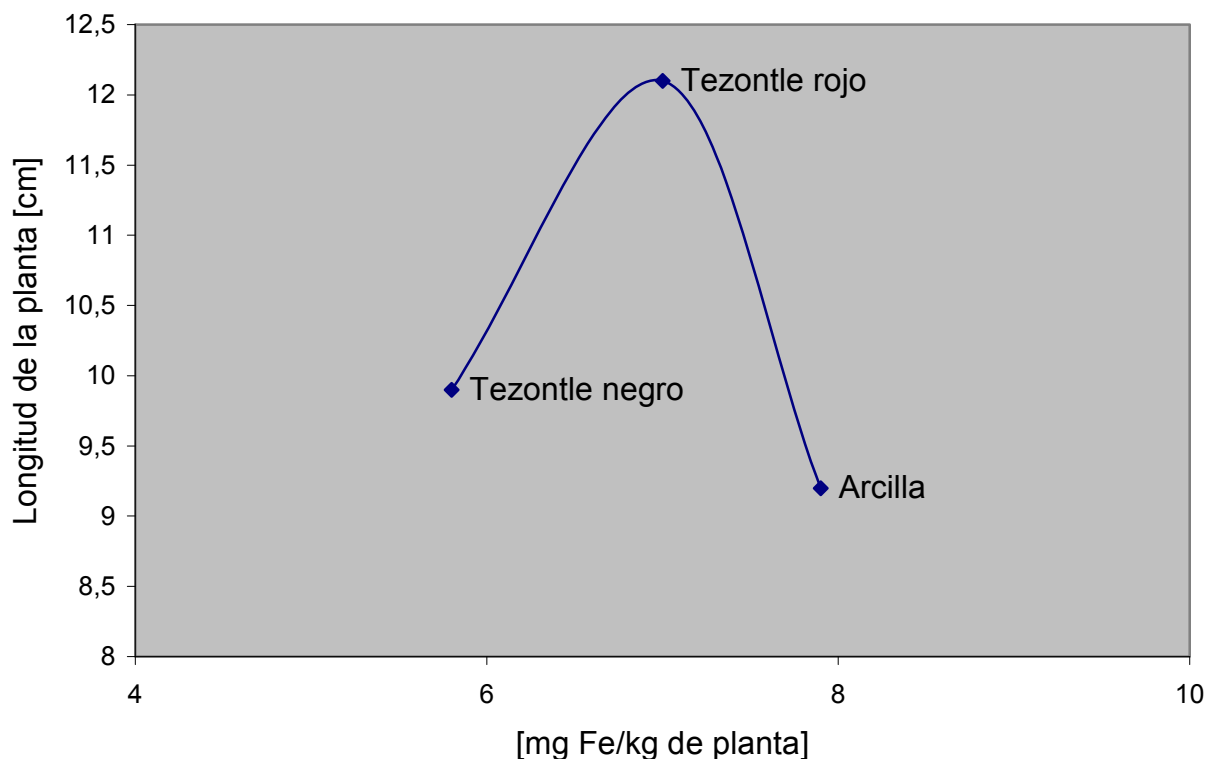


Figura 38.- Variación del crecimiento de la *M. piperita* con relación a la acumulación de Fe.

6.5.6 Determinación de Potasio.

La deficiencia de potasio (K) retarda el desarrollo y crecimiento de la planta. Esto es debido, en parte, a que la velocidad relativa de crecimiento esta relacionada con el transporte de K de la raíz al tallo y a las hojas. Lo anterior repercute en la presión de turgencia (que hincha alguna parte del cuerpo) y en la alteración de la importante función del K en la regulación de la apertura y cerrado de los estomas (abertura microscópica en la epidermis de las partes verdes de los vegetales superiores que permite el intercambio de gases y líquidos con el exterior)

Los resultados demuestran que las raíces de las plantas son las que más absorben potasio, sobre todo las que crecieron en Tezontle negro como soporte, en el caso de las que crecieron en tezontle rojo y arcilla no tuvieron diferencia significativa.

El mismo comportamiento se observa cuando las plantas fueron regadas con agua potable o con agua residual. Estos resultados probablemente se deban a que la planta únicamente toma la cantidad necesaria de nutrimento para realizar sus funciones fisiológicas, el resto lo puede almacenar, o ni siquiera absorber (Foth 1997). (Figuras 39 y 40)

Figura 38.- Variación del crecimiento de la *M. piperita* con relación a la acumulación de Fe.

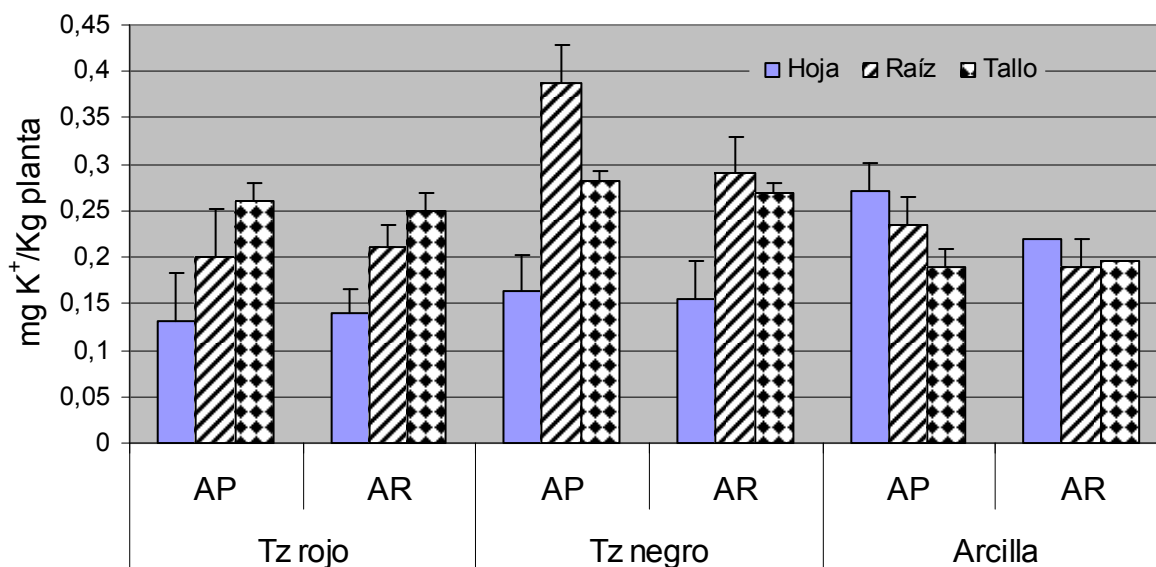


Figura 39. Concentración de potasio en diferentes partes de *Mentha piperita* y en tres diferentes soportes, regadas con agua residual (AR) y agua potable (AP).

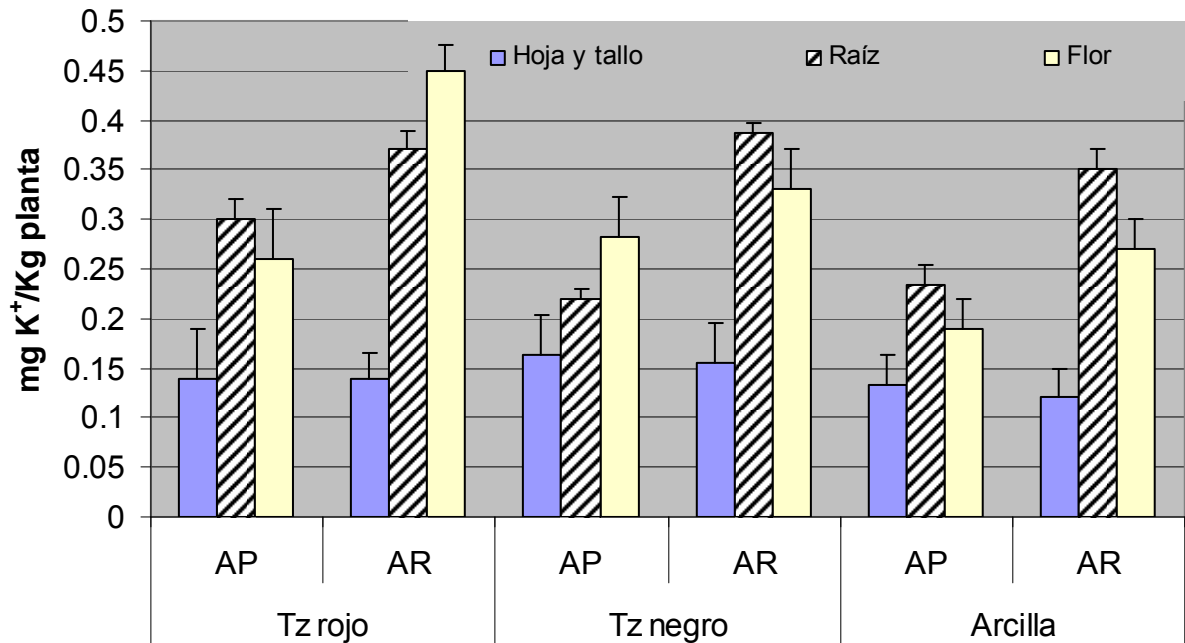


Figura 40. Concentración de potasio en diferentes partes de *Helianthus annuus* y en tres diferentes soportes y regadas con agua residual (AR) y agua potable (AP).

6.5.7 Determinación de cobre

No se detectó la presencia de cobre en las plantas de *M. piperita* ni *H. annuus*, debido a que la sensibilidad del equipo era de 1 ppm para cobre, por lo que si había concentraciones menores a este valor, no pudieron ser evaluadas.

CAPITULO 7

7.1 CONCLUSIONES

Se estableció un sistema hidropónico para el crecimiento de girasoles (*H. annuus*) y menta (*M. piperita*), con un sistema de recirculación con un flujo de 11.0 L/min de agua.

El proceso utilizado no fue 100% efectivo, la eliminación de compuestos de nitratos y fosfatos de las aguas residuales estudiadas fue parcial, alcanzando solo un 40% en la remoción de fosfatos y un 60% en la remoción de nitratos. En general la remoción de compuestos en función de la DQO, alcanzó un 50%, el valor manejado normalmente en empresas privadas de tratamiento de aguas residuales es de aproximadamente 80 %

Se obtuvo una remoción de potasio y magnesio de 45% y en otros metales como calcio no hubo remoción. Sin embargo en los procesos normales, no hay remoción de metales, por lo que se podría considerar la aplicación potencial de este proceso.

El tezontle rojo fue el soporte que alcanzó los mejores resultados, en cuanto a características físicas de las plantas.

La mayor acumulación de nitratos y fosfatos se dio en la flor del girasol y en el tallo de la menta. Por lo tanto se concluye que estas especies vegetales tienen potencial para eliminar este tipo de compuestos de las aguas residuales.

El fierro se acumuló más en las flores del girasol y en las hojas de la menta, cuando se utilizó tezontle rojo como soporte. La acumulación de fierro fue mayor en raíz para las dos plantas cuando se uso arcilla como soporte.

No se detectó cobre en las plantas, por lo que se supone que los compuestos de cobre presentes en las arcillas no son solubles en agua.

El potasio fue aportado exclusivamente por el agua residual y absorbido por las plantas, en girasol se acumuló más en flor y como soporte Tezontle rojo., en el caso de la menta la mayor concentración se presentó en raíz y tezontle negro como soporte.

7.2 Enfoque de trabajos futuros.

- a).- Con el propósito de disminuir los olores desagradables y la carga contaminante de patógenos en el agua residual se propone el uso de ozono y un biofiltro.
- b).- Optimizar la metodología empleada con la finalidad de obtener mas y mejores resultados que permitan ampliar su ámbito de aplicación.
- c).- En trabajos futuros se puede incluir un parámetro adicional, el contenido de clorofila "a" y clorofila "b" en las plantas desarrolladas para medir el grado de "estrés" y tomar acciones correctivas en el proceso.
- d).- Llevar a cabo una investigación bibliográfica de las especies de plantas nativas en las diferentes zonas geográficas de México, con el propósito de evaluar sus propiedades potenciales de remediación y aplicación en aguas y suelos contaminados.
- e).- Entre los objetivos no escritos en el presente trabajo esta el dar una aplicación comercial a las plantas desarrolladas en el proceso, como caso es del aceite de girasol y el aceite esencial de mentha.
- f).- Proponer proyectos interdisciplinarios en colaboración con la ESIA, UPIITA, ENCB y otras Universidades para complementar y difundir el presente trabajo.
- g). Los avances en biotecnología abren la posibilidad de investigar las plantas transgénicas como uso potencial en la fitorremediación.

CAPITULO 8 BIBLIOGRAFÍA

8.1 BIBLIOGRAFÍA.

Assunção, A.G.L., Da Costa Martins, P., De Folter, S., Vooijs, R., Schat, H. y Aarts, M.G.M. 2001. Elevated expression of metal transporter genes in three accessions of the metal hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Plant Cell Environ.* 24: 217-226.

Baker, A.J.M., McGrath, S.P., Reeves, R. y Smith, J.A.C. 2000. Metal Hyperaccumulator Plants: A Review of the Ecology and Physiology of a Biological Resource for Phytoremediation of Metal-Polluted Soils. En: *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*. (eds Terry, N. y Bañuelos, G.), pp. 85-107

Baker, A.J.M. 1981. Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. *J. Plant Nutrition* 3:643-654.

Baker, A.J.M., McGrath, S.P., Reeves, R.D. y Smith, J.A.C. 2000. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils. En: *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water* (eds. Terry, N. y Bañuelos, G.), pp. 85-107, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA.

Barceló, J., Poschenrieder, C., Lombini, A., Llugany, M., Bech, J. y Dinelli, E. 2001. Mediterranean plant species for phytoremediation. En: Abstracts Cost Action 837 WG2 workshop on Phytoremediation of Trace Elements in Contaminated Soils and Waters with Special Emphasis on Zn, Cd, Pb and As. Ed. Universidad Complutense Madrid, Faculty of Chemistry, Madrid pp.23 Disponible en: <http://lbewww.epfl.ch/COST837>.

Barceló, J. Poschenrieder, C. 2002. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminum toxicity and resistance: a review. *Environ. Exp. Bot.* 48: 75-92.

Barceló, J. y Poschenrieder, C. 2003. *Phytoremediation: principles and perspectives*. Contributions to Science 2(3): 333-344. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona.

Behemer, S.T., Lloyd, C.M., Raubenheimer, D., Stewart-Clark, J., Knight, J., Leighton, R.S., Harper, F.A. y Smith, J.A.C 2005. Metal hyperaccumulation in plants: mechanisms of defence against insect herbivores. *Functional Ecology* 19: 55-66.

Birley, N.H. y Lock, K. 1999. Health and peri-urban natural resource production. *Environment and Urbanization* 10(1): 89-106.

Chaney, R.L., Li, Y.M., Brown, S.L., Homer, F.A., Malik, M., Scott Angle, J., Baker, A.J.M., Reeves, R.D. y Mel Chin. 2000 Improving metal hyperaccumulator wild plants to develop commercial phytoextraction systems: approaches and progress. En:

Phytoremediation of Contaminated Soil and Water (eds. Terry, N. y Bañuelos, G.), pp. 129-158, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA.

Chaney, R.L., Reeves, P.G., Ryan, J.A., Simmons, R.W., Welch, R.M. y Scott Angle, J. 2004. An improved understanding of soil Cd risk to humans and low cost methods to phytoextract Cd from contaminated soils to prevent soil Cd risks. *BioMetals* 17: 549-553.

Chaney, R.L., Li, Y.-M., Brown, S.L., Homer, F.A., Malik, M., Angle, J.S., Baker, A.J.M., Reeves, R.D. y Chin, M. 2000. Improving metal hyperaccumulator wild plants to develop commercial phytoextraction systems: approaches and progress. En: *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*. (eds Terry, N. y Bañuelos, G.), Lewis Publishers, Boca Raton, Florida,

Chaney, R.L., Ginocchio, R., Jaffre, T., Johns, R., McIntyre, T., Purvis, O.W., Salt, D.E., Schat, H., Zhao, F.J. y Baker, A.J.M. 2004. Research priorities for conservation of metallophyte biodiversity and their potential for restoration and site remediation. *Rest. Ecol.* 12: 106-116.

Freitas H., Prasad, M.N.V. y Pratas, J. 2004. Heavy Metals in the Plant Community of Sao Domingo an Abandoned Mine in SE Portugal: possible applications in Mine Remediation. *Environmental International*, 30 (1):109-120

Krämer, U., Cotter-Howells, J.D., Charnock, J.M., Baker, A.J.M. y Smith, J.A.C. 1996. Free histidina as a metal chelator in plants that accumulate nickel. *Nature* 379: 635-638.

Lasat. M. M., Pence. N. S., Garvin. D. F. 2000. Molecular physiology of zinc transport in the Zn hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *J Exp Botany.*, pp. 71_79.

Lee, J., Reeves, R.D., Brooks, R.R., Jaffré, T. 2001. Isolation and identification of a citrate-complex of nickel from nickel- accumulating plants. *Phytochem.* 16: 1503-1505.

Macnair, M.R. 2003. The hyperaccumulation of metals by plants. *Advances in Botanical Research* 40: 63-105

Martínez, M., Bernal, P., Almela, C., Vélez, D., García-Agustín, P., Serrano, R. y Navarro-Aviñó, J. 2006. An engineered plant that accumulates higher levels of heavy metals than *Thlaspi caerulescens*, with yields of 100 times more biomass in mine soils. *Chemosphere* 64(3): 478-485.

McGrath, SP., Sidoli, C.M.D., Baker, A.J.M. y Reeves, R.D. 1993. *The potential for the use of metal-accumulating plants fo* Abou-Shanab, R.A., Angle, J.S. y Chaney, R.L. 2006. Bacterial inoculants affecting nickel uptake by *Alyssum murale* from low, moderate and high Ni soils. *Soil Biol. Biochem.* 38: 2882-2889.

Madrid. L., Barrientos. E.D. 2003. Distribution of heavy metal contents of urban soils in Parks of Seville. *Chemosphere*, 49, pp 1301-1308.

Meagher. R.B. 2000. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Current Opinion in Plant Biology*. pp 153-162.

McGrath, S.P., Shen, Z.G. y Zhao, F.J. 1993. Heavy metal uptake and chemical changes in the rhizosphere of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi ochroleucum* grown in contaminated soils. *Plant Soil*. 188: 153-159.

McGrath, S.P. y Zhao, F.J. 2003. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Current Opinion in Biotechnology*. 14: 277-282.

Peralta Videa. J.R., López, M., Narayan, M., Saupe, G., Gardea.T.J. 2009. The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants. Implications for the food chain. *The international journal of biochemistry & cell biology*. 41:1665-1677

Pilon-Smits, E. 2005. Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Biol.* 56: 15-39.

Pollard, A.J. y Baker, A.J.M. 1997. Deterrence of herbivory by zinc hyperaccumulation in *Thlaspi caerulescens* (Brassicaceae). *New Phytol.* 135: 655-658.

Poschenrieder, C., Tolrà, R. y Barceló, J. 2006. Can metals defend plants against biotic stress? *TRENDS in Plant Sci.* 11:

Salisbury, F.B. y Ross, C.W. 2000. Fisiología de las plantas. Bioquímica vegetal. Ed. Thomson Learning. pp 523.

Salt. D.E.R.C. Prince. A. J.M. Baker. I. Raskin. And I.J.Pickering.2006.Zinc ligands in the metal hyperaccumulator using X-ray absorption spectronic. *Environmental Science and Technology* 33: 713-717

Vassilev, A., Schwitzguébel, J.-P., Thewys, T., van der Lelie, P. y Vangronsveld, J. 2004. The Use of Plants for Remediation of Metal-Contaminated Soils. *The Scientific World Journal* 4: 9-34.

Whiting, S.N., De Souza, M.P. y Terry, N. 2001. Rhizosphere bacteria mobilize Zn for hyperaccumulation by *Thlaspi caerulescens*. *Environ. Sci. Technol.* 35: 3144-3150.

LIBROS:

- APHA

- Foth, H. 1997. Fundamentos de la ciencia del suelo., ed CECSA. México. pp. 424

NORMAS:

- Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1993, pp 5 tema4.2, tabla 2, Tabla 3.
- Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996,
- Norma Oficial Mexicana NOM-013-ECOL-1993, Tabla 2.
- Norma Oficial Mexicana NOM-071-ECOL-1994.
- PROY-NOM-004-ECOL-2001.
- Norma Mexicana NMX-AA-008-1980.
- Norma Mexicana NMX-AA-028-1981.
- Norma Mexicana NMX-AA-051-1982.

XI.1.-Referencias electrónicas.

<http://www.botanical-online.com/medicinalsmentapiperita.htm> (14-Enero-2008).

<http://www.miliarium.com/Proyectos/SuelosContaminados/DescontaminacionSuelos/TecnicasInSitu/TecnicasBiologicas/Fitorremediacion.asp> (02-Febrero-2008).

- Breve presentación sobre biorremediación, en castellano:
<http://universidaddesantiago.cl/ima/bioremed.htm>
- Aplicaciones de la biorremediación (caso del desastre del Prestige en la costa de Galicia) http://www.belt.es/noticias/2003/febrero/24_28/28/prestige.htm
- Biorremediación en Mendoza (Universidad de Cuyo)
<http://www.eco2site.com/informes/biorremediacion.asp>
- Documento de INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial y UBA):
<http://www.inti.gov.ar/cequipe/dicaria.pdf>
- Utilización de la biorremediación en minería.
http://www.yloenvias.com/usuarios/ecopest_sl/bsr.htm
- Microbiología y metales pesados. Revista Química viva. Vol. 2, número 3, 2003.
<http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar>

Fitorremediación. http://www.cam_mx.com; <http://www.sefv.org>; <http://www.ucm.es>;
<http://eclipse.red.cinvestav.mx>

CAPITULO 9

GLOSARIO Y ANEXOS

9.1 GLOSARIO DE TERMINOS

Adsorción: Adherencia física de las moléculas a la superficie de un sólido, sin que produzca una reacción química.

Agente Quelante: Compuestos químicos que tienen la propiedad de unirse a los iones para formar compuestos solubles.

Agua potable: La que se puede beber.

Agua residual: Las procedentes de desagües domésticos e industriales

Agua Residual Tratada: Líquido de composición variada proveniente del agua residual y resultante de un conjunto de operaciones y procesos de tratamiento, ya sea primario, secundario, o terciario. Reglamento del Servicio de Agua y Drenaje para el Distrito Federal

Arcilla: Es un auxiliar para la coagulación, que se utiliza principalmente para la eliminación del color.

Bacterias heterotróficas: Son organismos que no pueden sintetizar sus propios alimentos y tienen que obtener fuentes de energía de su entorno, en forma reducida, por ejemplo la glucosa. Son bacterias que se alimentan de otros.

Bacterias nitrificantes: Bacterias que intervienen en el ciclo del nitrógeno, transforman el amonio a nitratos.

Bacteria quimilíto tróficas: Bacterias capaces de romper enlaces químicos.

Bacterias saprofitas: Organismos que se alimentan de materia en descomposición.

Biodegradación: Proceso de descomposición de la materia por medios biológicos.

Biorremediación: Alternativa de saneamiento que se apoya en un proceso en el que microorganismos autóctonos o inoculados (ej. hongos, bacterias y otros microorganismos) degradan (ej. metabolizan) los contaminantes orgánicos encontrados en el suelo, agua subterráneas, en contaminantes menos perjudiciales como productos finales. En presencia de oxígeno suficiente (condiciones aeróbicas), los microorganismos convierten los contaminantes orgánicos a dióxido de carbono, agua y masa de células microbianas

Biotecnología: Toda aplicación tecnológica que utilice recursos biológicos organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o residuos LGEEPA

Biomasa: Cantidad de materia orgánica que forma parte de los organismos de un área dada. Masa total de los seres vivos.

Biosorción: Unión química, de tipo superficial, que se establece entre las partículas de un sólido o de un líquido pero con los átomos, iones o moléculas existentes en el medio.

Biosorbente: Compuesto de origen orgánico con capacidad de establecer uniones químicas lábiles.

Cadena alimenticia: Etapas de transferencia de energía entre los organismos que viven en un ambiente determinado.

Carcinoma bronquilogénico: Agente que puede producir cáncer en los bronquios.

Catalizadores: Compuestos o enzimas capaces de aumentar la velocidad de reacciones químicas específicas.

Coagulación: Consiste en la agregación de un agente para facilitar el asentimiento de las partículas en suspensión.

Coagulante: Producto químico agregado al agua para alterar el estado físico de los sólidos suspendidos y de los disueltos.

Coloide: Algunos tipos de materia pueden dispersarse en agua aun cuando no son realmente solubles. Esta dispersión se realiza mediante la ruptura del material en pedazos extremadamente pequeños, en el límite superior del rango de tamaño para los iones y moléculas. Las partículas de este tamaño se llaman coloides.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Es la cantidad de oxígeno requerida para llevar a cabo la oxidación biológica de la materia orgánica contenida en una muestra de agua bajo condiciones aerobias. La determinación de la DBO es esencialmente un procedimiento de bioensayo que involucra la medición del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos del agua (principalmente bacterias) para la oxidación y estabilización de la materia orgánica.

Desorción: Contrario a la biosorción. Final de la unión química lábil entre dos compuestos, átomos o iones.

Difusores: Son sistemas de aeración, los cuales están diseñados de tal manera que pueden producir burbujas pequeñas o relativamente grandes.

Dosificación: Cantidad de coagulante o en general reactivos que se agregan al agua para facilitar el asentamiento de partículas.

Efluente: Caudal de salida de un proceso o sistema de tratamiento.

Electro diálisis: Es un proceso que consiste en una serie de membranas hechas de resina de intercambio iónico, este método se utiliza para la eliminación de nutrientes inorgánicos (fósforo y nitrógeno) de las aguas residuales.

Enzimas: Proteínas que funcionan como catalizadores, producidas por células vivas.

Filtración: La filtración es un proceso empleado para la remoción de sólidos suspendidos como un Pretratamiento para aguas residuales con contenidos bajos de sólidos suspendidos, se usa después de la coagulación, o como un tratamiento terciario después de un tratamiento biológico.

Fitodegradación: Proceso por el cual las plantas acuáticas y terrestres captan almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos

Fitoestabilización: Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a napas subterráneas o al aire

Fitoestimulación: Proceso en el que se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos como bacterias y hongos

Fitoextracción: Proceso en el que se usan las plantas para concentrar metales en las partes cosechables principalmente en la parte aérea

Fitovolatilización .Las plantas captan y modifican metales pesados, los compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración

Fitorremediación: Método que se sirve de la vegetación y la microbiota asociada para el tratamiento in situ de los suelos, sedimentos y aguas contaminadas por contaminantes inorgánicos como metales y compuestos orgánicos como herbicidas, pesticidas e hidrocarburos

Flotación: Operación unitaria utilizada para separar sólidos de baja densidad o partículas líquidas.

Hidrofílico: Característica de algunas sustancias por su afinidad al agua.

Hidroponia: Cultivo de plantas en soluciones acuosas, por lo general con algún soporte de arena, grava, etc.

Higroscópico: Propiedad de algunos cuerpos de absorber y de exhalar humedad.

Influyente: Caudal de entrada a un proceso o sistema de tratamiento.

Inhibidores: sustancias y/o organismos que evitan o suspenden una actividad fisiológica.

Inyectores: Son sistemas de suministro de aire, los mas conocidos son inyectores de desplazamiento positivo, y los centrífugos.

Lipofílico: Afinidad por las sustancias orgánicas llamadas grasas (comúnmente insolubles en agua, solubles en benceno y/o éter), formadas por ácidos grasos unidos a otros cuerpos.

Macro nutrientes: En los procesos metabólicos de los organismos, los elementos más comunes que se requieren para la biosíntesis son: C, H, O, S Y P.

Materia inorgánica: Toda la materia que no tiene vida y que no proviene de los compuestos del carbono.

Materia orgánica: La materia orgánica es la parte constitutiva de los organismos acuáticos y de los alimentos que consumen.

Metal Pesado: Son metales que tienen pesos atómicos mas altos que los elementos esenciales.

Metano génesis: Síntesis del gas metano.

Microorganismos: Seres vivos, de tamaño microscópicos que habitan el agua, suelo y otros organismos.

Microorganismos aerobios: Son aquellos que necesitan aire para su sobrevivencia.

Nivel trófico: Posición en la cadena alimenticia, determinada por el número de etapas de transferencia de energía cumplidas a ese nivel.

Nutrientes: Una cantidad apropiada de ciertos nutrientes es requerida para las frases de síntesis y respiración en la degradación biológica aerobia de desechos, se incluyen: nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y vitaminas, además de otros elementos.

Osmosis inversa: Proceso mediante el cual el agua residual se pone en contacto con una membrana a una presión superior a la osmótica, el agua pasa a través de la membrana y los contaminantes disueltos se concentraran en el compartimiento donde se encontraba el agua residual.

Partículas Hidrófobas: Son partículas que tienen poca atracción hacia el agua.

Partículas hidrófilas: Son partículas que tienen una elevada atracción hacia el agua.

pH: El pH está definido como el potencial de hidrógeno, el cual se refiere a si una sustancia es ácida o básica. Sus valores están comprendidos entre 0 y 14, el valor neutro es el 7. La zona ácida está comprendida para valores menores de 7 y la zona básica para valores mayores de 7.

Precipitación Química: Consiste en la adición de productos químicos para alterar el estado físico de los sólidos suspendidos y de los disueltos, facilitando de esta manera su remoción por precipitación.

Proceso Aerobio: Es un proceso bioquímico o condición ambiental que sucede en presencia de oxígeno.

Proceso Anaerobio: Es un proceso químico o condición ambiental que sucede en ausencia de oxígeno.

Propiedades Etnobotánicas: Cualidades que poseen algunas plantas que poseen propiedades medicinales tales como antiséptico, antiparasitario, antifúngico, antiinflamatorio, cicatrizante, espasmolítico, antiparasitario, sudorífico, hipotensor.

Rizofiltración: Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados.

Sedimentación: Es un proceso por medio del cual se preparan sólidos en suspensión de las aguas residuales.

Sílice activada: Es un auxiliar para la coagulación, se usa para la eliminación de turbiedad, color y materia orgánica.

Simbiosis: Vida en común de dos organismos distintos, establecidos de manera regular y con beneficio mutuo de los participantes.

Toxico: Propiedad de las sustancias de ser venenosas.

Tratabilidad: Es un proceso por medio del cual se le da un cierto tratamiento al agua residual.

ANEXO 1

Fundamento para la determinación de sales de nitratos.

La valoración de nitratos en los suelos, suele realizarse mediante extracción con soluciones específicas y determinación calorimétrica del NO_3^- con ácido 2,4-fenildisulfónico.

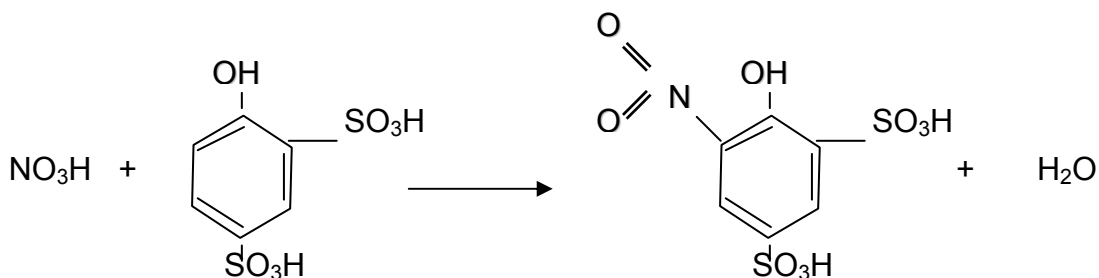
Las muestras de suelo se analizaron inmediatamente después de tomarse, para evitar variaciones en el contenido en NO_3^- o, si esto no es posible, deben añadirse 3ml de tolueno, por kilogramo de muestra, para evitar las actividades microbianas.

La solución extractora más frecuentemente utilizada contiene sulfato de cobre y sulfato de plata. El primero sirve para evitar las transformaciones biológicas del NO_3^- durante la extracción, y el sulfato de plata sirve para eliminar los iones Cl^- que interfieren en la determinación calorimétrica del NO_3^- .

Posteriormente se precipita el cobre y la plata por adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y MgCO_3 , los cuales sirven, además, para clarificar la suspensión antes de su filtración. Para la máxima sensibilidad y exactitud la medida se hace a una longitud de 540 nm.

Cuando la medida se hace usando una trayectoria de luz de 1cm, el método obedece la ley de Beer, al menos por encima de 20 μg de NO_3^- en 100 ml de solución (volumen recomendado para el análisis).

La valoración del NO_3^- en los extractos. Suele realizarse con ácido 2,4-fenol-fenoldisulfónico. La reacción que tiene lugar en medio ácido, es la siguiente: (Primo, 1973, NOM-021-RECNAT-2000, APHA-AWWA WPCF, 1971).



Material:

Un agitador mecánico, un baño de vapor, seis capsulas de porcelana de 8 cm. de diámetro, un colorímetro o espectrofotómetro (Spectronic Instruments, 333182), un frasco de 500 ml, seis matraces aforados de 100 ml, un matraz aforado de 250 ml, un matraz Erlenmeyer de 500 ml, una pipeta de 2 ml, una pipeta de de 5 ml, una pipeta de 10 ml, una pipeta de 15, 20 y 25 ml, seis varillas de vidrio, un aro metálico, con nuez de 4 cm. de diámetro; una probeta de 250 ml y un matraz aforado de 1litro.

Reactivos:

Ácido fenildisulfónico:

Disolver 25 g de fenol en 150 ml de Ácido Sulfúrico concentrado R.A; agitar bien y se calentar en baño maría durante dos horas.

Solución de Amonio 6 N:

Se toman 100 ml de amoniaco concentrado y diluir hasta 200 ml con agua destilada.

Solución patrón 10 ppm de Nitrógeno:

Se pesaron 0.7221 g de nitrato potásico, reactivo para análisis se disuelven en agua destilada y se diluye hasta un litro.

(Esta solución contiene 100 ppm de nitrógeno). Se toman 25 ml de esta solución y se diluyen, en un matraz aforado, hasta 250 ml con agua destilada.

Solución 12 N de KOH: Disolver PM de KOH multiplicado por 12, se disuelve en 1 L de agua.

Procedimiento:

1. *Pre-tratamiento de la muestra.*- Se analizaron extractos de suelo con K_2SO_4 0.5N.
- 2 *Evaporación.*- Se evapora a sequedad en baño maría o en un horno a 90 °C.
4. *Reacción y desarrollo de color*

Se mezcla el residuo perfectamente con 2.0 ml de ácido fenildisulfónico; se diluye con 200 ml de agua destilada; se agregan 7 ml de solución KOH 12 N ó hasta máximo desarrollo de color.

Filtrese o decántese para eliminar cualquier hidróxido floculento. Aforar a 50 ml. Leer a 410 nm.

La linealidad se observa hasta aproximadamente 50 microgramos totales; posteriormente se observa una curva donde la proporción del incremento en la absorbancia es cada vez menor (Primo, 1973, NOM-021-RECNAT-2000, APHA-AWWA WPCF, 1971).

Curva Tipo:

La linealidad se observa hasta aproximadamente 50 microgramos totales; posteriormente se observa la curva donde la proporción del incremento en la absorbancia es cada vez menor.

ANEXO 2

Contaminantes del agua potable

Contaminante	MNMC ¹ (mg/l) ⁴	NMC ² o TT ³ (mg/l) ⁴	Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC	Fuentes de contaminación comunes en agua potable
Químicos Inorgánicos				
Antimonio	0.006	0.006	Aumento de colesterol en sangre; descenso de azúcar en sangre (aumento de colesterolhemia; hipoglucemia).	Efluentes de refinерías de petróleo; retardadores de fuego; cerámicas; productos electrónicos; soldaduras.
Arsénico	Ninguno	0.05	Lesiones en la piel; trastornos circulatorios; alto riesgo de cáncer.	Erosión de depósitos naturales; agua de escorrentía de huertos; aguas con residuos de fabricación de vidrio y productos electrónicos.
Asbestos (fibras >10 micrómetros)	7 millones de fibras por litro (MFL)	7 MFL	Alto riesgo de desarrollar pólipos intestinales benignos.	Deterioro de cemento amiantado (fibrocemento) en cañerías principales de agua; erosión de depósitos naturales.
Bario	2	2	Aumento de presión arterial.	Aguas con residuos de perforaciones; efluentes de refinерías de metales; erosión de depósitos naturales.
Berilio	0.004	0.004	Lesiones intestinales.	Efluentes de refinерías de metales y fábricas que emplean carbón; efluentes de industrias eléctricas, aeroespaciales y de defensa.
Cadmio	0.005	0.005	Lesiones renales.	Corrosión de tubos galvanizados; erosión de depósitos naturales; efluentes de refinерías de metales; líquidos de escorrentía de baterías usadas y de pinturas.
Cromo (total)	0.1	0.1	Dermatitis alérgica.	Efluentes de fábricas de acero y papel; erosión de depósitos naturales.
Cobre	1.3	Nivel de acción=1.3; TT	Exposición a corto plazo: molestias gastrointestinales. Exposición a largo plazo: lesiones hepáticas o renales. Aquellos con enfermedad de Wilson deben consultar a su médico si la cantidad de cobre en el agua superara el nivel de acción.	Corrosión de cañerías en el hogar; erosión de depósitos naturales; percolado de conservantes de madera.
Cianuro (como cianuro libre)	0.2	0.2	Lesiones en sistema nervioso o problemas de tiroides	Efluentes de fábricas de acero y metales; efluentes de fábricas de plásticos y fertilizantes
Flúor	4.0	4.0	Enfermedades óseas (dolor y fragilidad ósea) Los niños podrían sufrir de dientes manchados	Aditivo para agua para tener dientes fuertes; erosión de depósitos naturales; efluentes de fábricas de fertilizantes y de aluminio.
Plomo	cero	Nivel de	Bebés y niños: retardo en	Corrosión de cañerías en el

Contaminante	MNMC ¹ (mg/l) ⁴	NMC ² o TT ³ (mg/l) ⁴	Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC	Fuentes de contaminación comunes en agua potable
		acción=0.015; TT	desarrollo físico o mental; los niños podrían sufrir leve déficit de atención y de capacidad de aprendizaje. Adultos: trastornos renales; hipertensión	hogar; erosión de depósitos naturales.
Mercurio (Inorgánico)	0.002	0.002	Lesiones renales	Erosión de depósitos naturales; efluentes de refineries y fábricas; lixiviados de vertederos y tierras de cultivo.
Nitrato (medido como nitrógeno)	10	10	Los bebés de menos de seis meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitratos que el NMC, podrían enfermarse gravemente; si no se los tratara, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul).	Aguas contaminadas por el uso de fertilizantes; percolado de tanques sépticos y de redes de alcantarillado; erosión de depósitos naturales.
Nitrito (medido como nitrógeno)	1	1	Los bebés de menos de seis meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitritos que el NMC, podrían enfermarse gravemente; si no se los tratara, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul).	Aguas contaminadas por el uso de fertilizantes; percolado de tanques sépticos y de redes de alcantarillado; erosión de depósitos naturales.
Selenio	0.05	0.05	Caída del cabello o de las uñas; adormecimiento de dedos de manos y pies; problemas circulatorios.	Efluentes de refineries de petróleo; erosión de depósitos naturales; efluentes de minas.
Talio	0.0005	0.002	Caída del cabello; alteración de la sangre; trastornos renales, intestinales o hepáticos.	Percolado de plantas procesadoras de minerales; efluentes de fábricas de vidrio, productos
Químicos Orgánicos				
Acilamida	cero	TT ⁷	Trastornos sanguíneos o del sistema nervioso; alto riesgo de cáncer.	Se agrega al agua durante el tratamiento de efluentes y de agua de alcantarillado.
Alaclor	cero	0.002	Trastornos oculares, hepáticos, renales o esplénicos; anemia; alto riesgo de cáncer.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas para cultivos.
Atrazina	0.003	0.003	Trastornos cardiovasculares o del sistema reproductor.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas para cultivos.
Benceno	cero	0.005	Anemia; trombocitopenia; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas; percolado de tanques de almacenamiento de combustible y de vertederos para residuos.
Benzo(a)pireno	cero	0.0002	Dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer.	Percolado de revestimiento de tanques de almacenamiento de agua y líneas de distribución.
Carbofurano	0.04	0.04	Trastornos sanguíneos, del sistema nervioso o del sistema	Percolado de productos fumigados en cultivos de arroz y

Contaminante	MMMC ¹ (mg/l) ⁴	NMC ² o TT ³ (mg/l) ⁴	Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC	Fuentes de contaminación comunes en agua potable
			reproductor.	alfalfa.
Tetracloruro de carbono	cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas químicas y de otras actividades industriales.
Clordano	cero	0.002	Trastornos hepáticos o del sistema nervioso; alto riesgo de cáncer.	Residuos de termiticidas prohibidos.
Clorobenceno	0.1	0.1	Trastornos hepáticos o renales.	Efluentes de plantas químicas y de plantas de fabricación de agroquímicos.
2,4-D	0.07	0.07	Trastornos renales, hepáticos o de la glándula adrenal.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas para cultivos.
Dalapon	0.2	0.2	Pequeños cambios renales.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas utilizados en servidumbres de paso.
1,2-Dibromo-3-cloropropano (DBCP)	cero	0.0002	Dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer.	Aguas contaminadas/percolado de productos fumigados en huertos y en campos de cultivo de soja, algodón y piña (ananá).
o-Diclorobenceno	0.6	0.6	Trastornos hepáticos, renales o circulatorios.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
p-Diclorobenceno	0.075	0.075	Anemia; lesiones hepáticas, renales o esplénicas; alteración de la sangre.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
1,2-Dicloroetano	cero	0.005	Alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
1-1-Dicloroetileno	0.007	0.007	Trastornos hepáticos.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
cis-1, 2-Dicloroetileno	0.07	0.07	Trastornos hepáticos.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
trans-1,2-Dicloroetileno	0.1	0.1	Trastornos hepáticos.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
Diclorometano	cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas químicas y farmacéuticas.
1-2-Dicloropropano	cero	0.005	Alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
Adipato de di-(2-etilhexilo)	0.4	0.4	Efectos tóxicos generales o dificultades para la reproducción	Efluentes de plantas químicas.
Ftalato de di-(2-etilhexilo)	cero	0.006	Dificultades para la reproducción; trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer	Efluentes de plantas químicas y de fabricación de goma.
Dinoseb	0.007	0.007	Dificultades para la reproducción	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas utilizados en soja y vegetales.
Dioxina (2,3,7,8-TCDD)	cero	0.00000003	Dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer	
Diquat	0.02	0.02	Cataratas	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.

Contaminante	MNMC ¹ (mg/l) ⁴	NMC ² o TT ³ (mg/l) ⁴	Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC	Fuentes de contaminación comunes en agua potable
Endotal	0.1	0.1	Trastornos estomacales e intestinales.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Endrina	0.002	0.002	Trastornos hepáticos.	Residuo de insecticidas prohibidos.
Epiclorohidrina	cero	TT	Alto riesgo de cáncer y a largo plazo, trastornos estomacales.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial; impurezas de algunos productos químicos usados en el tratamiento de aguas.
Etilbenceno	0.7	0.7	Trastornos hepáticos o renales.	Efluentes de refineries de petróleo.
Dibromuro de etileno	cero	0.00005	Trastornos hepáticos, estomacales, renales o del sistema reproductor; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de refineries de petróleo.
Glifosato	0.7	0.7	Trastornos renales; dificultades para la reproducción.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Heptacloro	cero	0.0004	Lesiones hepáticas; alto riesgo de cáncer	Residuos de termiticidas prohibidos.
Heptaclorepóxido	cero	0.0002	Lesiones hepáticas; alto riesgo de cáncer	Descomposición de heptacloro.
Hexaclorobenceno	cero	0.001	Trastornos hepáticos o renales; dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de refineries de metales y plantas de agroquímicos.
Hexacloro-ciclopentadieno	0.05	0.05	Trastornos renales o estomacales.	Efluentes de plantas químicas.
Lindano	0.0002	0.0002	Trastornos hepáticos o renales.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en ganado, madera, jardines.
Metoxicloro	0.04	0.04	Dificultades para la reproducción.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en frutas, vegetales, alfalfa, ganado.
Oxamil (Vidato)	0.2	0.2	Efectos leves sobre el sistema nervioso.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en manzanas, papas y tomates.
Bifenilos policlorados (PCB)	cero	0.0005	Cambios en la piel; problemas de la glándula tímica; inmunodeficiencia; dificultades para la reproducción o problemas en el sistema nervioso; alto riesgo de cáncer.	Agua de escorrentía de vertederos; aguas con residuos químicos.
Pentaclorofenol	cero	0.001	Trastornos hepáticos o renales; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas de conservantes para madera.
Picloram	0.5	0.5	Trastornos hepáticos.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Simazina	0.004	0.004	Problemas sanguíneos.	Aguas contaminadas por la aplicación de herbicidas.
Estireno	0.1	0.1	Trastornos hepáticos, renales o circulatorios.	Efluentes de fábricas de goma y plástico; lixiviados de vertederos.
Tetracloroetileno	cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de fábricas y empresas de limpieza en seco.
Tolueno	1	1	Trastornos renales, hepáticos o del sistema nervioso.	Efluentes de refineries de petróleo.

Contaminante	MNMC ¹ (mg/l) ⁴	NMC ² o TT ³ (mg/l) ⁴	Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC	Fuentes de contaminación comunes en agua potable
Trihalometanos totales (TTHM)	ninguno ⁵	0.10	Trastornos renales, hepáticos o del sistema nervioso central; alto riesgo de cáncer.	Subproducto de la desinfección de agua potable.
Toxafeno	cero	0.003	Problemas renales, hepáticos o de tiroides; alto riesgo de cáncer.	Aguas contaminadas/percolado de insecticidas usados en algodón y ganado.
2,4,5-TP (Silvex)	0.05	0.05	Trastornos hepáticos.	Residuos de herbicidas prohibidos.
1,2,4-Triclorobenceno	0.07	0.07	Cambios en glándulas adrenales.	Efluentes de fábricas de textiles.
1,1,1-Tricloroetano	0.20	0.2	Problemas circulatorios, hepáticos o del sistema nervioso.	Efluentes de plantas para desgrasar metales y de otros tipos de plantas.
1,1,2-Tricloroetano	3	5	Problemas hepáticos, renales o del sistema inmunológico.	Efluentes de fábricas de productos químicos de uso industrial.
Tricloroetileno	cero	5	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.	Efluentes de plantas para desgrasar metales y de otros tipos de plantas.
Cloruro de vinilo	cero	2	Alto riesgo de cáncer.	Percolado de tuberías de PVC; efluentes de fábricas de plásticos.
Xilenos (total)	10	10	Lesiones del sistema nervioso.	Efluentes de refinерías de petróleo; efluentes de plantas químicas.
Radionucleidos				
Emisores de partículas beta y de fotones.	ninguno ⁵	4 milirems por año (mrem/año)	Alto riesgo de cáncer.	Desintegración radiactiva de depósitos naturales y artificiales de ciertos minerales que son radiactivos y pueden emitir radiación conocida como fotones y radiación beta.
Actividad bruta de partículas alfa	Ninguno	15 picocuries por litro (pCi/l)	Alto riesgo de cáncer.	Erosión de depósitos naturales de ciertos minerales que son radiactivos y pueden emitir radiación conocida como radiación alfa.
Radio 226 y Radio 228 (combinados)	Ninguno	5 pCi/l	Alto riesgo de cáncer.	Erosión de depósitos naturales.
Microorganismos				
<i>Giardia lamblia</i>	Cero	TT	Trastornos gastrointestinales (diarrea, vómitos, retortijones).	Desechos fecales humanos y de animales.
Conteo de placas de bacterias heterotróficas (HPC)	N/A	TT	El HPC no tiene efecto sobre la salud; es sólo un método analítico usado para medir la variedad de bacterias comúnmente encontradas en el agua. Cuanto menor sea la concentración de bacterias en el agua potable, mejor mantenido estará el sistema.	Con el HPC se determinan las diversas bacterias que hay en forma natural en el medio ambiente.

Contaminante	MNMC ¹ (mg/l) ⁴	NMC ² o TT ³ (mg/l) ⁴	Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC	Fuentes de contaminación comunes en agua potable
<i>Legionella</i>	Cero	TT	Enfermedad de los legionarios, un tipo de neumonía ⁵ .	Presente naturalmente en el agua; se multiplica en los sistemas de calefacción.
Coliformes totales (incluye coliformes fecales y <i>E. coli</i>)	Cero	5.0%	Por sí mismos, los coliformes no constituyen una amenaza para la salud; su determinación se usa para indicar si pudiera haber presentes otras bacterias posiblemente nocivas ⁶ .	Los coliformes se presentan naturalmente en el medio ambiente; los coliformes fecales y la <i>E. coli</i> provienen de heces fecales de humanos y de animales.
Turbidez	N/A	TT	La turbidez es una medida del enturbiamiento del agua. Se utiliza para indicar la calidad del agua y la eficacia de la filtración (por ejemplo, para determinar si hay presentes organismos que provocan enfermedades). Una alta turbidez suele asociarse a altos niveles de microorganismos causantes de enfermedades, como por ejemplo, virus, parásitos y algunas bacterias. Estos organismos pueden provocar síntomas tales como náuseas, retortijones, diarrea y dolores de cabeza asociadas.	Agua de escorrentía por el terreno.
Virus (entéricos)	Cero	TT	Trastornos gastrointestinales (diarrea, vómitos, retortijones).	Heces fecales de humanos y de animales.

FUENTE: EPA

Notas

1. Meta del Nivel Máximo del Contaminante (MNMC) Es el nivel de un contaminante en el agua potable por debajo del cual no se conocen o no se esperan riesgos para la salud. Los MNMC permiten contar con un margen de seguridad y no son objetivos de salud pública obligatorios.
2. Nivel Máximo del Contaminante (NMC) - Es el máximo nivel permitido de un contaminante en agua potable. Los NMC se establecen tan próximos a los MNMC como sea posible, usando para ello la mejor tecnología de tratamiento disponible y teniendo en cuenta también los costos. Los NMC son normas obligatorias.
3. Técnica de Tratamiento (TT) Proceso obligatorio, cuya finalidad es reducir el nivel de un contaminante dado en el agua potable.
4. Las unidades se expresan en miligramos por litro (mg/l) a menos que se indique otra cosa.
5. La Enfermedad de los Legionarios se produce cuando las personas susceptibles inhalan un aerosol que contiene *Legionella*, no cuando se bebe agua que contiene *Legionella*. (Las duchas, grifos de agua caliente, jacuzzis y equipos de enfriamiento, tales como torres de enfriamiento y acondicionadores de aire, producen aerosoles). Algunos tipos de *Legionella* pueden provocar un tipo de neumonía llamada Enfermedad de los Legionarios. La *Legionella* también puede provocar una enfermedad mucho menos grave llamada fiebre Pontiac. Los síntomas la fiebre Pontiac pueden incluir: dolores musculares, cefaleas, tos, náuseas, mareos y otros síntomas.
6. Coliformes fecales y *E. coli* son bacterias cuya presencia indica que el agua podría estar contaminada con heces fecales humanas o de animales. Los microbios que provocan enfermedades (patógenos) y que están presentes en las heces, causan diarrea, retortijones, náuseas, cefaleas u otros síntomas. Estos patógenos podrían representar un riesgo de salud muy importante para bebés, niños pequeños y personas con sistemas inmunológicos gravemente comprometidos.

ANEXO 3

Curvas patrón de potasio, cobre y fósforo

Preparación de la curva de calibrado para potasio, se procede como se indica en la

Curva tipo de potasio.

Número de los tubos.	T	I	II	III	IV	V
Solución patrón de potasio de 2 g/l (mL).	0	1	10	25	50	100
Agua bidestilada. (mL)	100	100	100	100	100	100
Ácido Nítrico (mL)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Correspondencia en mg de potasio.	0	0.02	0.2	0.5	1	2

Longitud de onda máxima = 776.5 nm.

Los resultados se expresan en miligramos de potasio por litro de agua.

Determinación de *cobre*.

El cobre complejado por el amonio pirrolidino ditiocarbamato se extrae a pH 3.5 por la metilisobutilcetona y después se determina por espectrometría de absorción atómica directamente de la solución obtenida.

Preparación de la curva de calibrado de cobre.

En una serie de matraces aforados de 500 mL, preparar las disoluciones como se indica en la siguiente tabla

Curva de calibrado de cobre Abs. Atómica.

Número de los matraces.	T	I	II	III	IV	V
Sol. Patrón de 0.1mg/L de cobre(mL)	0	5	25	50	100	200
Ácido nítrico (mL)	1	1	1	1	1	1
Agua bidestilada (mL)	500	500	500	500	500	500
Correspondencia en µg/L de cobre	0	1	5	10	20	40

Los resultados se expresan en µg de cobre por litro.

Determinación de *Fierro*.

El hierro complejado con el amonio se extrae a pH 3.5 por la metilisobutilcetona y después se determina por espectrometría de absorción atómica directamente de la solución obtenida
Preparación de la curva de calibración de fierro, se procede a la preparación tal como se indica en la tabla 4.

En una serie de matraces aforados de 500 mL, preparar las disoluciones siguientes.

Curva de calibración de hierro.

Número de los matraces.	T	I	II	III	IV	V
Sol. Patrón de hierro de 0.4 mg/L (mL)	0	5	25	50	100	200
Ácido nítrico (mL)	1	1	1	1	1	1
Agua bidestilada (mL)	500	500	500	500	500	500
Correspondencia en $\mu\text{g/L}$ de hierro	0	4	20	40	80	160

Expresión de los resultados: Los resultados se expresan en μg de hierro por litro.

ANEXO 4

TIPOS DE CONTAMINACION

La Contaminación Atmosférica

Es el resultado de vertidos en la atmósfera de desechos y sustancias tóxicas; a ello hay que añadir otros efectos perjudiciales como ruidos, olores, luces deslumbrantes, etc.

La contaminación con gases y los ruidos están estrechamente asociados a la circulación automovil y a la circulación aérea. Dejando aparte la naturaleza, con las emanaciones volcánicas, la radiactividad natural y el polvo de los desiertos. La contaminación es obra fundamentalmente del hombre (combustiones industriales y domésticas, circulación, tratamientos agrícolas, actividades nucleares). La contaminación atmosférica modifica el medio. La polución urbana e industrial.

También puede influir en las temperaturas y en las precipitaciones. La combustión de carbón, petróleo y gasolina es el origen de buena parte de los contaminantes atmosféricos. Más de un 80% del dióxido de azufre, un 50% de los óxidos de nitrógeno, y de un 30 a un 40% de las partículas en suspensión emitidos a la atmósfera en Estados Unidos proceden de las centrales eléctricas que queman combustibles fósiles, las calderas industriales y las calefacciones.

Un 80% del monóxido de carbono y un 40% de los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos emitidos proceden de la combustión de la gasolina y el gasóleo en los motores de los coches y camiones. Otras importantes fuentes de contaminación son la siderurgia y las acerías, las fundiciones de cinc, plomo y cobre, las incineradoras municipales, las refinerías de petróleo, las fábricas de cemento y las fábricas de ácido nítrico y sulfúrico. Las altas chimeneas de las industrias no reducen la cantidad de contaminantes, simplemente los emiten a mayor altura, estos contaminantes pueden ser transportados a gran distancia y producir sus efectos adversos en áreas muy alejadas del lugar donde tuvo lugar la emisión. Actualmente podemos cifrar las fuentes de contaminantes generados por la actividad humana en tres grandes grupos:

Actividades industriales: generan, principalmente, óxidos de azufre, de nitrógeno, y en menor medida, plomo metálico.

Actividades domésticas: producen, principalmente, óxidos de azufre y, en menor medida, de nitrógeno

Transporte: vierte a la atmósfera, principalmente, óxidos de nitrógeno y plomo, y, en menor proporción, óxidos de azufre.

Además de la contaminación de la atmósfera, también esta la contaminación del suelo (producida por el uso abusivo de los biocida y fertilizantes, el vertido de desechos urbanos e industriales, el enterramiento de residuos radioactivos y le deposito de contaminantes atmosféricos) y la contaminación del agua divide en 2 clases:

Contaminación de aguas continentales: contaminación térmica

Contaminación de agua del mar

También existen varias clases de problemas medioambientales como: la destrucción de la capa de ozono, el calentamiento global del planeta Tierra, la lluvia ácida, etc.

Dióxido de Carbono

Uno de los impactos que el uso de combustibles fósiles ha producido sobre el medio ambiente terrestre ha sido el aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera. La cantidad de CO₂ atmosférico había permanecido estable, aparentemente durante siglos, en unas 260 ppm (partes por millón), pero en los últimos 100 años ha ascendido a 350 ppm.

Lo significativo de este cambio es que puede provocar un aumento de la temperatura de la Tierra a través del proceso conocido como efecto invernadero. El dióxido de carbono atmosférico tiende a impedir que la radiación de onda larga escape al espacio exterior; dado que se produce más calor y puede escapar menos, la temperatura global de la Tierra aumenta.

Un calentamiento global significativo de la atmósfera tendría graves efectos sobre el medio ambiente. Aceleraría la fusión de los casquetes polares, haría subir el nivel de los mares, cambiaría el clima regional y globalmente, alteraría la vegetación natural y afectaría a las cosechas. Estos cambios, a su vez, tendrían un enorme impacto sobre la civilización humana.

Desde 1850 se ha producido un aumento medio en la temperatura global de cerca de 1 ° C. Algunos científicos han predicho que el aumento de la concentración en la atmósfera de CO₂ y otros gases invernadero provocará que las temperaturas continúen subiendo. Las estimaciones van de 2 a 6 ° C para mediados del siglo XXI. No obstante, otros científicos que investigan los efectos y tendencias del clima rechazan las teorías del calentamiento global, atribuyendo la última subida de la temperatura a fluctuaciones normales.

Hidrocarburos Clorados

El uso extensivo de pesticidas sintéticos derivados de los hidrocarburos clorados en el control de plagas ha tenido efectos colaterales desastrosos para el medio ambiente. Estos pesticidas organoclorados son muy persistentes y resistentes a la degradación biológica. Muy poco solubles en agua, se adhieren a los tejidos de las plantas y se acumulan en los suelos, el sustrato del fondo de las corrientes de agua y los estanques, y la atmósfera. Una vez volatilizados, los pesticidas se distribuyen por todo el mundo, contaminando áreas silvestres a gran distancia de las regiones agrícolas, e incluso en las zonas ártica y antártica.

Aunque estos productos químicos sintéticos no existen en la naturaleza, penetran en la cadena alimentaría. Los pesticidas son ingeridos por los herbívoros o penetran directamente a través de la piel de organismos acuáticos como los peces y diversos invertebrados. El pesticida se concentra aún más al pasar de los herbívoros a los carnívoros. Alcanza elevadas concentraciones en los tejidos de los animales que ocupan los eslabones más altos de la cadena alimentaría, como el halcón peregrino, el águila calva y el quebrantahuesos.

Los hidrocarburos clorados interfieren en el metabolismo del calcio de las aves, produciendo un adelgazamiento de las cáscaras de los huevos y el consiguiente fracaso reproductivo. Como resultado de ello, algunas grandes aves depredadoras y piscívoras se encuentran al borde de la extinción.

Debido al peligro que los pesticidas representan para la fauna silvestre y para el hombre, y debido también a que los insectos han desarrollado resistencia a ellos, el uso de hidrocarburos halogenados como el DDT está disminuyendo con rapidez en todo el mundo occidental, aunque siguen usándose en grandes cantidades en los países en vías de desarrollo. A comienzos de la década de 1980, el EDB o dibromoetano, un pesticida halogenado, despertó también gran alarma por su naturaleza en potencia carcinógena, y fue finalmente prohibido.

Existe otro grupo de compuestos íntimamente vinculado al DDT: los bifenilos policlorados (PCB). Se han utilizado durante años en la producción industrial, y han acabado penetrando en el medio ambiente. Su impacto sobre el hombre y la vida silvestre ha sido similar al de los pesticidas. Debido a su extremada toxicidad, el uso de PCB ha quedado restringido a los aislantes de los transformadores y condensadores eléctricos.

El PCDD es el más tóxico de otro grupo relacionado de compuestos altamente tóxicos, las dioxinas o dibenzo-para-dioxinas. El grado de toxicidad para el hombre de estos compuestos carcinógenos no ha sido aún comprobado. El PCDD puede encontrarse en forma de impureza en conservantes para la madera y el papel y en herbicidas.

Radiación nuclear

Aunque las pruebas nucleares atmosféricas han sido prohibidas por la mayoría de los países, lo que ha supuesto la eliminación de una importante fuente de lluvia radiactiva, la radiación nuclear sigue siendo un problema medioambiental. Las centrales siempre liberan pequeñas cantidades de residuos nucleares en el agua y la atmósfera, pero el principal peligro es la posibilidad de que se produzcan accidentes nucleares, que liberan enormes cantidades de radiación al medio ambiente, como ocurrió en Chernobil, Ucrania, en 1986.

De hecho, desde la desintegración de la Unión Soviética (URSS), el mundo ha tenido ocasión de comprobar que la contaminación de esa región por accidentes y residuos nucleares es mucho mayor de lo que se pensaba. Un problema más grave al que se enfrenta la industria nuclear es el almacenamiento de los residuos nucleares, que conservan su carácter tóxico de 700 a 1 millón de años. La seguridad de un almacenamiento durante periodos geológicos de tiempo es, al menos, problemática; entre tanto, los residuos radiactivos se acumulan, amenazando la integridad del medio ambiente.

Contaminación por petróleo crudo

Contaminación de cualquier hábitat por cualquier hidrocarburo líquido. Se trata de una de las formas más graves de contaminación del agua, y el término se emplea sobre todo en relación con el vertido de petróleo al medio ambiente marino; en este caso, la masa que se produce tras el vertido y que flota en el mar se conoce con el nombre de marea negra.

Los naufragios más famosos de grandes petroleros han sido los del Torrey Canyon, que vertió 860.000 barriles (107.000 toneladas) de petróleo frente a las costas de Cornwall, Inglaterra, en 1967, y el del Exxon Valdez, que vertió unos 240.000 barriles (30.000 toneladas) en el Prince William Sound, Alaska, en marzo de 1989. El mayor vertido totalizó unos 2.160.000 barriles, y se debió a la colisión de dos petroleros, el Aegean Captain y el Atlantic Empress, cerca de Trinidad y Tobago en 1979.

En enero de 1997 un petrolero ruso causó el mayor vertido en Japón en más de 20 años, y derramó unos 5 millones de litros de denso combustible en el mar de Japón. Cientos de kilómetros de la costa occidental japonesa se cubrieron de amplias manchas muy densas, causando graves daños en la industria pesquera, playas, reservas naturales y reactores nucleares. No obstante, sólo un 10% del petróleo que va a parar al mar procede de accidentes marinos.

Las descargas operativas se deben al lavado de los depósitos en el mar y al vertido de lastre en forma de agua contaminada antes de la carga. Estas operaciones son las responsables de la contaminación crónica de las playas públicas con depósitos similares a la brea.

Este tipo de contaminación ha disminuido significativamente desde mediados de la década de 1970 gracias a la Organización Intergubernamental de Consulta Marítima y a los requerimientos de la Convención internacional para la prevención de la contaminación por parte de los buques (MARPOL 73/78). Las mejoras introducidas incluyen el sistema de cargar encima, que elimina la necesidad de efectuar descargas contaminantes, la creación de instalaciones portuarias para la recepción y tratamiento del agua del lastre y otros efluentes, la instalación de separadores petróleo/agua y de equipos de monitorización del contenido en petróleo del agua en los barcos, y el requisito de incorporar tanques de lastre separados en los nuevos petroleros.

El petróleo vertido en el medio ambiente marino se degrada por procesos físicos, químicos y biológicos. Al principio, un vertido de petróleo se extiende con rapidez sobre la superficie del mar, y se divide en una serie de hileras paralelas a la dirección del viento dominante.

La evaporación se produce rápidamente: los compuestos volátiles se evaporan en unas 24 horas. Las manchas de petróleo ligero pueden perder hasta un 50% en cuestión de horas. Las fracciones remanentes del petróleo, más pesadas, se dispersan en el agua en forma de pequeñas gotas, que terminan siendo descompuestas por bacterias y otros microorganismos.

En algunos casos se forma una emulsión de agua en petróleo, dando lugar a la llamada mousse de chocolate en la superficie.

La velocidad a la que se producen los procesos mencionados arriba dependerá del clima, el estado del mar y el tipo de petróleo. Así, cuando el petrolero Braer naufragó en la costa de las Shetland en enero de 1993, liberando 680.000 barriles (85.000 toneladas) de petróleo, los daños quedaron restringidos a las piscifactorías locales y a las poblaciones de aves marinas debido a que el mar estaba muy agitado, el viento era favorable y el petróleo era relativamente ligero.

En el mar, la contaminación por crudo es sobre todo dañina para los animales de superficie, en especial para las aves marinas, pero también para los mamíferos y reptiles acuáticos. El petróleo daña el plumaje de las aves marinas, que también pueden ingerirlo al intentar limpiarse. En la costa hay ciertos hábitats especialmente vulnerables y sensibles a este tipo de contaminación. Estos incluyen los corales, las marismas y los manglares.

La contaminación por crudo también puede ser muy dañina para piscifactorías costeras (en particular para las jaulas de salmones y las bandejas de ostras) y para los centros recreativos, como las playas y los centros de deporte acuáticos.

En el pasado, las manchas de petróleo se fumigaban con dispersantes. No obstante, la experiencia demuestra que los propios dispersantes, o las emulsiones que forman, pueden ser más tóxicos que el propio petróleo.

La filosofía actual es contener el petróleo con barreras flotantes y recuperarlo empleando diversos tipos de mecanismos.

Sólo si el peligro de que alcance la playa es inminente se recurre a los dispersantes. De modo similar, es mejor dejar que el petróleo que alcanza la costa se degrade de modo natural, a menos que se trate de una playa pública. Incluso en este caso, la eliminación física es preferible al uso de dispersantes, que pueden hacer que el petróleo penetre aún más en la arena.

Los dispersantes se reservan para limpiar instalaciones esenciales, como las rampas de botadura de los astilleros.

Se han realizado algunos experimentos, consistentes en rociar el petróleo con cultivos Bacterias seleccionadas para digerirlo. No obstante, es necesario añadir también nutrientes para favorecer el crecimiento bacteriano, lo que puede resultar perjudicial para la calidad de las aguas costeras.

La mayoría de las refinerías y terminales petrolíferas situadas en las costas disponen hoy de planes de contingencia contra la contaminación. En ellos se listan las medidas que deben adoptarse en caso de vertidos, el equipo que conviene utilizar y la protección o tratamiento que deben recibir determinadas áreas especialmente delicadas.

La contaminación por crudo debida a la prospección y la explotación petrolíferas en tierra firme también puede ser muy dañina para el medio ambiente. En la mayor parte de los casos la contaminación por crudo se debe a defectos de diseño, mantenimiento y gestión.

Por ejemplo, en la Amazona ecuatoriana se ha producido una contaminación generalizada de los suelos y los cauces de agua por culpa de los reventones, o eliminación descuidada del petróleo residual y las disfunciones de los separadores petróleo-agua.

En la antigua Unión Soviética se ha producido contaminación a gran escala por la corrosión y los procesos naturales de degradación, físicos y biológicos, son muy lentos. También se producen daños en los trópicos: en la región del delta del Níger, en Nigeria, por el abandono a la que se ven sometidos los oleoductos.

Se estima que en octubre de 1994, se vertieron entre 60.000 y 80.000 toneladas de petróleo por la rotura de un oleoducto cerca de Usinsk, al sur del Círculo Polar Ártico.

En latitudes tan extremas los ecosistemas de la tundra y la taiga son altamente sensibles a la contaminación por oleoductos, dispuestos en la superficie de tierras agrícolas, mal construidos y con pobre mantenimiento, sufren fugas regulares; los intentos de quemar los residuos a menudo dejan una corteza de tierra sin vida de hasta 2 m de profundidad, lo que hace que ésta quede inutilizable durante un tiempo imprevisible. Los efectos de este tipo de contaminación por crudo seguirán siendo patentes durante décadas.

Recuperación de petróleo crudo vertido

Los trabajadores emplean redes especiales para limpiar una playa tras un vertido de un petrolero. Los vertidos representan un grave problema, ya que una vez producidos, es casi imposible eliminarlos o contenerlos por completo. Dado que el agua y el petróleo no se mezclan, éste flota sobre el agua y acaba contaminando las costas. El intento de tratar químicamente o hundir el crudo puede alterar aún más los ecosistemas marinos y costeros.

Las descargas accidentales y a gran escala de petróleo líquido son una importante causa de contaminación de las costas. Los casos más espectaculares de contaminación por crudos suelen estar a cargo de los superpetroleros empleados para transportarlos, pero hay otros muchos barcos que vierten también petróleo, y la explotación de las plataformas petrolíferas marinas supone también una importante aportación de vertidos. Se estima que de cada millón de toneladas de crudo embarcadas se vierte una tonelada.

Entre las mayores mareas negras registradas hasta el momento se encuentran la producida por el petrolero Amoco Cádiz frente a las costas francesas en 1978 (1,6 millones de barriles de crudo) y la producida por el pozo petrolífero Ixtoc I en el golfo de México en 1979 (3,3 millones de barriles).

El vertido de 240.000 barriles por el petrolero Exxon Valdez en el Prince William Sound, en el golfo de Alaska, en marzo de 1989, produjo, en el plazo de una semana, una marea negra de 6.700 km², que puso en peligro la vida silvestre y las pesquerías de toda el área. Por el contrario, los 680.000 barriles vertidos por el Braer frente a la costa de las islas Shetland en enero de 1993 se dispersaron en pocos días por acción de las olas propias de unas tormentas excepcionalmente fuertes.

Contaminación por el tráfico vehicular

Contaminación debida al exceso de circulación rodada y provocada sobre todo por la quema de combustibles fósiles, en especial gasolina y gasoil.

Los contaminantes más usuales que emite el tráfico son el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles y las macro partículas. Por lo que se refiere a estas emisiones, los transportes en los países desarrollados representan entre el 30 y el 90% del total.

También hay compuestos de plomo y una cantidad menor de dióxido de azufre y de sulfuro de hidrógeno. El amianto se libera a la atmósfera al frenar. El tráfico es también una fuente importante de dióxido de carbono.

El monóxido de carbono es venenoso. A dosis reducidas produce dolores de cabeza, mareos, disminución de la concentración y del rendimiento. Los óxidos de nitrógeno y azufre tienen graves efectos sobre las personas que padecen asma bronquial, cuyos ataques empeoran cuanto mayor es la contaminación, pues además estas sustancias irritan las vías respiratorias, si bien aún no hay una explicación médica precisa. Entre los compuestos orgánicos volátiles está el benceno, que puede provocar cáncer, al igual que el amianto, aunque su efecto sólo está claramente establecido a dosis más altas que las debidas al tráfico.

Las macro partículas son partículas sólidas y líquidas muy pequeñas que incluyen el humo negro producido sobre todo por los motores diesel y se asocian a una amplia gama de patologías, entre ellas las enfermedades cardíacas y pulmonares. El plomo dificulta el desarrollo intelectual de los niños.

El dióxido de carbono no siempre se clasifica como contaminante, pero sí guarda relación con el calentamiento global.

La mayor preocupación por la contaminación que produce el tráfico rodado se refiere a las zonas urbanas, en donde un gran volumen de vehículos y elevadas cifras de peatones comparten las mismas calles. Ciertos países controlan ya los niveles de contaminación de estas zonas para comprobar que no se sobrepasan las cifras establecidas internacionalmente.

Los peores problemas se producen cuando se presenta una combinación de tráfico intenso y de calor sin viento; en los hospitales aumenta el número de urgencias por asma bronquial, sobre todo entre los niños.

Las concentraciones son más elevadas en las calzadas por donde circulan los coches, o cerca de éstas (es probable que el máximo se alcance de hecho dentro de los vehículos, donde las entradas de aire están contaminadas por los vehículos que

van adelante) y se reducen con rapidez incluso a poca distancia de la calzada sobre todo si sopla el viento.

Sin embargo, aparte de los efectos directos sobre la salud de las personas que respiran los humos del tráfico, los productos químicos interactúan y producen ozono de bajo nivel, que también contribuye al calentamiento global, así como lluvia ácida, la cual tiene efectos destructores sobre la vida vegetal, aun en países alejados de las fuentes de emisión.

Los catalizadores limpian parte de las emisiones, pero no así el plomo, el dióxido de carbono ni las macro partículas. Hay plomo porque se añade a la gasolina para mejorar el rendimiento del motor. Es posible reducir su empleo aplicando diferenciales de precios. El dióxido de carbono es inevitable en los combustibles fósiles; su reducción depende de la utilización de otros combustibles, de mejorar la eficacia del combustible o de reducir el volumen de tráfico.

En muchos países, reducir la contaminación que provoca el tráfico es una de las grandes prioridades y, en la mayoría de los casos (aunque no siempre), se reconoce que ello puede pasar por restringir en cierta medida el aumento del volumen total de tráfico, ya sea con medidas de urgencia durante algunos días, cuando la contaminación es demasiado alta, o mediante políticas más completas a largo plazo. La calidad del aire es uno de los motivos de políticas como la implantación de zonas peatonales en el centro de las ciudades, la limitación del tráfico y la creación de autopistas de peaje

Contaminación por residuos tóxicos

Los residuos tóxicos son los materiales sólidos, líquidos o gaseosos que contienen sustancias dañinas para medio ambiente, para el ser humano y para los recursos naturales. Los principales componentes que dan a residuos su carácter peligroso son: metales pesados, cianuros, dibenzo-p-dioxinas, biocida y productos fitosanitarios, éteres, amianto, hidrocarburos aromáticos poli cíclicos, fósforo y sus derivados, y compuestos inorgánicos del flúor.

Pueden estar contenidos en recipientes que son destinados al abandono o se utiliza la eliminación mediante vertido controlado que es el método más utilizado. El resto de los residuos se incinera y una pequeña parte utiliza como fertilizante orgánico. En cuanto al reciclado, se considera que para el año 2000 se reciclará la mitad de los residuos domésticos. Los residuos peligrosos no se eliminan, se almacena dentro de contenedores en lugares protegidos.

Se han estado almacenando en fosas marinas, pero este método no permite recuperar lo depositado ni controlar el estado de los contenedores. Otros métodos más adecuados son su almacenamiento en silos de hormigón o en formaciones geológicas profundas, aunque ninguno es del todo fiable a largo plazo.

Los residuos más peligrosos son las sustancias biológicas, los compuestos químicos tóxicos e inflamables los residuos radiactivos. Las sustancias radiactivas son peligrosas porque una exposición prolongada a su radiación daña a los organismos vivos, y porque las sustancias retienen la radiactividad durante mucho tiempo.

El PVC (suave y duro) es uno de los tipos lo más extensamente posible usados de plásticos, se utiliza para empaquetar y aferrar películas y botella, para consumo como tarjetas de crédito para registrar audio, para la fabricación de artículos imitación piel, y alrededor del hogar en tubos de PVC y persianas es utilizado por los fabricantes para los interiores del coche, en los hospitales para los materiales desechables médicos... y muchas más cosas.

Durante la producción del PVC, se crean las dioxinas, algunos de los productos químicos más tóxicos sabidos. Concluido su curso de la vida, los productos del PVC pueden escaparse los añadidos dañosos. Además, en el final de su curso de la vida, los productos del PVC deben ser quemados o ser enterrados.

Al quemarse crea y más dioxina y otros compuestos con clorina que contaminen nuestra pista y los canales. Las tentativas de reciclar el PVC han probado difícil, tanto de él terminan para arriba en terraplenes.

Los productos químicos, tales como ftalatos, se agregan al PVC para hacerlo suave y flexible. Los estudios del laboratorio en animales muestran que algunos de estos productos químicos están conectados al daño del cáncer y del riñón y pueden interferir con el sistema y el desarrollo reproductivos.

Además, la prueba reciente por varios gobiernos concluye que los niños pueden ingerir productos químicos peligrosos de los juguetes del PVC durante uso normal.

Los gobiernos y la industria están tomando la acción para eliminar la amenaza del PVC. Los gobiernos daneses y suecos están restringiendo uso del PVC.

Contaminación Industrial. Entendemos por contaminación industrial a la emisión de sustancias nocivas, tóxicas o peligrosas, directa o indirectamente de las instalaciones o procesos industriales al medio natural. Estas emisiones pueden ser:

- Emisiones a la atmósfera
- Vertidos a las redes públicas de saneamiento
- Vertidos directos al suelo o a cauces de aguas superficiales
- Almacenamientos o disposición de residuos industriales
- Ruidos en el entorno

En estas emisiones quedan incluidas las que se derivan de los productos o subproductos que las industrias ponen en el mercado. Por ejemplo, la contaminación de dioxinas que pueden producir la combustión de productos de PVC en vertederos y

por incineración o la destrucción de la capa de ozono estratosférico por gases clorofluorcarbonados (familia CFC).

En estos casos, la mejor política preventiva es la prohibición pura y simple de la utilización del compuesto dañino, como ha sido el caso de los CFC en el Protocolo de Montreal y el Acuerdo de Londres.

En el caso del PVC hay una gran polémica, con argumentos a favor, por parte de los fabricantes, y campañas en contra de los grupos ecologistas que han conseguido la prohibición de países como Dinamarca (para los juguetes), pero no en otros ya que, efectivamente, el PVC es un producto que tiene grandes ventajas para determinadas aplicaciones (construcción...).

Por regla general, hasta ahora, la principal política seguida contra la contaminación industrial ha sido la de los métodos correctivos o de final de tubería con la aplicación de tecnologías como el filtrado de humos y gases, la depuración de vertidos o el confinamiento en depósitos de seguridad de los residuos tóxicos. Este tipo de métodos no eliminan la contaminación, sino que la trasladan de un medio a otro.

Clasificación de los contaminantes

Contaminantes físicos. Afectan el aspecto del agua y cuando flotan o se sedimentan interfieren con la flora y fauna acuáticas. Son líquidos insolubles o sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos que son arrojados al agua como resultado de las actividades del hombre, así como, espumas, residuos oleaginosos y el calor (contaminación térmica).

Contaminantes químicos. Incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua. Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos.

También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico). Gran parte de estos contaminantes son liberados directamente a la atmósfera y bajan arrastrados por la lluvia. Esta lluvia ácida, tiene efectos nocivos que pueden observarse tanto en la vegetación como en edificios y monumentos de las ciudades industrializadas.

Los contaminantes orgánicos. Son compuestos disueltos o dispersos en el agua que provienen de desechos domésticos, agrícolas, industriales y de la erosión del suelo. Son desechos humanos y animales, de rastros o mataderos, de procesamiento de alimentos para humanos y animales, diversos productos químicos

industriales de origen natural como aceites, grasas, breas y tinturas, y diversos productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas, etc. Los contaminantes orgánicos consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan a la vida acuática (eutrofización).

Las concentraciones anormales de compuestos de nitrógeno en el agua, tales como el amoníaco o los cloruros se utilizan como índice de la presencia de dichas impurezas contaminantes en el agua.

Los contaminantes inorgánicos.-Los nutrientes inorgánicos de las plantas. Se refiere a la presencia de nitratos y fosfatos hidrosolubles (fertilizantes agrícolas), que pueden causar un crecimiento excesivo de algas y otras plantas acuáticas, que al morir son descompuestos por bacterias que agotan el oxígeno disuelto en el agua, matando a los peces.

Beber agua con niveles excesivos de nitratos disminuye la capacidad de la sangre para transportar el oxígeno causando la muerte de fetos y niños, especialmente menores de un año.

Contaminantes biológicos. Incluyen hongos, bacterias y virus que provocan enfermedades, algas y otras plantas acuáticas. Algunas bacterias son inofensivas y otras participan en la degradación de la materia orgánica contenida en el agua.

Ciertas bacterias descomponen sustancias inorgánicas. La eliminación de los virus que se transportan en el agua es un trabajo muy difícil y costoso.

Los contaminantes más frecuentes de las aguas son: materias orgánicas y bacterias, hidrocarburos, desperdicios industriales, productos pesticidas y otros utilizados en la agricultura, productos químicos domésticos y desechos radioactivos.

Lo más grave es que una parte de los derivados del petróleo son arrojados al mar por los barcos o por las industrias ribereñas y son absorbidos por la fauna y flora marinas que los retransmiten a los consumidores de peces, crustáceos, moluscos, algas, etc.

Identificación y origen de los Contaminantes. Fuente: ambientum.com

PRODUCTO	INGREDIENTE	EFEECTO
Limpiadores domésticos	Polvos y limpiadores abrasivos Fosfato de sodio, amoníaco, etanol	Corrosivos, tóxicos e irritantes
Limpiadores con amonio	Amoníaco, etanol	Corrosivos, tóxicos e irritantes
Blanqueadores	Hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, peróxido de hidrógeno, hipoclorito de sodio o calcio	Tóxicos y corrosivos
Desinfectantes	Etilen y metilen glicol, hipoclorito de sodio	Tóxicos y corrosivos
Destapacaños	Hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, hipoclorito de sodio, ácido clorhídrico, destilados de petróleo	Extremadamente corrosivos y tóxicos
Pulidores de pisos y muebles	Amoníaco, dietilenglicol, destilados de petróleo, nitrobenzeno, nafta y fenoles	Inflamables y tóxicos
Limpiadores y pulidores de metales	Tiourea y ácido sulfúrico	Corrosivos y tóxicos
Limpiadores de hornos	Hidróxido de potasio, hidróxido de sodio, amoníaco	Corrosivos y tóxicos
Limpiadores de inodoros	Ácido oxálico, ácido muriático, para diclorobenceno e hipoclorito de sodio	Corrosivos, tóxicos e irritantes
Limpiadores de alfombras	Naftaleno, percloroetileno, ácido oxálico y dietilenglicol	Corrosivos, tóxicos e irritantes
Productos en aerosol	Hidrocarburos. Inflamables	Tóxicos e irritantes
Pesticidas y repelentes de insectos	Organofosfatos, carbamatos y piretrinas	Tóxicos y venenosos
Adhesivos	Hidrocarburos	Inflamables e irritantes
Anticongelantes	Etilenglicol	Tóxico
Gasolina	Tetraetilo de plomo	Tóxico e inflamable
Aceite para motor	Hidrocarburos, metales pesados	Tóxico e inflamable
Líquido de transmisión	Hidrocarburos, metales pesados	Tóxico e inflamable
Líquido limpiaparabrisas	Detergentes, metanol	Tóxico
Baterías	Ácido sulfúrico, plomo	Tóxico
Líquido para frenos	Glicoles, éteres	Inflamables
Cera para carrocerías	Naftas	Inflamable e irritante