

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

FACULTAD DE AGRICULTURA



**EVALUACION DE LA CONTAMINACION INDUSTRIAL Y
URBANA EN EL RIO SANTIAGO TRAMO
OCOTLAN - GUADALAJARA**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

INGENIERO AGRONOMO

P R E S E N T A :

FERNANDO ESTEBAN MARTINEZ REYES



**EL PRESENTE TRABAJO SE IMPRIMIO CON APOYO
DE LA COMISION NACIONAL DEL AGUA.**

17726/033804
A 2302
E:1



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
FACULTAD DE AGRONOMIA

SECCION COM. DE TIT.

EXPEDIENTE _____

NUMERO 0131/94

22 de febrero de 1994

C. PROFESORES:

ING. ALFONSO MUÑOZ ORTEGA, DIRECTOR
ING. PABLO TORRES MORAN, ASESOR
ING. JESUS HERNANDEZ ALONSO, ASESOR

Con toda atención me permito hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobado el Tema de Tesis:

EVALUACION DE LA CONTAMINACION INDUSTRIAL Y URBANA EN EL
RIO SANTIAGO TRAMO OCOTLAN-GUADALAJARA

presentado por el Pasante FERNANDO ESTEBAN MARTINEZ REYES, han sido ustedes designados Director y Asesores, respectivamente, para el desarrollo de la misma.

Ruego a ustedes se sirvan hacer del conocimiento de esta Dirección su - Dictamen de la revisión de la mencionada Tesis. Entre tanto, me es grato reiterarles las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"
EL SECRETARIO

M.C. HUGO MORENO GARCIA

mam



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
FACULTAD DE AGRONOMIA

SECCION COM. DE TIT.

EXPEDIENTE _____

NUMERO 0131/94

22 de febrero de 1994

M.C. SALVADOR MENA MUNGUIA
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
PRESENTE

Habiendo sido revisada la Tesis del (los) Pasante (s) FERNANDO ESTEBAN
MARTINEZ REYES

titulada:

EVALUACION DE LA CONTAMINACION INDUSTRIAL Y URBANA EN EL
RIO SANTIAGO TRAMO OCOTLAN-GUADALAJARA

damos nuestra Aprobación para la Impresión de la misma.

DIRECTOR



ING. ALFONSO MUÑOZ ORTEGA

ASESOR

ASESOR



ING. PABLO TORRES MORAN



ING. JESUS HERNANDEZ ALONSO

2202

LAS AGUJAS,
MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Calidad y Reutilización del Agua de la Comisión Nacional del Agua por las facilidades otorgadas, para la realización de este trabajo de tesis.

A la Universidad de Guadalajara por haberme permitido el acceso a sus aulas.

A mis maestros por sus enseñanzas y consejos.

Al C. Ing. Alfonso Muñoz Ortega por su dirección y estímulo para la realización y término del presente TRABAJO.

Al C. Ing. Jesús Hernández Alonso y al C. Ing. Pablo Torres Morán por sus observaciones y consejos.

I N D I C E

	Pág.	
CAPITULO 1.	RESUMEN	1
CAPITULO 2.	INTRODUCCION	4
	2.1. OBJETIVO	7
CAPITULO 3.	IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	8
CAPITULO 4.	REVISION DE LITERATURA	13
	4.1. FACTORES CONTAMINANTES	13
	4.1.1. ASPECTOS FISICOS	13
	4.1.1.1. CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	13
	4.1.1.2. CONTENIDO DE HUMEDAD	14
	4.1.1.3. VOLUMEN POROSO	14
	4.1.1.4. GRADO DE HETEROGENIDAD	14
	4.1.1.5. ZONA SATURADA	14
	4.1.1.6. CLIMA REGIONAL	15
	4.1.1.7. SISTEMA ACUIFERO SUBTERRANEO	15
	4.1.2. ASPECTOS QUIMICOS	16
	4.1.2.1. VOLATILIDAD	17
	4.1.2.2. ACIDOS Y BASES	17
	4.1.2.3. PRECIPITACION-DISOLUCION	19
	4.1.2.4. OXIDACION-REDUCCION	20
	4.1.2.5. FENOMENOS DE SUPERFICIE	20
	4.1.2.6. METALES PESADOS Y SUSTANCIAS ORGANICAS	23

	Pág.
4.1.3. ASPECTOS BIOLÓGICOS	25
4.1.3.1. LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN EL SUELO	26
4.1.3.1.1. NITRÓGENO	28
4.1.3.1.2. FOSFORO	29
4.1.3.1.3. AZUFRE	30
4.1.3.1.4. IONES INORGÁNICOS	30
4.1.3.2. GERMENES PATÓGENOS	30
4.1.3.2.1. CONTAMINACIÓN BACTEREOLÓGICA	31
4.1.3.2.2. VIRUS	33
4.2. CAUSAS, TIPOS DE CONTAMINACIÓN EN LAS AGUAS Y SU TRATAMIENTO	34
4.2.1. CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL	35
4.2.1.1. RESIDUOS LÍQUIDOS	35
4.2.1.2. RESIDUOS SÓLIDOS	37
4.2.2. CONTAMINACIÓN AGRÍCOLA	37
4.2.2.1. LOS FERTILIZANTES COMO CONTAMI NANTES DEL AGUA	38
4.2.2.1.1. COMPUESTOS DE NITRÓGENO	38
4.2.2.1.2. COMPUESTOS DE FOSFORO	41
4.2.2.1.3. COMPUESTOS DE POTASIO	42
4.2.2.2. PESTICIDAS	43
4.2.2.3. RESIDUOS ANIMALES	44
4.2.3. CONTAMINACIÓN URBANA Y DOMESTI CA	44

	Pág.	
4.2.4.	SISTEMAS DE TRATAMIENTO	48
4.2.4.1.	TRATAMIENTO PRIMARIO	50
4.2.4.2.	TRATAMIENTO SECUNDARIO	50
4.2.4.3.	TRATAMIENTO TERCARIO	52
4.2.4.4.	TRATAMIENTO AVANZADO DE AFLUEN TES	53
CAPITULO 5.	MATERIALES Y METODOS	55
5.1.	DESCRIPCION DEL AREA DE ESTU-- DIO	55
5.1.1.	HIDROGRAFIA	55
5.1.2.	CLIMA	56
5.1.2.1.	PRECIPITACION	56
5.1.2.2.	TEMPERATURA	57
5.1.2.3.	EVAPORACION	57
5.1.2.4.	HUMEDAD RELATIVA	57
5.1.2.5.	DIAS CON GRANIZO	57
5.1.2.6.	DIAS CON NIEBLA O NEBLINA	58
5.1.2.7.	DIAS DESPEJADOS	58
5.1.2.8.	DIAS NUBLADOS	58
5.1.3.	SUELO	59
5.1.4.	RECURSOS HUMANOS	59
5.1.4.1.	DENSIDAD DE POBLACION	59
5.1.5.	ACTIVIDAD PRINCIPAL	59
5.1.6.	COMUNICACIONES	60
5.1.7.	AGRICULTURA	60

	Pág.	
5.1.8.	GANADERIA	60
5.1.9.	INDUSTRIA	60
5.2.	METODOLOGIA	61
CAPITULO 6.	DIAGNOSTICO	65
6.1.	ANTECEDENTES	66
6.1.1.	DESCARGAS INDUSTRIALES	66
6.1.2.	DESCARGAS URBANAS	66
CAPITULO 7.	RESULTADOS Y DISCUSION	67
CAPITULO 8.	CONCLUSIONES	83
CAPITULO 9.	RECOMENDACIONES	85
CAPITULO 10.	BIBLIOGRAFIA	86
ANEXOS	RESULTADOS DE LABORATORIO AÑOS 1983-1992	
PLANO No. 1	ZONA DEL RIO SANTIAGO HASTA SU DESEMBOCA DURA EN EL OCEANO PACÍFICO	
PLANO NO. 2	ESTACIONES DE MONITOREO Y PLANTAS DE TRA TAMIENTO	

CAPITULO I

RESUMEN

Este trabajo de tesis ilustrará al lector de lo que sucede en la corriente del río Santiago, una de las más importantes de nuestro estado. Se pretende despertar el interés del ingeniero agrónomo por el tema de la contaminación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas. Se mencionan tres aspectos que intervienen en la contaminación, a saber, el físico, el químico y el biológico.

En el aspecto físico, se describe como los agentes contaminantes pueden penetrar o flotar en un acuífero y después diluirse. El aspecto químico habla de los procesos de disolución que acumulan impurezas, se hablará de los casos de los metales pesados y de las sustancias orgánicas. El aspecto biológico, tratará sobre los mecanismos de la actividad biológica y su influencia en la calidad de las aguas.

Los resultados de laboratorio de los análisis de la calidad del agua en el río Santiago fueron utilizados para elaborar este trabajo. Se eligió el cauce del río Santiago por su importancia en el desarrollo económico y el significado ecológico que representa a la ribera, del tramo comprendido, a los municipios Ocotlán-Guadalajara.

En el cauce se observaron descargas industriales y concentraciones de aguas residuales productos de la población civil aledaña.

Ante este panorama, se analizaron datos proporcionados - por la Comisión Nacional del Agua, de ocho estaciones que contempla el período 1983-1992, del tramo Ocotlán-Puente Arcediano.

Los análisis revelan la falta de oxígeno disuelto, necesario para realizar la oxidación de materia orgánica e inorgánica, además, se detectaron altas concentraciones de coliformes, que son características de descargas de zonas urbanas con un considerable aumento al concentrarse aguas residuales de las poblaciones de Tonalá, Tlaquepaque y Guadalajara, que se integran al cauce del río Santiago.

Los parámetros para medir los sólidos disueltos, dureza total, turbiedad, conductividad eléctrica, nos hablan de un proceso natural de dilución de sales minerales y transporte, producto de escurrimientos, que se comparan con resultados de laboratorio de la calidad del agua del río Verde, considerada en mejores condiciones por su escasa concentración de emisiones.

El río Santiago es parte de la cuenca Lerma-Chapala, una

de las más pobladas e industrializadas. El volumen del tributario río Verde, a esta corriente y la topografía disminuyen la carga contaminante, como se aprecia en los resultados de laboratorio. (Anexos).

Ante el problema de contaminación de las aguas del río - Santiago, se deben realizar estudios sistemáticos para cada tipo de contaminante, así como la utilización de sistemas de tratamiento de aguas residuales que deben implementarse, también se maneja el hecho de otorgar en propiedad los recursos hídricos (ríos, lagos, arroyos) tal y como lo menciona Freeman, - (7) cuando hace una evaluación de los costos beneficios y encuentra que pueden lograrse ventajas como las de recreación y uso diverso, obteniendo en esta forma un control de la contaminación.

Se concluye que la contaminación industrial y urbana, se encuentra presente en el trayecto de estudio, sin afirmar que sea exclusivo de una sola región y se hace notar la importancia de los tributarios y los sistemas de tratamiento.

CAPITULO 2

INTRODUCCION

El agua es el elemento vital de los seres vivos, además - de otros elementos que constituyen el marco de la vida, ya sea natural o elaborado por la técnica esencial para la vida vegetal, que condiciona la vida animal y la vida humana.

El agua es un elemento indispensable para la existencia - del hombre, de la fauna y de la flora, en los que basa su nu-- trición.

Desde el comienzo de la revolución industrial, en Europa y hasta la fecha en casi todo el mundo, los océanos, los lagos y los ríos se han utilizado tradicionalmente como depósitos de desechos industriales y aguas residuales, sin haber visualiza-- do el impacto ambiental que ejercen los contaminantes a las - aguas salinas y dulces.

Las primeras industrias alfarerías y fábricas de hilados y tejidos, utilizaron grandes volúmenes de agua en el trata -- miento de pieles, lanas y otras materias primas en su época.

Actualmente, la contaminación de las aguas en el plante-- ta, a través de restos orgánicos y descargas químicas influyen

de manera nociva en la degradación de los ecosistemas marinos; causando muerte de peces y aniquilando algas y bacterias aerodias que son responsables de bloquear el proceso de degradación de los elementos de contaminación orgánica y química.

Los índices de contaminación de un país, dependen de varios aspectos; el nivel educativo de la población, el plan de desarrollo industrial, leyes de equilibrio ecológico y el manejo racional de los recursos naturales. Ante esta panorámica, los países en vías de desarrollo cuentan con deficiencias marcadas en todos los renglones señalados.

Entre las principales industrias que son fuente de contaminación, se encuentran el montaje de semiconductores, tintorerías, lecherías, industria celulosa, madera y papel, química, talleres mecánicos, etc., que arrojan cianuro, disolventes orgánicos, acetonas, fenoles, alcoholes, detergentes, alquilo bencenos, sulfatos de sodio, etc.

También, el abuso en la aplicación de productos químicos de la agricultura, influye en la acumulación de partículas tóxicas de elevado poder residual, por lixiviación en los suelos o bien a través del viento; cuando se trata de aspersiones o pulverizaciones, hechas desde aviones que contribuyen con lo antes dicho.

Además, la contaminación doméstica por el uso de lejías y (sulfato de alquilbenceno) detergentes a base de productos tóxicos y no degradables, forman parte de una práctica común y generalizada.

La capacidad de dilución de los ríos y arroyos tiene un límite. En este sentido, se manifiestan las pobres respuestas para prevenir y controlar las descargas industriales y los desechos residuales a las aguas del río Santiago, motivo por el cual se planteó este trabajo de titulación, en donde se analiza la problemática de las aguas contaminadas del río Santiago y su efecto en el uso agrícola, pecuario y consumo humano.

Así mismo se pretende establecer las bases fundamentales para el tratamiento de aguas contaminadas y programas de concientización ecológica con el fin de reducir el nivel de contaminación en el río.

El río Santiago forma parte del sistema Lerma-Chapala-Santiago que involucra a los estados de México, Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco. El almacenamiento global de la cuenca es usado como fuente de abastecimiento de agua potable principalmente en los estados de México y Guanajuato. Los escorrentamientos almacenados sirven para el riego de aproximadamente 142 mil hectáreas. Los caudales influyen en el nivel del lago de Chapala que en 1990 tuvo su cota más baja (92.20) en cin --

cuenta años.

2.1. OBJETIVOS

2.1.1. Evaluar los índices de contaminación, registrados por la Comisión Nacional del Agua en el período 1983-1992, en las aguas del río Santiago a través del análisis de datos, con el propósito de determinar las bases fundamentales en el empleo de las aguas a la actividad agrícola y pecuaria.

2.1.2. Aportar conocimientos a los agrónomos, para que planifiquen y programen mejor las acciones encaminadas a lograr un desarrollo agrícola en nuestra región.

CAPITULO 3

IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

La calidad de las aguas y sus modificaciones son causadas por la incorporación de sustancias químicas o biológicas en el medio debido a la actividad humana, por procesos completamente naturales, o por las diversas combinaciones entre ellos.

3.1. FUENTES DE CONTAMINACION

Las aguas superficiales y subterráneas contienen siempre en estado natural cierta cantidad de sales disueltas. Estas sales se originan por el contacto del agua en movimiento con los diversos minerales del suelo y del subsuelo. De la misma forma, el agua recoge materia orgánica natural de las hojas, hierbas y vegetación en diversos estados de biodegradación y diluye gases atmosféricos. El resultado de estos contactos es la acumulación en el agua de ciertas cantidades de impurezas naturales por disolución o reacción química seguida de disolución.

El hombre introduce elementos extraños en los cuerpos de agua a través de un gran número de actividades.

1. En las prácticas agrícolas, siembra, cosecha, almacenamiento, el empleo de pesticidas y plaguicidas puede resultar a largo plazo muy peligroso. Asimismo, la utilización -

de cantidades excesivas de abono y fertilizantes, puede plantear serios problemas debido a una acumulación de nutrimentos en las aguas.

2. En cuanto a su distribución, la mayor parte de estas formas de contaminación se distinguen porque sus efectos, se extienden sobre amplias zonas.

3. Existen otras formas de contaminación de tipo agrícola que son consideradas como fuentes puntuales; desde el punto de vista pecuario, los excrementos del ganado sobre todo los producidos bajo régimen de estabulación, el almacenamiento de fertilizantes y pesticidas, los restos de cosechas, etc.

4. La actividad industrial produce contaminantes. La mayor parte de las fuentes de contaminación debida a la industria, son localizadas en un área determinada. En muchas ocasiones, las aguas residuales industriales se eliminan mediante pozos de inyección, estanques o balsas de infiltración, etc. Frecuentemente tienen lugar infiltraciones no previstas, en estanques de evaporación u oxidación o bien se produce una lixiviación de materiales contaminantes en vertederos y depósitos de residuos. Por otra parte, los procesos de producción, almacenamiento y transporte, se asocian a una serie de accidentes, tales como fugas, rotura de tuberías, etc., que pueden

producir contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

5. Los residuos domésticos en áreas rurales o urbanas, pueden plantear también problemas. El uso de aguas residuales domésticas, tratadas o no para irrigación, puede ser, - si no se ejerce un control adecuado, causa de contaminación de los mantos acuíferos. De igual forma, los sistemas individuales de eliminación, como pozos negros, las fosas sépticas y - otros sistemas similares pueden producir problemas. Los residuos sólidos concentrados en vertederos no apropiadamente situados y controlados, producen filtraciones de elementos contaminantes hacia el acuífero.

De acuerdo con lo anterior, las actividades industriales agrícolas y domésticas, constituyen las principales fuentes de elementos químicos y de microorganismos que pueden amenazar la calidad natural de las aguas subterráneas y superficiales.

3.2. EVOLUCION DE LOS CONTAMINANTES

La entrada del agente o agentes contaminantes en un cuerpo de agua puede tener lugar de muy diversas maneras; los materiales, que inician su trayectoria en la superficie del terreno, están sujetos a una serie de procesos entre los que se encuentran la lixiviación, la infiltración a través de la zona no saturada del terreno y la llegada al nivel saturado, es de-

cir, al acuífero.

Una vez incorporado el agente contaminante al sistema hidráulico, se desplaza siguiendo el flujo general del agua y en muchos casos su efecto se ve atenuado con la distancia, dependiendo de una larga serie de factores, tanto físicos (difusión dispersión mecánica, etc.) como químicos (precipitación-disolución, oxidación-reducción, etc.) y biológicos (degradación, oxidación, etc.)

Uno de los efectos más importantes es sin duda el que puede tener sobre la salud pública. La contaminación biológica del agua subterránea de abastecimiento, es históricamente la más antigua causa de problemas de sanidad asociados al agua. Hoy día, este problema es secundario frente a otros tipos de contaminación más difícilmente eliminables. Por ejemplo, el nitrógeno, en forma de nitratos solubles y en concentraciones relativamente elevadas (90 mg/l como NO_3^- , aunque puede ser perjudicial desde 45 mg/l).

Debido a la amplia gama de actividades susceptibles de aportar nitrógeno a las aguas (agricultura, aguas residuales domésticas, etc.), este elemento constituye uno de los principales contaminantes de las aguas de abastecimiento a poblaciones.

También los compuestos orgánicos e inorgánicos provenientes de la agricultura (ejemplo pesticidas) o de la industria pueden causar problemas. Algunos, como los cloruros, pueden producir problemas de sabor y otros como algunos pesticidas, son tóxicos, llegando a producir la muerte.

Después de la salud pública, el efecto más importante se hace sentir en el agua usada en agricultura. El regadío con aguas subterráneas y superficiales es practicado en todas partes y es bien conocido el hecho de que un exceso de sales disueltas en el agua, puede producir una disminución en la producción de la cosecha. Algunos elementos, como el boro, son muy perjudiciales para algunas plantas, como los cítricos. Por otra parte, los animales pueden verse afectados al beber aguas contaminadas.

La industria se provee con frecuencia de agua para sus necesidades. Ciertos compuestos del agua pueden producir corrosión, incrustaciones y otros problemas afectando el equipo y maquinaria industrial. (1) (2)

La mayor parte de las veces, estos problemas son debidos a la natural composición de las aguas, más que a productos introducidos por la acción humana.

C A P I T U L O 4

REVISION DE LITERATURA

4.1. FACTORES CONTAMINANTES (31)

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación señala tres aspectos básicos en la contaminación de las aguas: aspectos físicos, químicos y biológicos.

4.1.1. ASPECTOS FISICOS

Puesto que el movimiento del soluto depende en una gran medida del movimiento del agua, debe también depender de los mismos factores físicos. Existen seis propiedades o características hidráulicas del transporte de masa que influyen en el grado de desplazamiento de los contaminantes.

4.1.1.1. CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA DEL SUELO (LEY DE DARCY)

Si la conductividad hidráulica del suelo es alta, puede producirse fuerte evaporación y el movimiento ascendente de las sales puede ser también importante, ya que puede acumular sales en la superficie.

4.1.1.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad de un suelo representa el volumen relativo del mismo ocupado por el agua. El movimiento descendente de los solutos está influido por este contenido de humedad.

4.1.1.3. VOLUMEN POROSO ACTIVO

El volumen poroso activo en relación con el inactivo influye también en el movimiento. Grandes poros dejan pasar el agua con facilidad, existen otros muchos más pequeños y aislados que admiten el soluto por difusión molecular.

4.1.1.4. GRADO DE HETEROGENIDAD DEL SUELO

Una estratificación sedimentaria ocasiona una variación especial de la humedad y de la conductividad hidráulica, que a su vez influyen en la velocidad de desplazamiento del soluto.

4.1.1.5. ZONA SATURADA

Las condiciones, en los límites de la zona no saturada, influyen en la cantidad de humedad disponible para percolación y/o evapotranspiración.

En áreas húmedas, el sentido del flujo es descendente. En regiones áridas, será ascendente. Según va atravesando la zona no saturada, el soluto se va extendiendo.

4.1.1.6. CLIMA

El clima de una región también ejerce su influencia sobre estas características y propiedades físicas. El recorrido de los elementos en solución depende de la cantidad del agua que penetra en el suelo. En el caso de encontrarse en los 30 cm superiores del terreno, un soluto puede desplazarse hacia la superficie, debido a evaporación, pero si la precipitación es suficiente para arrastrar al soluto por debajo de esta zona, probablemente alcanzará el acuífero subterráneo. El clima influye también en las propiedades hidráulicas del terreno, en la viscosidad y tensión superficial, que dependen de la temperatura. (12)

4.1.1.7. EL SISTEMA ACUIFERO SUBTERRANEO

Una vez alcanzada la superficie piezométrica, el contaminante puede penetrar en el acuífero a flotar sobre él. Esto último puede ser debido a la elevada temperatura de un contaminante, a pesar de ser este miscible, o bien a la inmiscibilidad de ciertos fluidos de baja densidad, tales como los hidro-

carburos (gasolina, diésel, etc.). En cualquier caso, una vez introducido en el sistema, el contaminante sigue el flujo hacia la zona de descarga natural del acuífero (mar, río, lago, manantial, zona pantanosa o pozo de bombeo). En los acuíferos cautivos, el flujo es predominantemente horizontal, debido a la presencia de estratos confinados.

Conforme al agente contaminante se mueve en el acuífero, se va diluyendo en parte debido a efectos de densidad, si es que existen y al fenómeno se le denomina dispersión.

4.1.2. ASPECTOS QUÍMICOS

Según va desplazándose el agua a través del terreno en la zona de aireación, o en la saturada, su composición va cambiando como consecuencia de su contacto con diferentes tipos de terrenos y de minerales, con los constituyentes orgánicos e inorgánicos de los suelos, con gases atmosféricos o producidos por procesos biológicos o de otro tipo.

De ello resulta un proceso de disolución, a veces precedido de reacciones químicas, que hace que el agua vaya acumulando numerosas impurezas disueltas.

Los fenómenos químicos básicos que intervienen en la mayoría de los problemas relacionados con la contaminación de -

las aguas son: volatilidad, ácidos y bases, precipitación-solución, oxidación-reducción, fenómenos de superficie incluyendo intercambios iónicos y adsorción y los casos particulares de los metales pesados y las sustancias orgánicas, además de la hidrólisis. (11) (34)

4.1.2.1. VOLATILIDAD

La volatilidad de una sustancia química que ha sido depositada en el suelo, o que se desplaza a través de la zona de aereación es un posible contaminante de las aguas superficiales. La volatilidad decrece en los suelos capaces de absorber fuertemente la sustancia química en cuestión.

La volatilidad también es importante en relación con los gases disueltos en el agua, al ser el dióxido de carbono y el oxígeno disuelto unos parámetros importantes, por su participación en los fenómenos de precipitación, solución y de oxidación-reducción. Si una muestra de agua es expuesta al aire, tendrá lugar una cesión o una toma de CO_2 y de O_2 , con el consiguiente posible cambio de PH, potenciales redox y solubilidad de carbonatos.

4.1.2.2. ACIDOS Y BASES

La concentración del ión hidrógeno (H^+) viene expresada -

mediante el PH, que es el logaritmo del inverso de la concentración de hidrogeniones expresada en moles por litro. La mayoría de las aguas subterráneas y superficiales tienen un PH comprendido entre seis y ocho.

La composición del agua superficial está influida por reacciones de tipo ácido-base. Los ácidos son aportados por las actividades humanas o por la atmósfera y son neutralizados prácticamente por los componentes alcalinos del terreno. La concentración del ión hidrógeno juega un papel importante en las reacciones de precipitación-disolución y oxidación-reducción en los fenómenos de superficie y en los procesos biológicos.

Se ha observado que generalmente el PH disminuye durante la oxidación, mientras que aumenta en procesos como la reducción de sulfatos y la desnitrificación.

Las bases más frecuentes son los bicarbonatos (HCO_3) y los carbonatos (CO_3), particularmente debido a la presencia simultánea de rocas compuestas por carbonatos, como las calizas. Otros menos importantes son los boratos, fosfatos, arseniatos, amoníaco y silicatos, también producto de las actividades humanas o de los fenómenos climatológicos. Así, el amoníaco y los fosfatos constituyen fertilizantes agrícolas.

4.1.2.3. PRECIPITACION-DISOLUCION

Las diferentes concentraciones y tipos de sustancias disueltas existentes en el agua reflejan su historia y su contacto con minerales, sales orgánicas e inorgánicas y gases.

Cuando el movimiento del agua es lento puede haber un equilibrio físico-químico entre el líquido (disolvente) y las fases sólidas.

Estas condiciones de equilibrio, no obstante, sufren alteraciones que pueden ser totales, tanto en la zona no saturada como en las proximidades de fuentes de residuos industriales, o de áreas sujetas a cambios de presión y de temperatura.

La American Water Works Association (1976) en la metodología de laboratorio menciona que el total de sólidos disueltos de una muestra de agua, incluye todas las sustancias sólidas disueltas y es a menudo utilizado para caracterizar el grado de disolución y de concentración que ha tenido lugar con un agua que es utilizada varias veces. Este parámetro no incluye materia coloidal, gases disueltos ni sólidos en suspensión, que puede ser medido mediante análisis químico o deducirse de la conductividad eléctrica de una muestra, teniendo en cuenta que dicha conductividad es una variable dependiente del total de sólidos disueltos y de los diferentes compuestos iónicos presentes en la solución. En los tipos de aguas más frecuentes, la conductividad eléctrica oscila entre 100 y 5000 micromhos/cm a 25 °C.

La AWWA continúa diciendo que la solubilidad en el agua de una determinada sustancia también depende de la temperatura, la presión, la concentración del ión hidrógeno (PH), el potencial redox (rH), la presencia de materia orgánica, el tipo de sustancia y las concentraciones relativas de otras sustancias presentes en la solución. (12)

4.1.2.4. OXIDACION-REDUCCION

Una descripción de la química de las aguas debe incluir la influencia de electrones en las reacciones. El potencial redox de una solución es una medida de la relativa intensidad de un sistema para oxidar o reducir, entendiéndose por oxidación un cambio químico que se acompaña de un incremento en el número de oxidación y por reducción, el equivalente con una disminución. Ambos fenómenos ocurren siempre simultáneamente.

Muchos de los residuos eliminados o introducidos en el suelo o en los sistemas acuíferos, son sustancias oxidables; entre ellos figuran numerosos metales y compuestos orgánicos. Así el amoníaco de los fertilizantes es oxidado a nitrito, el cual a su vez pasa a nitrato. Los procesos naturales, en este caso, aceleran su tendencia al equilibrio mediante la intervención de microorganismos que catalizan estas reacciones, aplicando enzimas altamente eficaces para su metabolismo en los sistemas del acuífero. (31)

4.1.2.5. FENOMENOS DE SUPERFICIE

Las propiedades físico-químicas de los terrenos, son debi-

das principalmente a las propiedades de la materia coloidal; - arcillas inorgánicas y sustancias orgánicas, como el humus. - Otros materiales no coloidales como las arenas y limos tienen propiedades semejantes, pero en grado mucho menor. En esencia, estas propiedades dependen de las características de la superficie del material, que determinan su poder de absorción y su comportamiento electrocinético.

La adsorción se presenta de dos maneras: cambio iónico y adsorción molecular, como en el caso de la adsorción de las moléculas de agua, de los residuos que transporta o de los com-puestos orgánicos polares por las arcillas.

El intercambio iónico probablemente sea la propiedad más determinante del sistema coloidal porque afecta a todas sus - restantes características y puesto que los terrenos contienen importantes cantidades de material coloidal, es éste un fenómeno decisivo en el comportamiento de los suelos.

El intercambio catiónico (adsorción de cationes) en los - coloides, puede ser atribuido principalmente a una sustitución isomórfica, o sea al cambio (en una molécula de la estructura coloidal) de uno de sus cationes por otro, generalmente de menor valencia, presente en la solución.

En los materiales acuíferos y en los coloidales, los enlaces no saturados a lo largo de los bordes de los granos, cons-

tituyen posibles puntos de intercambio iónico. La fuerza de - estos enlaces es generalmente mayor para los iones pequeños - polivalentes.

El cambio iónico más estudiado ha sido el del sodio por el calcio, reacción muy importante en las técnicas de riego, puesto que si el suelo está suficientemente saturado con sodio, hay un proceso de desagregación que evoluciona hacia estructuras desfavorables pues tiende a formar costras impermeables.

El único caso estudiado con cierto detenimiento es el de los fosfatos, que son fácilmente adsorbidos mediante un conjunto de mecanismos no bien conocidos. La mayoría de los demás aniones (cloruros y nitratos) no son adsorbidos por casi ningún tipo de terreno.

Como anteriormente se indica, el intercambio iónico y la adsorción, son términos que a menudo se utilizan indistintamente, si bien existen algunos mecanismos de adsorción que no pueden ser clasificados en ningún caso junto al intercambio iónico y que se engloban en el término adsorción molecular, ya sea física (debida a fuerzas de Van der Waals) y químicas (por fuerzas de Coulomb).

La adsorción molecular es un importante mecanismo para eliminar del agua compuestos orgánicos sintéticos, metales pe-

sados, aniones como el ortofosfato y en grado menor algunos ca tiones monovalentes como el amoniaco y el potasio. En suelos - con un mayor contenido orgánico y coloidal, con hidróxidos de hierro y aluminio, suele producirse una adsorción molecular - más activa. La intensidad de la adsorción depende de la natura - leza del suelo, de su contenido en materia orgánica insoluble, de la humedad, de las sustancias químicas en disolución, de - las que son adsorbidas y del PH.

4.1.2.6. METALES PESADOS Y SUSTANCIAS ORGANICAS (11) (31)

Los metales presentes en el suelo o en el acuífero, pue-- den reaccionar con el agua, dando lugar a una solución ligeramen - te ácida o básica, según el fenómeno de hidrólisis. Al añaa - dir NaCl al agua los iones Na^+ y Cl^- no afectan sustancialmen - te a su equilibrio y no se verifica ninguna hidrólisis, pero al añadir un ión férrico, se produciría una solución ligeramen - te ácida: $\text{Fe}^{+3} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})^{+2} + \text{H}^+$ como consecuencia de una - reacción de hidrólisis. Algunos metales, particularmente los - relacionados con la contaminación industrial, deben sufrir hi - drólisis antes de poder ser lixiviados hasta el sistema subte - rráneo.

Las sustancias orgánicas sufren un proceso de oxidación bioquímica y de adsorción en el terreno, lo cual significa -

que debido a su generalmente baja solubilidad, estas sustancias han de ser transformadas (oxidadas) para poder desplazarse más fácilmente, antes de llegar a ser origen de problemas serios. No obstante, la experiencia y la prudencia indican - que éste no es el caso para ciertos compuestos, entre los que se encuentran, por ejemplo, los fenoles y algunos herbicidas orgánicos.

La materia orgánica puede ser eliminada del agua mediante cierto número de procesos. (13) En primer lugar, existe la filtración física para las sustancias insolubles, característica importante en la zona de infiltración de los tanques sépticos y en el vertido de residuos al terreno; un segundo proceso es el de la utilización de materia orgánica por los microorganismos del suelo o del acuífero para su respiración y síntesis celular, resultando unos productos generalmente más solubles en el agua; también existe la precipitación del humus por fermentación microbiana en sistemas anaeróbicos. Este último proceso también presenta la característica de aumentar la capacidad de adsorción del suelo, reduciendo las posibilidades de contaminación a partir de la superficie.

Muchos compuestos orgánicos son fácilmente adsorbidos - por el suelo, debido en parte al tamaño de sus largas moléculas y en parte a su estructura. A su vez, la disociación de - grupos funcionales ácidos (destacando por su frecuencia el ra

dical carboxilo) proporciona oportunidades de intercambio orgánico, como ocurre con los coloides y otras sustancias minerales. De ello, resulta que la capacidad que tiene un terreno de intercambiar compuestos orgánicos solubles, es proporcional a su contenido en humus o suelos orgánicos, siendo mayor en la superficie que en profundidad.

El intercambio iónico y la adsorción de metales pesados por la materia orgánica, son factores que limitan la movilidad de los metales. Análogamente ocurre con algunas sustancias orgánicas solubles que tienen propiedades químicas semejantes y forman complejos órgano-metálicos, o quelatos, con los metales en solución. Estos quelatos son importantes porque al participar los metales en la formación de compuestos químicos, se vuelven menos susceptibles de adsorción, aumentando su movilidad en las zonas saturadas y no saturadas.

4.1.3. ASPECTOS BIOLÓGICOS

La actividad biológica ejerce su influencia sobre la calidad de las aguas a través de diferentes mecanismos; En primer lugar, hay que considerar el peligro de transmisión de organismos patógenos provenientes de los residuos orgánicos,(12,13) en segundo lugar está la amenaza de un incremento en la concentración de la materia orgánica que se origina como residuo; ambos puntos están relacionados el uno con el otro; en tercer lu

gar, existe la influencia de los microorganismos en las reacciones de oxidación-reducción que tienen lugar entre los compuestos orgánicos e inorgánicos. Esta influencia es probablemente la más importante en lo que respecta al ciclo de los nutrientes y a la contaminación por materia orgánica.

4.1.3.1. LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN EL SUELO (31)

Desde hace tiempo, es conocida la facilidad que tienen los organismos presentes en el terreno para reducir los compuestos inorgánicos y para oxidar tanto a los inorgánicos como a los orgánicos: los sistemas sépticos y los vertederos son una conocida muestra de la protección que el suelo proporciona a las aguas. Biológicamente, esta protección proviene de todos los organismos vivientes que habitan en la superficie y en el interior del terreno, incluyendo bacterias, algas, actinomicetos, hongos, protozoos y plantas superiores, contribuyendo cada uno de estos grupos a reducir la contaminación orgánica.

Tanto en los terrenos agrícolas como en los forestales, la población microbiana se concentra particularmente en los 15 cm superficiales, zona rica en materia orgánica, disminuyendo rápidamente con la profundidad. En consecuencia, otra limitación importante del sistema microbiano del suelo es la localización de la fuente de materia orgánica o inorgánica,

respecto a la parte más superficial del suelo.

Otra limitación importante consiste en la cantidad de materia orgánica que puede ser aplicada; una acumulación excesiva de sustancias orgánicas puede reducir la aereación del suelo y crear unas condiciones anaeróbicas, con lo cual la descomposición es mucho más lenta, pudiendo crearse serios problemas de olores y viéndose afectado el crecimiento de las plantas.

Pero quizás la amenaza más importante sea la aplicación de sustancias tóxicas para el equilibrio ecológico, tales como los compuestos fenólicos, pesticidas, metales pesados, etc. Si las tasas de aplicación no son demasiado altas y las propiedades físico-químicas de adsorción del terreno permiten un tiempo de retención suficiente, la población microbiana puede ser capaz frecuentemente de eliminar las sustancias tóxicas.(38)

La acción biológica es particularmente importante en cuanto a la movilidad de los iones en el terreno y a la capacidad de su adsorción por las plantas, al influir sobre ciertos fenómenos tales como mineralización, precipitación, inmovilización, oxidación, reducción, quelación, volatilización y disolución.

Una forma de estudiar la acción biológica consiste en estudiar el ciclo de varias sustancias en el suelo y en las -
aguas.

4.1.3.1.1. NITROGENO

Las reacciones biológicas primarias relacionadas con el ciclo del nitrógeno en el terreno, comprenden la nitrificación, la desnitrificación y la mineralización. El nitrógeno llega al suelo a menudo en forma de compuestos de nitrógeno orgánico que pasan fácilmente a amoníaco, siendo éste adsorbido frecuentemente por las partículas del suelo y después convertido en nitritos y posteriormente en nitratos (Nitrosomona y Nitrobacter). Una vez en forma de nitratos, este compuesto es muy móvil y lixivía rápidamente, pudiendo también ser utilizado por las plantas; de aquí que sea conveniente una aplicación del nitrógeno en la parte superficial del terreno donde reside la población microbiana más importante y donde los nitratos una vez formados encontrarán las raíces de las plantas superiores. En cualquier caso, es de notar que las bacterias nitrificantes no existen en todos los suelos y que también se ven influidas por el clima.

La desnitrificación es otra reacción biológica importante que se da en este medio, a través de un proceso anaeróbico, en el que bacterias heterotróficas transforman el NO_3^- en N_2 y N_2O que son después liberados a la atmósfera, disminuyendo así el peligro para la calidad de las aguas subterráneas. Esta desnitrificación requiere PH neutro, condiciones anaeróbicas y substratos potentes. Estas condiciones se dan a menudo

en la parte inferior de la zona no saturada o con intermitencias como un resultado de la saturación del terreno.

Los organismos que fijan el nitrógeno son capaces de tomarlo de la atmósfera y de utilizarlo directamente para la síntesis de la materia celular. Una vez en el terreno, esta materia orgánica podrá sufrir los procesos de amonificación o mineralización, reacciones enzimáticas convertidoras del N orgánico en amoniaco, siendo una eventual fuente de nitrógeno.

Los diferentes aspectos del ciclo del nitrógeno han sido estudiados ampliamente en los últimos años, a causa del peligro para la salud que plantea la presencia de nitratos en el agua.

4.1.3.1.2. FOSFORO

Aún cuando la cantidad de fósforo que llega al suelo es normalmente mucho menor que la de nitrógeno, puede plantearse una seria amenaza para la calidad de las aguas, en casos en que el suelo haya sido sobrecargado y su capacidad de adsorción y/o fijación por el hierro, aluminio, calcio y minerales arcillosos, así como su utilización por las plantas no sea suficiente.

4.1.3.1.3. AZUFRE

El azufre no presenta los problemas planteados anteriormente para el nitrógeno y el fósforo, aún cuando los procesos microbianos relacionados con los compuestos de azufre, pueden ser de gran importancia. Bajo condiciones aeróbicas las reacciones microbianas pueden llevar a la mineralización de los sulfatos orgánicos y a la oxidación de los sulfuros metálicos y del SH_2 a $\text{SO}_4 =$ (el radical $\text{SO}_4 =$ puede ser utilizado por las plantas). Bajo condiciones anaeróbicas, se pueden formar sulfuros insolubles, con posibles graves perjuicios a los terrenos.

4.1.3.1.4. IONES INORGANICOS

Ciertos iones inorgánicos plantean una seria amenaza a la calidad del agua, si llegan hasta el acuífero. La población microbiana del suelo proporciona un mecanismo para paliar este peligro; que consiste en influir sobre la movilidad de los iones y en hacerlos asimilables por las plantas.

4.1.3.2. GERMENES PATOGENOS

La amenaza para la salud pública, debida a la transmisión de organismos patógenos, es tan real para las aguas subterráneas como para las superficiales, pues aún dándose gene-

ralmente como un hecho la protección que proporciona el suelo, no supone ello una eliminación universal y total. Entre los organismos patógenos que pueden llegar al terreno y después al acuífero se encuentran las bacterias, virus, protozoos, gusanos, etc. Aunque algunas enfermedades causadas por protozoos, gusanos y hongos, pueden ser transmitidas por el agua. Las más importantes son de tipo bacteriológico (como la disenteria, cólera y fiebre tifoidea) y de tipo virológico (como la hepatitis infecciosa). Por ello, se tiene en cuenta estos dos tipos y su existencia en las aguas. (12) (31)

4.1.3.2.1. CONTAMINACION BACTERIOLOGICA (32)

La fuente principal de contaminación del agua por bacterias patógenas, es el vertido de aguas fecales. La metodología tradicional, para la detección de dichas bacterias en las aguas tanto subterráneas como de superficie, ha consistido en buscar la presencia de un organismo indicador. La bacteria coliforme generalmente, organismo no nocivo que se encuentra en el intestino de muchos animales de sangre caliente y siempre presente en las heces humanas. Pero debido a que los coliformes pueden propagarse fuera del portador y de que hay otros portadores además del hombre, su presencia no implica necesariamente una contaminación por aguas fecales. A pesar de ello, la prueba de coliformes es clásica en todos los casos relacionados con posibles problemas de salud pública. (14) (15)

Varios autores han sugerido la realización de pruebas específicas para las diferentes bacterias patógenas, pero debido a las complejidades de dichas pruebas y al tiempo y dinero que requieren, no se han modificado gran cosa los tests primitivos. Por otra parte, los organismos de sanidad opinan, que la prueba de coliformes proporciona un factor de seguridad. Se supone que, en base a una prueba de coliformes, una actividad productora de éstos, será suspendida mucho antes de que pudiera llegar a presentarse el peligro de bacterias patógenas en número suficiente para causar enfermedades.(12)(31)

Dos factores de efectos contrarios sobresalen al considerar la contaminación bacteriológica de las aguas; por un lado la facilidad de los organismos para sobrevivir en las zonas saturadas y no saturadas y su facilidad para desplazarse a través del medio poroso: por otro, el freno que supone para el movimiento de las bacterias, la adsorción físico-química, así como la retención física por el suelo, cuando las aguas fecales o los afluentes tratados llegan al terreno.

No obstante y en condiciones muy singulares, se han observado casos de largas supervivencias, del orden de un año o más, destacando entre los factores que condicionan el proceso; el contenido de humedad, el PH, el contenido en oxígeno, la temperatura, la estructura del terreno, así como otros factores biológicos. Los mecanismos, a través de los cuales los

microorganismos tienden a eliminar otros cuerpos extraños, presentan una gran complejidad; entre ellos, los estudios muestran que cuando se utiliza un afluyente de aguas fecales para recargar directamente un manto acuífero, las bacterias antes de desaparecer, recorren unos 30 metros en la dirección del flujo y unos 20 metros en otras direcciones. Como se ve, la amenaza a la calidad de las aguas parece ser controlable. El principal límite a la movilidad es, seguramente, el efecto físico de filtrado.

4.1.3.2.2. VIRUS (31)

La fuente primaria de contaminación virológica del agua reside en las aguas fecales, al igual que ocurría con la bacteriológica. No existe un método tradicional para realizar pruebas de presencia de virus (al no ser aplicable la prueba de coliformes ya que los virus sobreviven más tiempo).

Los organismos de sanidad en general, no disponen de ningún criterio sobre la contaminación virológica, a pesar de haberse confirmado varias experiencias con hepatitis infecciosa en aguas de abastecimiento. En parte, esta falta de normas-tipo es debida al conocimiento relativamente reciente de los virus y de las enfermedades que ocasionan.

En general, la vida de los virus en el suelo o en el

agua, son fenómenos mal conocidos, así como su mayor o menor facilidad en desplazarse por estos medios porosos. La mayoría de los datos de laboratorio tienden a indicar que los virus - desaparecen del agua subterránea al quedar retenidos y adsorbidos por el terreno, después de un corto viaje: se supone - que los microorganismos del terreno y las condiciones ambientales son los responsables de su posterior destrucción. Existen varios posibles argumentos para explicar la discrepancia observada entre los resultados obtenidos en el terreno, donde se aprecia una cierta movilidad en los virus y en el laboratorio, posibles canales o fracturas en el terreno pueden ser la causa de un flujo directo de agua contaminada sin percolación; los ensayos de laboratorio se realizan en condiciones diferentes a las del terreno.

Cuando se aplican afluentes de aguas fecales al terreno, las condiciones climáticas son otro factor que influye favoreciendo la desaparición de virus: a través de la desecación, - las radiaciones ultravioletas, etc. No obstante, para este as pecto particular, la información científica es muy escasa, no existiendo conclusiones sobre la tasa de supervivencia de los virus, tanto en los suelos como en los acuíferos. (8)(14)(18) (33)

4.2. CAUSAS, TIPOS DE CONTAMINACION EN LAS AGUAS Y SU TRATAMIENTO

La contaminación de las aguas se caracteriza por la di--

versidad de sus formas y de sus orígenes, a barcando un panorama que va desde las fuentes superficiales hasta aquellas causas situadas en los sedimentos profundos.

Muchas de dichas fuentes están relacionadas con el uso que se hace del suelo y pueden caracterizarse por el alcance geográfico de la contaminación resultante, que de lugar a problemas locales o regionales.

4.2.1. CONTAMINACION INDUSTRIAL

La contaminación de las aguas subterráneas por la industria, se caracteriza por la tremenda variedad de sustancias químicas, orgánicas e inorgánicas, que este sector produce y que son susceptibles de convertirse en contaminantes, así como por la importante particularidad de poder ser considerada como una fuente de contaminación local o puntual. (35)(11)(13)

Existen varias fuentes principales: en términos de cantidad, la más relevante la constituyen los residuos derivados de los procesos de producción que son enviados a la atmósfera al terreno o a las aguas superficiales o subterráneas.

4.2.1.1. RESIDUOS LIQUIDOS

Los residuos líquidos, que pueden ser ácidos o compues--

tos orgánicos o aguas con altas concentraciones en sales y pro ductos disueltos, frecuentemente, estas aguas residuales son - vertidas en excavaciones, estanques mas o menos profundos, la- gunas, etc., a veces con la intención de proporcionar un últi- mo tratamiento a unas aguas ya tratadas y otras veces para su evaporación, concentración, infiltración o almacenamiento. En la actualidad, estos depósitos suelen estar recubiertos con al gún material impermeable de tipo arcilloso, plástico o asfal- to, además de ubicarse en zonas de baja permeabilidad, todo - ello con miras a conseguir una mejor estanqueidad. Pero, estas medidas son recientes y los estanques construidos hace algún - tiempo no suelen reunir estas características, con la consi - guiente infiltración y posible contaminación de los acuíferos poco profundos.

A veces las aguas residuales se eliminan mediante riego y aspersión sobre el terreno, particularmente en el caso de re siduos orgánicos provenientes de la industria alimenticia. Este proceso es semejante al vertido de residuos municipales en vertederos controlados, pudiéndose aplicar muchos de los mismos principios relativos a la zona de aereación y a su capacidad - de degradar bioquímicamente la materia orgánica y de eliminar elementos de las aguas residuales. Factores determinantes son las características físico-químicas del terreno y del residuo, y los tipos de cultivo, el método de aplicación y la climatolo g ía.

4.2.1.2. RESIDUOS SOLIDOS

Los residuos sólidos son otra faceta del problema de los vertidos industriales. Este tipo de residuos se ha venido eliminando en vertederos o escombreras mal controlados. Hoy en día, se tiende a su eliminación en vertederos controlados. Los vertederos, sean del tipo que sean, pueden sufrir una lixiviación, (3) por el agua de lluvia y por los residuos líquidos que en ocasiones se inyectan en ellos aprovechando el mismo lugar. La posible lixiviación de contaminantes en un vertedero controlado depende fundamentalmente del agua que recibe: precipitaciones naturales, infiltración en superficie, percolación de terrenos altos circundantes, contacto directo con el manto acuífero.

4.2.2. CONTAMINACION AGRICOLA

Son contaminantes potenciales: los residuos animales, las sales en el agua de irrigación y toda la gama de diferentes compuestos químicos, aplicados a las cosechas. Entre estos se encuentran los pesticidas y los compuestos, tanto orgánicos como inorgánicos de nitrógeno, fósforo y potasio, todos ellos presentes en los fertilizantes comerciales. (33) Por otra parte, las concentraciones ganaderas, la eliminación de residuos de cosechas u otras actividades de almacenamiento pueden ser origen de fuentes de contaminación.

4.2.2.1. LOS FERTILIZANTES COMO CONTAMINANTES DEL AGUA

El rápido aumento en el uso de fertilizantes debido principalmente, a su bajo costo, a nuevas variedades de alto rendimiento y a la necesidad de más altos rendimientos económicos, ha suscitado muchas cuestiones que conciernen a la contaminación de las aguas, tanto subterráneas como superficiales.

4.2.2.1.1. COMPUESTOS DE NITROGENO (30)

Los compuestos de nitrógeno son los nutrientes más importantes desde el punto de vista de contaminación de las aguas subterráneas, debido a la movilidad de los nitratos. Un porcentaje importante de nitrógeno (N), es aplicado al suelo en forma orgánica como estiércol o urea $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$. EL resto lo es en forma inorgánica como amoníaco NH_3 , sulfato amónico $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, nitrato amónico NH_4NO_3 , carbonato amónico $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ o nitrato cálcico $(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$.

Como quiera que las plantas pueden usar el nitrógeno solamente en forma de nitratos, el tipo de fertilizante escogido determina la proporción de nitrógeno utilizable por las plantas. (31); esto también determina el grado en que el nitrógeno es susceptible de ser lixiviado en la forma móvil de nitrato. Los compuestos nitrogenados orgánicos, actúan de una forma muy lenta, pues el nitrógeno tiene que ser primero mine

realizado y luego nitrificado. Los compuestos inorgánicos tales como el sulfato amónico, liberan su nitrógeno lentamente porque tienen que ser nitrificados. Finalmente, los compuestos a base de nitrato están listos, tanto para ser utilizados por las plantas como para ser lixiviados hacia las aguas. (32)

Los compuestos orgánicos de nitrógeno no son muy móviles en el suelo, consecuentemente, son solamente sus productos de gradados lo que puede crear problemas de contaminación. Los dos mecanismos primarios que acarrearán esta falta de movilidad son:

- a) La limitada solubilidad de los compuestos orgánicos, excepto en la presencia de aguas salinas y
- b) La facilidad de adsorción y resistencia a la desorción de los compuestos orgánicos en el suelo. (35)

La mayor parte de la investigación relativa a la lixiviación de compuestos nitrogenados inorgánicos, se centra sobre el nitrógeno en forma de nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y nitritos (NO_2^-). Estos estudios indican que el amonio y los nitritos representan solamente porciones insignificantes a menudo menos de uno por ciento del nitrógeno total lixiviado hacia las aguas. Los bajos niveles de nitrito pueden ser atribuidos

a la rápida oxidación a nitratos, mientras que el bajo nivel de amonio es atribuido a su fijación en el suelo, por un proceso de cambio iónico o a su oxidación de nitratos. La fijación del amonio reduce la nitrificación y limita la posibilidad que sus productos degradados, como los nitratos tienen para ser lixiviados.

Los nitratos (NO_3^-), que resultan de un proceso de nitrificación y constituyen casi todo nitrógeno presente en las aguas de lixiviación, pueden considerarse completamente móviles en suelos y aguas. Bajo ciertas condiciones los nitratos pueden ser adsorbidos. Por ejemplo, si hay concentraciones apreciables de óxido de hierro y aluminio, el PH tiene un valor de seis o inferior y si el suelo se encuentra bajo condiciones de no saturación, los nitratos pueden ser débilmente adsorbidos.

La concentración de nitrato en el agua que percola hacia el sistema acuífero, depende de la frecuencia de aplicación y del tipo de fertilizante utilizado, así como de la cantidad total de fertilizante aplicado y de la cantidad de nitrógeno orgánico o inorgánico ya existente en el suelo de factores físicos como la permeabilidad del suelo, la humedad del mismo, la cantidad de agua aplicada, ya sea por irrigación, o por causas naturales y la estratificación del suelo.

4.2.2.1.2. LOS COMPUESTOS DE FOSFORO

Los compuestos de fósforo se presentan tanto en forma orgánica como inorgánica y la mayoría de ellos permanecen estables en el suelo.

Aunque normalmente aplicado como P_2O_5 , las formas inorgánicas de fósforo encontradas en el suelo, son principalmente fosfato de hierro y aluminio en suelos ácidos y fosfatos de calcio en suelos alcalinos. Estas formas inorgánicas del fósforo son fijadas en un proceso en el cual los compuestos solubles cambian a formas menos solubles por reacciones con compuestos orgánicos e inorgánicos del suelo. El resultado es que estos compuestos tienen una movilidad limitada. La fijación se atribuye normalmente a una serie de fenómenos tales como la adsorción física, el cambio aniónico (reemplazamiento isomórfico) y reacciones de doble descomposición donde interviene la relación conocida como producto de solubilidad. Esta última es especialmente importante en sistemas donde el aluminio esté presente.

El fósforo en forma orgánica aparece principalmente como fosfato de inositol y en capacidades secundarias como ácidos nucleicos y fosfolípidos. Estos compuestos son adsorbidos o fijados por el suelo, de tal forma que su movilidad es tan restringida como la de los compuestos de fósforo inorgánicos.

Cualquier tipo de fósforo añadido como fertilizante o liberado por descomposición de materia orgánica, es convertido rápidamente en una forma insoluble y fijado en el suelo. Es por esta razón que la mayoría de los problemas relacionados con el fósforo, referentes a la calidad de las aguas, se presenta en aguas superficiales y son debidos a la erosión del suelo arrastrando compuestos de fósforo.

Debido a la baja solubilidad de los compuestos de fósforo y a su afinidad respecto al suelo, estas concentraciones no son consecuencia probable de la aplicación directa de fertilizantes.

4.2.2.1.3. LOS COMPUESTOS DEL POTASIO (3)(5)

El potasio se aplica normalmente al suelo como K_2CO_3 y por lo general no es causa de contaminación del agua dada su susceptibilidad de adsorción/cambio iónico por el suelo.

La lucha contra la contaminación por fosfatos depende ampliamente del control de la erosión del suelo. Por el contrario, el control del movimiento de los nitratos hacia las aguas superficiales o subterráneas, depende del control de la escorrentía y de la infiltración.

Para reducir la percolación de fertilizantes, que pueden

INSTITUTO VENEZOLANO DE AGRONOMIA

contribuir a la contaminación del agua subterránea, se han con-siderado varios métodos, entre los cuales están la determina--ción y aplicación de la cantidad de compuestos estrictamente -necesario en el tiempo y los lugares adecuados y la mejora de ciertas prácticas, tales como la labranza, rotación de cose --chas, etc.

4.2.2.2. PESTICIDAS

En términos generales se incluye a los fungicidas, herbi--cidas, insecticidas, fumigantes y rodenticidas. Los compuestos químicos orgánicos sintéticos son los más importantes por su -toxicidad y uso más frecuente. Los tres principales insectici--das en relación con la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales son: los organoclorados por su persistencia en el medio ambiente, los organofosforados por su relativa movili--dad y los carbonatos, relativamente recientes y poco conocidos en cuanto a su comportamiento en el suelo. Estos insecticidas son tóxicos tanto para los seres humanos como para los anima--les. (30) La mayoría de los herbicidas son importantes desde -un punto de vista de contaminación de aguas subterráneas y su--perficiales, pues presentan cierta movilidad y son tóxicos pa--ra las plantas en concentraciones moderadas, mientras que para los seres humanos y animales esta toxicidad se presenta en con-centraciones altas. Los pesticidas en polvo, atomizados o en -gránulos, se aplican por medio de equipos aéreos o terrestres,

y en algunos casos se introducen dentro del suelo. De aquí pueden ser lixiviados hacia el sistema acuífero.

4.2.2.3. RESIDUOS ANIMALES (5)(11)(33)

En los últimos años se ha prestado una gran atención a los residuos animales por la tendencia al establecimiento de grandes concentraciones ganaderas y de aves de corral. Los residuos líquidos y la materia orgánica sólida resultantes de estas operaciones es una fuente de nitrógeno y fósforo, entre otros factores, que pueden contaminar las aguas superficiales y subterráneas.

La materia orgánica presente en los residuos animales puede alcanzar las aguas superficiales y los nitratos producidos en la descomposición de los residuos ser lixiviados hacia el sistema acuífero.

Cuando los residuos se utilizan para abonar el terreno, las cantidades y el ritmo de aplicación deberían estar basados en los factores físicos, químicos y climáticos que influyen en su descomposición y arrastre.

4.2.3. CONTAMINACION URBANA Y DOMESTICA

Dos formas principales de residuos domésticos, generados

por la sociedad moderna amenazan la calidad de las aguas; los residuos sólidos y las aguas residuales urbanas.

Estos residuos o los resultantes del tratamiento de los mismos, tienen que ser eliminados de alguna manera. Si se vierten sobre el terreno o en excavaciones, las aguas subterráneas pueden resultar contaminadas.

Cualquier tipo de agua de superficie (ríos, lagos, canales, etc.) contaminada puede infiltrarse y degradar la calidad de las aguas subterráneas. En el caso de ríos y lagos el agua contaminada llegará a los acuíferos libre, en zonas donde los niveles piezométricos se encuentren a cuota más baja que los niveles del agua de superficie. El bombeo en sondeos o pozos cercanos a un río contaminado es ejemplo clásico de este fenómeno.

Muy diversos tipos de contaminantes pueden alcanzar los acuíferos subterráneos por este mecanismo, tanto orgánico e inorgánico como bacterias y virus. El problema es relativamente común en áreas fuertemente industrializadas y en zonas áridas donde los acuíferos presentan niveles más bajos.

El problema inverso, es decir, la contaminación de aguas superficiales debido a las aguas subterráneas, tiene lugar cuando las condiciones hidrogeológicas y de calidad son diame-

tralmente opuestas. Una gran cantidad del agua que circula por los ríos al cabo del año ha sido en algún momento agua subterránea, y si ésta estaba contaminada por alguna fuente que actuara en forma continua, el agua del río, a largo plazo, sufrirá también degradación en su calidad. EL ejemplo básico es el del movimiento de sales concentradas, durante el proceso de regadío, desde el acuífero bajo las tierras cultivadas hacia las fuentes o los ríos en conexión hidráulica con él.

Además de la aplicación directa sobre el terreno, de las aguas residuales, a menudo también se esparcen los lodos resultantes de un tratamiento convencional ya sea primario o secundario. (8) (14) (15) (38) EN principio se considera sencillamente como una forma de deshacerse de estas sustancias, aunque la aplicación de estos lodos puede considerarse beneficiosa desde cierto punto de vista. La amenaza potencial para la calidad de las aguas subterráneas como consecuencia de las actividades - mencionadas, está centrada en sus efectos biológicos y químicos, relacionados de una forma directa a su vez con la salud - pública.

La amenaza para la salud pública que representa la transferencia de organismos patógenos desde las aguas residuales urbanas a las fuentes de abastecimiento de aguas potables, es conocida desde hace tiempo. Esta amenaza es válida tanto para - las aguas subterráneas como para las superficiales.

La contaminación debida a la materia orgánica contenida en las aguas residuales urbanas es caracterizada por la demanda - bioquímica o biológica de oxígeno (DBO). La contaminación orgánica se presenta cuando el vertido se realiza en aguas superficiales, (4) (11) (31) (36) siendo mucho menos común en el caso de las aguas subterráneas, debido al factor suelo. Las sustancias orgánicas en las aguas residuales se descomponen por reacciones bacteriológicas enzimáticas. Si el oxígeno es suficiente, el proceso es aeróbico; si es insuficiente, el proceso es anaeróbico. La descomposición anaeróbica puede causar serios problemas en cuanto a olores y colores en las aguas. Esto determina la necesidad de un espesor considerable en la zona de aereación, para que el recorrido del agua residual, desde la superficie al punto de vertido hasta la zona saturada, sea lo suficientemente grande que permita la realización de dichos procesos aeróbicos.

Los compuestos químicos presentes en aguas residuales y en lodos de tratamiento representan una amenaza para la calidad - del agua subterránea y superficial por los restos de la biodegradación y las sustancias tanto orgánicas como inorgánicas potencialmente tóxicas, que no han sido diluidos. (13)

Estos compuestos no se eliminan generalmente en los procesos de tratamientos clásicos. Muchas reacciones químicas alteran el carácter de las aguas residuales cuando pasan a través - del suelo. Estas alteraciones pueden disminuir el impacto am --

biental, a través de la adsorción por el suelo de compuestos orgánicos o pueden hacer aumentar el peligro para el medio ambiente, mediante la conversión de nitrógeno orgánico en nitratos, los cuales son mucho más móviles y peligrosos. Las reacciones químicas más importantes que tienen lugar en el suelo en estos casos son: cambio iónico, adsorción, precipitación y alteración bioquímica. La influencia de las características del suelo, así como las condiciones climatológicas e hidrológicas, son parte del proceso de estudio para la selección de lugares de vertido.

Los afluentes urbanos contienen un número de sustancias tanto orgánicas como inorgánicas, consideradas como contaminantes. (8)

Una lista de ellas debería incluir los compuestos fenólicos, los pesticidas clorados, los bifenilos clorados, detergentes residuales, como sulfonatos de alquilbenceno y triacetato de nitrilo, productos petrolíferos y metales pesados. (5)

4.2.4. SISTEMAS DE TRATAMIENTO (4) (35) (36)

Los efectos contaminantes en las aguas se suelen medir por: la cantidad de sólidos suspendidos llevados y que son capaces de depositarse, además por la demanda bioquímica de oxígeno, junto con la cuenta de bacterias siendo las medidas prin

cipales de polución de las aguas.

1. Se recomiendan como medidas externas los tratamientos primario, secundario y terciario (7) que consisten respectivamente en la sedimentación de los sólidos en suspensión, la degradación de la materia orgánica y la eliminación de los mayores porcentajes de la DBO_5 y la DQO. (10) (37)

Los tratamientos primario y secundario son perfectamente conocidos y no se espera que en la década actual se mejoren sensiblemente en el proceso en sí y sólo exclusivamente en el control y automatización de los mismos y en las combinaciones de procesos químicos y biológicos.

2. Subsiste el agudo problema de la eliminación de los lodos, sobre todo los secundarios y sobre este tema queda mucho por hacer.

3. Por lo que se refiere al tratamiento terciario hay también que investigar todavía, pero ya existen varios métodos para ello. Filtración a través de medios especiales y adsorción por carbón activo para eliminar restos de sólidos suspendidos y demanda bioquímica de oxígeno y varios tratamientos especiales para la eliminación del color.

4.2.4.1. TRATAMIENTO PRIMARIO

El tratamiento primario consiste en la eliminación de la mayor cantidad posible de sólidos en suspensión mediante sedimentación, floculación o filtrado. Existen numerosos dispositivos industriales diseñados para estas operaciones, siendo el más utilizado el de la sedimentación o clarificación.

4.2.4.2. TRATAMIENTO SECUNDARIO

Después del tratamiento primario el afluente conserva de un 60 a un 90 por 100 de la DBO. El tratamiento secundario consiste en la eliminación de esta materia orgánica disuelta por medio de la oxidación o descomposición biológica. El tratamiento secundario se puede efectuar según varios procedimientos:

- Lagunas de aereación natural
- Lagunas de aereación mecánica
- Lodos activados
- Filtros o lechos bacterianos
- Regadíos.

Las lagunas de aereación natural, que son las que dieron origen al descubrimiento de este proceso secundario, son ya poco usadas actualmente, ya que requieren tiempos de retención -

de hasta cuarenta días.

Las lagunas de aereación mecánica constituyen quizá el -- proceso más utilizado hoy en día. En condiciones idóneas per-- miten eliminar fácilmente el 85 por 100 de la DBO.

En síntesis es un procedimiento análogo al anterior en - el cual el proceso de transferencia de oxígeno se acelera con siderablemente merced a la utilización de aereadores mecánicos.

El sistema de lodos activados consiste en una fermenta - ción rápida en presencia de grandes cantidades de microorganismos, o lodos activados, los cuales, en unas condiciones determinadas y constantes de PH, aereación intensa, presencia de nutrientes adecuados, etc., se alimentan de la materia orgánica y reducen la DBO. Una instalación de lodos activados comprende también el tratamiento primario ya descrito. (14)

Su principal ventaja es que elimina del 90 al 95 por 100 de la DBO y necesita mucho menos espacios que las lagunas. Como contrapartida es más caro y mucho más delicado de funcionamiento y control.

Los lechos bacterianos, hoy en decreciente uso, consis -- ten en la filtración del afluente a través de un relleno, de - altura variable, de materiales inertes, generalmente de PVC -

(antiguamente de ladrillo, puzolana, etc.)

En la superficie del relleno de este lecho estacionario prolifera una película biológica de bacterias, hongos, algas y protozoos, que degrada la materia orgánica reduciendo la DBO. Su eficacia es mucho menor que los demás procedimientos descritos por lo que está prácticamente en desuso.

Finalmente, el último tratamiento secundario, también prácticamente en desuso, es el de los regadíos o irrigación de terrenos con el afluente clarificado. Este sistema exige grandes extensiones de terreno, es el que los precisa mayores, y tiene además los inconvenientes de posible envenenamiento del terreno por el sodio, además de la eventual filtración del afluente a las aguas subterráneas.

4.2.4.3. TRATAMIENTO TERCIARIO

Este tratamiento permite la eliminación hasta del 98 por 100 de la DBO, así como la eliminación del color. (40) Los procedimientos más utilizados son la filtración a través de medios especiales y la absorción de carbón activo. Estos procedimientos están poco experimentados todavía. La mayor importancia del tratamiento terciario es la eliminación del color. El procedimiento con carbón activo, además de reducir la DBO del afluente secundario, reduce también el color, realmente -

el tratamiento con carbón activo se considera como uno de los llamados "sistemas de tratamiento avanzado de afluentes".

Otros procedimientos algunos en experimentación y uno al menos ya en proceso industrial, son:

Sistema de intercambio iónico.

Sistema de precipitación con iones hidróxido, desarrollado en Japón, que consiste en la adición de hidróxido de hierro como agente floculante.

Sistema utilizando aminas, desarrollado inicialmente en Francia y después en colaboración con Canadá, emplea una amina líquida y un solvente orgánico no miscible con el agua (queroseno u otro similar).

4.2.4.4. TRATAMIENTO AVANZADO DE EFLUENTES

Estos tratamientos han empezado a estudiarse hace unos 20 años. Son muy sofisticados y pretenden depurar casi totalmente el afluente a fin de utilizarlo con agua de proceso. Se reseñan brevemente a continuación, pese a que en general son técnicas caras en inversión y en gastos de funcionamiento.

La coagulación-sedimentación, que utiliza productos qui-

nicos, tales como cloruro férrico y alúmina, etc.

La adsorción sobre carbón activo, que elimina grandes cantidades de materia orgánica y que ya ha pasado a ser un tipo - de tratamiento terciario. Permite obtener afluentes con 50 ppm de DBO que permiten recircularlo como agua nueva al proceso.

La ósmosis inversa, que utiliza membranas semipermeables para concentrar los componentes disueltos en el afluente y recuperar agua limpia (con menos de 1 por 100 de subcarga contaminante original).

La electrodiálisis, para la eliminación de sólidos inorgánicos.

La evaporación, proceso análogo a la destilación del agua del mar.

La separación por espumas, mediante adsorción de los contaminantes solubles y flotación de los sólidos en suspensión - en la espuma con posterior separación de ésta.

La oxidación química con oxidantes fuertes como el ozono, oxígeno puro, cloro, etc.

La extracción líquido-líquido empleando solventes adecuados.

La congelación, todavía en estudio y sólo esbozado como sistema depurador.

CAPITULO 5

MATERIALES Y METODOS

5.1. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO (26)

El río Santiago se localiza en la parte superior del lago de Chapala, atraviesa los municipios de Poncitlán, Chapala, - Ixtlahuacán de los Membrillos, Juanacatlán, El Salto, Tonalá y Guadalajara en el estado de Jalisco. Pertenece a la cuenca del Lerma-Chapala-Santiago, una de las más importantes en el país.

Desde el lago de Chapala hasta su desembocadura al mar, - el río Santiago tiene una longitud de 450 km y desciende desde la elevación 1521 m hasta la elevación 18 m en Yago, estado de Nayarit, punto situado 50 km tierra adentro y donde el río entra a la planicie costera antes de desembocar al Océano Pacífico. (25) (24)

El río Santiago se desarrolla la mayor parte internamente, sobre terrenos situados al oriente de la Sierra Madre Occidental. Planos anexos.

5.1.1. HIDROGRAFIA (27)

El río Santiago tiene afluentes sobre la margen derecha -

que son importantísimos por la amplitud de su cauce y largos recorridos tales como el río Verde, Juchipila, Bolaños y Huaynamota.

La estación de El Salto tiene registrado un gasto máximo instantáneo de $469 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y la estación localizada en Puente Arcediano tiene un registro de $1965 \text{ m}^3/\text{seg.}$

5.1.2. CLIMA (24) (25) (26)

5.1.2.1. PRECIPITACION

La precipitación anual en milímetros de altura observada en la estación Poncitlán ubicada en las coordenadas longitud oeste $102^{\circ} 58'$, y latitud norte $20^{\circ} 22'$ es de 746.2 promedio y la observada en la estación Guadalajara ubicada en las coordenadas longitud oeste $103^{\circ} 20'$ y latitud norte $20^{\circ} 41'$ es de 950.1 promedio.

En ninguna parte de la región llueve un número menor de 48 días por año en promedio y los datos hidrológicos indican que el máximo en todos los casos ocurre en el mes de julio: empieza en el mes de mayo, sube en junio y culmina en el mes de julio que como mínimo concentra el 28% de la lluvia.

5.1.2.2. TEMPERATURA

Conforme a la clasificación de Köppen (modificada por E. García 1966). Los límites de la temperatura media dan lugar a la siguiente clasificación, zona térmica "semicálida" ya que en forma aproximada el 50% de la extensión de la cuenca queda comprendida entre los 18°C y los 22°C de temperatura.

5.1.2.3. EVAPORACION

El valor máximo absoluto que existe dentro de la cuenca del río Santiago es de 2451 mm y el mínimo de 1650 mm con registros de 1921 a 1973.

5.1.2.4. HUMEDAD RELATIVA

Los datos observados en la estación Guadalajara son de - 58% máximo.

5.1.2.5. DIAS CON GRANIZO

La estación de Tepatitlán en el período observado de - 1941 a 1973 reporta el número anual de granizadas de granizadas de seis y la estación Guadalajara reporta tres.

5.1.2.6. DIAS CON NIEBLA O NEBLINA

La incidencia de este fenómeno es variable presentándose en los meses de enero a marzo, donde llegan a observarse 100 días al año con niebla o neblina como promedio, aunque hay zonas donde el fenómeno de que se trata, realmente es raro y a lo sumo hay un día en promedio, durante el año.

5.1.2.7. DIAS DESPEJADOS

Las isopletras relativas indican que sobre la zona predomina un valor superior a 200 días despejados por año. Es también notable que, en ningún caso, se tienen valores inferiores a los 100 días despejados por año.

5.1.2.8. DIAS NUBLADOS

Las isopletras tienen las siguientes características principales:

En ninguna parte de la región hay más de 150 días nublados por año. El valor mínimo que tiene este fenómeno dentro de la región es de 50 días nublados al año como promedio.

Aproximadamente en el 70% de la extensión de la cuenca del río Santiago se tiene que los días nublados, en promedio

y por año están comprendidos entre 50 y 100 días nublados. -
(24)

5.1.3. SUELO

En base a la información proporcionada por las cartas De tenal (INEGI). Encontramos que la zona estudiada está formada por suelos de rocas sedimentarias y arenisca y formación aluvial, rodeados de rocas ígneas de basalto en su mayor parte.

5.1.4. RECURSOS HUMANOS

5.1.4.1. DENSIDAD DE POBLACION

Entre las poblaciones más densamente pobladas que se localizan en las márgenes del río Santiago encontramos a Ocotlán, Poncitlán, El Salto, Juanacatlán y Guadalajara segunda ciudad más grande del país, además de Atequiza y Atotonilquillo (INEGI).

5.1.5. ACTIVIDAD PRINCIPAL

La agricultura y la ganadería siguen siendo la principal actividad en la mayor parte de los municipios, por los cuales atraviesa el río Santiago, siguiendo en importancia la industria manufacturera y el comercio. (24)

5.1.6. AGRICULTURA

Se cultiva principalmente maíz, en los municipios de Ocotlán y Poncitlán donde se reportan 20 ha de maíz regados (30).

5.1.7. GANADERIA

No se tienen datos exactos sobre este renglón en la zona de estudio, detectándose población nómada, sin precisar un número. (24) (25) (26)

5.1.8. COMUNICACIONES

Se puede llegar a los márgenes del río Santiago por la carretera federal No. 80 que lo cruza en puente Grande y por la carretera federal No. 44 en su desviación a El Salto y Juanacatlán, además por la carretera estatal No. 11 Guadalajara-Ocotlán. (INEGI)

5.1.9. INDUSTRIA

Se localiza en la cuenca del río Santiago, el corredor industrial de El Salto, con diversas empresas de la industria química, metálica, petroquímica, cerámica, industrial, automotriz y de servicios. (19)

5.2. METODOLOGIA

Detección y observación de la contaminación.

El monitoreo para determinar la calidad del agua, incluye toma de muestras directa y medida de la calidad a distancia, inventario de las causas potenciales y reales que producen dichos cambios y análisis de las muestras de agua para determinar las causas que produjeron cambios en la calidad.

El muestreo para analizar la calidad del agua del río - Santiago se realizó en una red de puntos que se establecieron a lo largo del río, al tener conocimiento anticipado de las - fuentes de contaminación, tratando de predecir magnitud y dirección del movimiento de los contaminantes.

El principal objetivo del análisis de la calidad del - agua, es la obtención de resultados concretos de los componentes químicos y su alteración respecto a la contaminación del río, además de otros objetivos como la investigación hidrogeológica que se utiliza para determinar si el agua es adecuada para el uso que se destina o establecer el tratamiento previo a su utilización.

Para evaluar la contaminación en el río Santiago se manejaron los reportes de las siguientes estaciones: (28)

- E01. Puente Ocotlán, situada a un kilómetro aguas arriba de - la industria Celanese Mexicana.
- E02. Puente Poncitlán, situada a 700 metros aproximadamente - al norte de la población.
- E03. Derivadora Corona, situada aproximadamente a 3 kilóme -- tros aguas arriba de la población de Atotonilquillo.
- E04. El Salto de Juanacatlán, localizada a 50 metros abajo de la planta hidroeléctrica.
- E05. Puente Grande, localizada a 70 metros aguas arriba de la planta hidroeléctrica del mismo nombre.
- E06. Planta Las Juntas, ubicada a 25 kilómetros aproximadamente, aguas abajo de la presa hidroeléctrica intermedia.
- E07. Río Verde, confluencia con el río Santiago ubicada a 900 metros aproximadamente, aguas abajo de la planta hidro-- eléctrica Las Juntas.
- E08. Puente Arcediano localizada a 1.5 kilómetros aguas abajo de la planta hidroeléctrica Las Juntas.

El análisis de las muestras se manejó de acuerdo al instructivo para el manejo y toma de muestra de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (27) Los laboratorios utilizan el método estándar para el examen de aguas y aguas de -desecho (6) de acuerdo a la literatura (APHA-AWWA-WPCF) American Public Health Association, American Water Works Associa--tion y la Water Pollution Control Federation, (12) que utiliza las siguientes determinaciones:

- Gravimétricas: Sólidos en todas sus formas: grasas y aceites.
- Colorimétricas: Fósforo, detergentes, fenoles, color, nitrógeno como nitrato y sulfatos.
- Volumétricas: Acidez, alcalinidad, cloruros, dureza total y cálcica, demanda química de oxígeno nitrógeno como nitrito, - oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno.
- Bacteriológicas: Coliformes fecales y totales.
- Potenciométricas: Potencial de hidrógeno y conductividad eléctrica.

Los reportes que se utilizaron cubren el período de 1983 a 1992 las muestras fueron tomadas antes y durante el temporal de lluvias en los meses de marzo, abril y mayo. Se maneja ron potencial hidrógeno, temperatura, grasas y aceites, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitratos, dureza cálcica, sulfatos, cloruros, alcalinidad, sólidos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, turbiedad, conductividad, coliformes - totales y coliformes fecales.

Estos parámetros fueron comparados con el criterio ecológico, (23) (22) destinado para fuentes de abastecimiento de agua potable ya que contiene el mayor número de niveles máximos permitidos para cada uno de los parámetros antes mencionados.

Es oportuno mencionar que el criterio ecológico utilizado para riego agrícola no incluye la totalidad de los parámetros que se analizan en el monitoreo estatal de las principales corrientes de agua en el estado, por lo que se optó por el criterio utilizado para fuentes de abastecimiento.

CAPITULO 6

DIAGNOSTICO

6.1. ANTECEDENTES

6.1.1. DESCARGAS INDUSTRIALES

Desde el origen del río Santiago hasta la estación Puente Arcediano, se encuentran industrias desarrollando diferentes actividades como las de la industria textil, farmacéutica, resinas epóxicas, comercializadora de huevo, lácteos, establos, etc., representando mayor importancia la calidad de las descargas de la cuenca del arroyo El Ahogado con 54 descargas (urbanas, químicas, metálicas, porfíricas) (19) (20) este volumen forma un afluente que tiene como cuerpo receptor el río Santiago.

La ciudad de Guadalajara contribuye con un total de 1241 industrias en las que se incluyen descargas de restaurantes, gasolineras, talleres y una gran variedad de ramos de la industria, aportando un volumen mensual de 1'042,806 m³ de aguas sin tratamiento. (22)

No se tienen resultados de los efectos de la infiltración llevada a cabo por industrias que han escogido este tratamien-

C A P I T U L O 7

RESULTADOS Y DISCUSION

Se revisaron los reportes de laboratorio comprendidos entre los años 1983 a 1992, de ocho estaciones de monitoreo, cada reporte proporcionó datos sobre quince parámetros, de los que se tiene norma técnica y que fueron evaluados de acuerdo al criterio ecológico utilizado para fuentes de abastecimiento de agua potable. (22) Anexos al final.

TABLA 1
PARAMETROS FUERA DE NORMA
AÑO 1983

PARAMETRO	NORMA	ESTACIONES							
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08
OD mg/1	4.0	3.8	0.66	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
DBO mg/1	60.0						105.0		66.0
DQO mg/1	300.0						561.0		
ST mg/1	1000.0						1060.0		
SDT mg/1	500.0	740.0	652.0	606.0	755.0	797.0	790.0	521.0	526.0
Dur.Tot. mg/1	1.0	252.0	273.0	273.0	260.0	318.0	198.0	219.0	264.0
Turb. (UTJ)	(-) 10%	160.0	90.0	25.0	25.0	25.0	250.0	55.0	202.0
Conduc. mho/cm	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Colif.fec (NMP)	1000.0	-	-	-	-	-	460000	4600	460000

TABLA 2
AÑO 1984

PARAMETRO	NORMA	ESTACIONES							
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08
OD mg/1	4.0	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.41		3.4
DBO mg/1	60.0						81.0		58.0
SDT mg/1	500.0			608.0	715.0	789.0	720.0		
Dur.Tot. mg/1	1.0	230.0	226.0	239.0	230.0	230.0	223.0	85.0	134.0
Turb. (UTJ) (-) 10%		120.0	19.0	17.0		12.0	130.0		55.0
Conduc. mhos/cm	1.0	780.0	800.0	810.0	1000.0	1005.0	1050.0	510.0	705.0
Colif.fec (NMP)	1000.0	240,000	240,000	-	11'000	1'100	24'000	240	11'000

TABLA 3

AÑO 1985

PARAMETRO	NORMA	ESTACIONES							
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08
OD mg/1	4.0		1.5	1.5	0.0	0.0	0.0		0.0
DBO mg/1	60.0								219.0
DQO mg/1	300.0						439.0		
ST mg/1	1000.0						1046.0		
SDT mg/1	500.0	591.0	540.0	476.0	754.0	752.0	821.0		750.0
Dur.Tot. mg/1	1.0	200.0	133.0	207.0	226.0	226.0	225.0	81.0	266.0
Alcal. mg/1	400.0					422.0	446.0		
Turb. (UTJ) (-) 10%		290.0	260.0	300.0	42.0	28.0	1050.0	40.0	700.0
Conduc. mhos/cm	1.0	700.0	750.0	760.0	960.0	770.0	1090.0	480.0	970.0
Calif.fec.(NMP)	1000.0	-	-	-	-	-	-	-	-

TABLA 4

AÑO 1986

PARAMETRO	NORMA	ESTACIONES							
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08
OD mg/1	4.0		2.4	0.0	0.0	0.0	1.3		1.4
DBO mg/1	60.0								177.0
SDT mg/1	500.0	543.0		630.0	834.0	868.0	718.0		669.0
Dur.Tot. mg/1	1.0	207.0	251.0	224.0	251.0	251.0	202.0	75.0	108.0
Turb. (UTJ)	(-) 10%	1000.0					147.0		78.0
Conduc. mhos/cm	1.0	700.0	700.0	850.0	1300.0	1300.0	920.0	500.0	570.0
Colif.fec.(NMP)	1000.0	24,000	750,000	4,600	21,000	43	24'000	1,500	24'000

TABLA 5

AÑO 1987

PARAMETRO	NORMA	ESTACIONES							
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08
OD mg/1	4.0	1.9	1.1	0.63	0.0	1.1	2.7		4.8
DBO mg/1	60.0						122.0		
SDT mg/1	500.0	798.0			606.0		630.0		528.0
Dur.Tot. mg/1	1.0	-	-	-	21.8	222.0	247.0	177.0	140.0
Alcal. mg/1	400.0						431.0		
Turb. (UTJ) (-) 10%		-	-	-	18.0	11.0	218.0		13.0
Conduc. mhos/cm	1.0	790.0	800.0	820.0	900.0	920.0	1100.0	600.0	700.0
Colif.fec (NMP)	1000.0	-	-	-	1500	240,000	110,000	7	1'500

TABLA 6

AÑO 1988

PARAMETRO	NORMA	ESTACIONES							
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08
OD mg/1	4.0			0.4	0.0	0.0	0.4		0.6
SDT mg/1	500.0	722.0		656.0	879.0	849.0	952.0		562.0
Dur.Tot. mg/1	1.0	201.0		198.0	218.0	231.0	181.0	124.0	152.0
Alcal. mg/1	400.0			424.0	455.0	416.0	428.0		
Conduc. mhos/cm	1.0	950.0		990.0	1200.0	1190.0	1230.0	540.0	790.0
Colif.fec.(NMP)		-		-	-	-	-	-	-

NOTA: La estación E02 no se muestreó.

TABLA 7

AÑO 1989

PARAMETRO	NORMA	ESTACIONES							
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08
OD	mg/l	4.0	3.5	0.39	0.0	0.0	0.0		
DBO	mg/l	60.0	-	-	-	-	351.0		
DQO	mg/l	300.0	-	-	-	-	-		
ST	mg/l	1000.0	-	-	-	-	-		
SDT	mg/l	500.0	-	-	-	-	-		
SST	mg/l	500.0	-	-	-	-	-		
Dur.Tot.	mg/l	1.0	96.0	160.0	116.0	124.0	112.0		
Cloruros	mg/l	250.0	-	-	461.0	427.0	402.0		
Nitritos	mg/l	5.0	-	-	-	-	-		
Turb. (UTJ)	(-) 10%		-	-	-	-	-		
Conduc.mhos/cm	1.0		910.0	1500.0	1510.0	1400.0	1390.0		
Colif.fec.(NMP)	1000.0		-	-	-	-	-		

NOTA. Las estaciones E02, E07, E08, no se muestrearon.

TABLA 8

AÑO 1990

PARAMETRO	NORMA	ESTACION							
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08
Grasas y Ac.mg/1	0.0							5681.0	
OD mg/1	4.0	3.1	0.0	0.0	2.3	4.4	0.84		0.0
DBO mg/1	60.0						349.0		99.0
DQO mg/1							504.0		
ST mg/1	1000.0	1618.0				1258.0	3718.0		2584.0
SDT mg/1	500.0	1522.0	896.0	850.0	3864.0	1247.0	3518.0		2520.0
Dur.Tot. mg/1	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloruros mg/1	250.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Turb. (UTJ) (-) 10%		132.0	-	13.0		-	-		-
Conduc.mhos/cm	1.0	117.0	900.0	1175.0	1450.0	1590.0	1600.0	620.0	900.0
Colif.fec (NMP)	1000.0	-	-	-	-	-	-	0.0	-

TABLA 9

AÑO 1991

PARAMETRO	NORMA	E S T A C I O N							
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08
Grasas y Ac.mg/1	0.0	11.0	49.0	31.0	26.0	26.0	38.0	12.0	18.0
OD mg/1	4.0	2.4	1.0	0.4	0.0	2.0	0.6		
DBO mg/1	60.0				121.0		222.0		101.0
ST mg/1	1000.0	1004.0					1602.0		1032.0
SDT mg/1	500.0	820.0	783.0	808.0	975.0	900.0	1326.0	604.0	937.0
Dur.Tot. mg/1	1.0	230.0	-	-	-	-	308.0	67.0	196.0
Cloruros mg/1	250.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Turb. (UTJ) (-) 10%		45.0	75.0	15.0			18.0		
Conduc.mhos/cm	1.0	1010.0	810.0	800.0	1020.0	1000.0	1380.0	520.0	1010.0
Colif.fec.(NMP)	1000.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Temp. °C	+ 2.5	-	-	-	-	-	-	-	-

TABLA 10

AÑO 1992

PARAMETRO	NORMA	ESTACION							
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08
Grasas y A.mg/1	0.0	2.9	36.0	31.0	35.0	31.0	59.0	48.0	74.0
OD mg/1	4.0	2.0	0.8	0.0	0.0	0.0	1.0		
DBO mg/1	60.0						141.0		
ST mg/1	1000.0				1030.0	1002.0			
SDT mg/1	500.0	562.0	596.0	805.0	1015.0	994.0	925.0		
Dur.Tot.	1.0	151.0	203.0	203.0	261.0	255.0	244.0	116.0	116.0
Turb. (UTJ)	(-) 10%	33.0	25.0		10.0	16.0	34.0		
Conduc. mhos/cm	1.0	680.0	590.0	595.0	1100.0	1000.0	1020.0	395.0	470.0
Colif.fec(NMP)	1000.0	-	-	-	-	-	1300	16500	18000
Temp °C	+ 2.5	-	-	-	-	-	-	28	28

- No se realizó análisis de laboratorio

1. OXIGENO DISUELTO (OD)

De acuerdo a los resultados, la ausencia de oxígeno disuelto que se dá en siete de ocho estaciones monitoreadas, - son indicativos de porcentajes de materia orgánica que no pueden oxidarse, ni efectuar las reacciones bioquímicas y biológicas. La estación E01 Puente Ocotlán, responde a la sedimentación, que se logra en forma natural en el lago de Chapala, con valores iniciales de oxígeno disuelto de 1.9 a 3.8 mg/litro.

2. DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)

En las demás estaciones se detectan condiciones anaeróbicas, producto de descargas sin control que se dan en el trayecto de estudio, agravándose en la estación E06 Las Juntas, donde la demanda bioquímica de oxígeno, llega a niveles del - 351.0 mg/litro, en el año 1989 y la estación E08 Puente Arcediano con 219.0 mg/litro en el año 1985.

3. DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

Se registran niveles altos en los años 1983, 1985 y 1990 donde se observaron cantidades de 561.0, 439.0 y 504.0 mg/litro, visiblemente en la estación E06. Este parámetro nos indica la cantidad de oxígeno requerido para oxidar, bajo condi--

ciones específicas materia orgánica e inorgánica. Podemos precisar el aumento como una consecuencia de las descargas urbanas e industriales de las poblaciones de Tonalá, Tlaquepaque y Guadalajara, vertidas a corta distancia del punto donde se realiza el muestreo. (20) (21)

4. SOLIDOS TOTALES (ST)

Como lo indica el término, bajo este nombre se distinguen todos los constituyentes sólidos de las aguas. Los sólidos pueden clasificarse o agruparse de acuerdo con su condición física, como sólidos suspendidos, sólidos disueltos. Las cantidades de sólidos totales sufrieron variaciones de 1002.0 a 3718.0 mg/litro presentándose con regularidad en la estación E06 planta Las Juntas.

5. SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)

El término incluye todos los sólidos que pasan a través de la capa filtrante de asbesto de un crisol Gooch.

Los sólidos disueltos totales muestran una variación, la más alta, de 3718.0 mg/litro en el año 1990 en la estación E06, a 521.0 mg/litro en el año 1983 en la estación E07 la más baja. El departamento de Sanidad del estado de Nueva York (13) en su manual menciona que en los sólidos disueltos totales, en

contraremos aproximadamente un 40% de sólidos orgánicos y un 60% de inorgánicos.

6. DUREZA TOTAL, TURBIEDAD, CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

Los parámetros de dureza total, turbiedad y conductividad están estrechamente ligados al contenido de sales minerales solubles, en las corrientes que proceden principalmente de escurremientos (12). La turbiedad muestra altos índices, por los altos contenidos de limos ya mencionados por un estudio de la UNAM (34), realizado en la cuenca Lerma-Chapala-Santiago, hasta la derivadora Corona, donde se encuentran altos contenidos de sólidos en suspensión. Estos son confirmados por una conductividad eléctrica que se encuentra por encima de las cifras marcadas como límite (la conductividad es proporcional a la concentración total de sólidos disueltos). (6)

7. COLIFORMES FECALES

El parámetro coliforme se ha adoptado como indicador de la contaminación bacteriana (12), estableciendo como límite, el número de mil coliformes totales por cada 100 ml. Estos son usualmente encontrados en el lugar donde son vertidas descargas que contienen desechos orgánicos, procedentes de seres de sangre caliente. Este factor es uno de los que más limitan el riego agrícola (15), debido al peligro potencial de originar

de originar enfermedades en el hombre. Los resultados encontrados en los análisis de laboratorio de las ocho estaciones, confirman el vertido de aguas residuales provenientes de concentraciones urbanas.

8. GRASAS Y ACEITES

Recientemente se ha incluido el análisis del parámetro - grasas y aceites desde el año 1990, encontrando resultados - que varían entre 2.9 y los 74.0 mg/litro, con un resultado de 5681.0 mg/litro seriamente dudoso.

Se han incluido en este estudio los análisis de la estación E07, localizada en la confluencia entre el río Verde y - el río Santiago, con la finalidad de establecer diferencias - entre una corriente que recibe descargas de tipo industrial y urbana y una corriente que lleva consigo descargas principalmente urbanas, de poblados pequeños. Igualmente podemos apreciar el efecto que producen las aportaciones de este río, a - la corriente del río Santiago, por los resultados monitoreados en la estación E08 Puente Arcediano.

Al hacer un recorrido físico por el tramo de estudio, es te presenta un aspecto desagradable, debido a la gran cantidad de sólidos que lleva en su cauce, pero el efecto que producen nuevas aportaciones por parte de las corrientes tributa

rias (río Verde) no pueden negarse. Igualmente los efectos de la topografía, clima y el funcionamiento de sistemas de tratamientos municipales, como los de Ocotlán, Poncitlán, Atequiza, Juanacatlán y El Salto, los tratamientos industriales de las compañías Nestlé, Celanese, Ciba-Geigy y algunas empresas del corredor industrial de El Salto, logran aminorar la carga contaminante, que sólo es alterada por los efectos de las descargas detectadas en la estación E06, donde no se tiene tratamiento. (Plano anexo)

El cauce del río Santiago cambia constantemente, es de esperar que antes de su salida al Océano Pacífico logre una total recuperación. No se tienen datos de las dos estaciones localizadas en el estado de Nayarit, que sería lo ideal para comprobarlo.

Antes de utilizar el cauce de esta corriente para uso agrícola, será conveniente tener un estudio más detallado, que abarque más puntos de muestreo y mayor frecuencia en los análisis, antes de recomendar su utilización.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. La contaminación industrial y urbana se encuentra presente en el trayecto de estudio del río Santiago.
2. La contaminación no es un problema exclusivo de una región como la indican las acciones del gobierno federal sobre el uso y aprovechamiento de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago (9) (10) (16) (37) lo que nos da idea de la importancia que tiene esta cuenca hidrológica, para el país.
3. El volumen aportado por los afluentes del río Santiago, (río Verde), la topografía de la cuenca, (39) y los sistemas de tratamiento logran aminorar, la carga contaminante como lo indican los resultados de laboratorio, de la estación Puente Arcediano.
4. El número de parámetros a observar en un punto dado es pequeño, haciéndose necesario, la toma de muestras más frecuentes, teniendo en cuenta en primer lugar, la composición

ción de las aguas en su estado natural y en segundo lugar, la influencia de la actividad humana, debido a un aumento en la producción de residuos.

5. No se tiene un estudio sistemático a observar en cada tipo de contaminación.
6. Las ocho estaciones en el tramo de estudio nos dan una visión muy general del problema.
7. El agua del cauce del río Santiago, sólo podrá utilizarse cuando reciba un tratamiento previo, con el fin de cumplir con los requisitos marcados por las normas técnicas ecológicas requiriendo para ello, instalaciones y equipos, dada la variedad y calidad de las descargas que este río conduce.

La utilización del agua de corrientes, donde son depositados desechos industriales y urbanos lleva riesgos, aún no bien comprendidos, ni estudiados, por lo que hace riesgosa su aplicación en la agricultura, sin antes un tratamiento.
(18) (29)

8. La capacitación al industrial, al profesionista y al habitante en general, es un recurso poco utilizado por lo que no se atacan las causas que motivan el problema de la contaminación.

CAPITULO 9

RECOMENDACIONES

1. El uso o la utilización de sistemas de tratamiento.
2. La adecuación de las leyes (ecológicas, de equilibrio, etc.) en relación al número normal y sostenible de los recursos hidráulicos de la nación.
3. La capacitación al técnico profesional (agrónomo, biólogo, - ingeniero industrial) con la finalidad de que se puedan aplicar los conocimientos necesarios.
4. El establecimiento de un programa de preparación de recursos humanos con alto nivel, para atender los problemas de contaminación de las aguas en el estado de Jalisco.
5. Difundir cultura y concientizar a la población en el uso concreto y racional de las aguas.
6. Establecer un programa de investigación tecnológica, con el propósito de buscar soluciones a la contaminación de las - aguas en vinculación con las universidades estatales.

CAPITULO 10

BIBLIOGRAFIA

1. Asociación Mexicana de Aguas, A.C. IX Convención Internacional Anual, 1991, Guadalajara, Jalisco. Suministro y Calidad de los Servicios Hidráulicos de la ciudad de México.
2. _____ 1991, Cuestiones de la Calidad del Agua Potable en los Estados Unidos.
3. Andrade, A. 1975. La Erosión. México, Fondo de Cultura Económica.
4. Barnes, G.E., 1967 Tratamiento de Aguas Negras y Desechos Industriales, UTEHA.
5. Botello, V.A., 1982. La Contaminación en el Mar. Ciencia y Desarrollo, México. 8 (43): 91-102.
6. Chapman H. y Pratt P., 1979, Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Aguas, Trillas, S.A.
7. Freeman III, M.A. Control de la Contaminación del Agua y - el Aire, 1987. Limusa, S.A.
8. Gamrasni, M.A., 1985 Aprovechamiento Agrícola de Aguas Negras, Limusa, S.A. de C.V.
9. Jalisco. Chapala Un Lago para México, 1990 Guadalajara. - Unidad Administrativa.
10. Jalisco. Sistema para El Control y Preservación de la Calidad del Agua, Cuenca Lerma-Chapala-Santiago 1991, Gobierno del Estado.

11. La Contaminación. 1973. Salvat Editores, S.A.
12. Manual de la American Water Works Association, 1976, Agua su Calidad y Tratamiento. UTEHA.
13. Manual de Tratamiento de Aguas Negras. 1964. Departamento de Sanidad de Nueva York, Limusa, S.A.
14. México, Comisión Nacional del Agua, 1992. Boletín Entre - Aguas. El Riego con Aguas Residuales.
15. _____ 1990 Manual Técnico para Uso, Aprovechamiento y Ma - nejo de Aguas Residuales en Riego Agrícola no Publicado.
16. _____ 1991 Evaluación de los Avances en el Programa de - Ordenación de los Aprovechamientos Hidráulicos y Saneamien - to de la Cuenca Lerma-Chapala no Publicado.
17. _____ 1992 Informes de agosto. Gerencia Regional Lerma - Balsas. No Publicado.
18. _____ 1992 Jornada de Trabajo del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. No Publicado.
19. _____ 1992 Reunión de Evaluación, Cuenca del Ahogado. No Publicado.
20. _____ 1992 Registros de Descargas Industriales y Municipales del Estado de Jalisco. No Publicado.
21. _____ 1992 Volumen de las Descargas por Cuenca Sistema - Intermunicipal a los Servicios de Agua y Alcantarillado de la Zona Metropolitana de Guadalajara. No Publicado.
22. México, Diario Oficial de la Federación. 18 de enero de - 1988, 4 de agosto 1989, 13 de diciembre 1989, 20 de sep - tiembre 1991, 24 de octubre 1991, Normas Técnicas Ecológicas.

23. México. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, 1989
Gaceta Ecológica. Normas Técnicas Ecológicas.
24. México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos,
1973. Boletín Climatológico No. 2 Cuenca del río Santia--
go.
25. _____ 1973 Boletín Hidrológico No. 4 río Santiago.
26. _____ 1973 Boletín Hidrológico No. 7 río Santiago.
27. _____ 1976 Instructivo para la Toma y Transporte de Muestras
de Agua para Análisis Químicos y Bacteriológicos.
28. _____ 1991 Reporte de Laboratorio, Red Estatal de Monito
reo. Centro de Estudios Limnológicos.
29. _____ 1991 Superficie Regada con Aguas Residuales. Dis--
tritos de Desarrollo Rural, 01 Zapopan y 006 La Barca, Jal.
30. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y
la Alimentación. Los Fertilizantes y su Empleo Roma. 1970.
31. _____ Contaminación de las Aguas Subterráneas Roma 1981.
32. Organización Panamericana de la Salud. 1984 Normas de Calidad
del Agua Potable. Roma.
33. Sacristán E. 1992. Contaminación de Suelos. Revista Natu--
ra, México. (106): 28-32.
34. Sandoval F. de P. 1979 Verdades y Mitos del Lago de Chapa--
la. Gobierno del Estado de Jalisco.
35. Simposio del Agua en la Industria, 1o., Madrid, España, -
1972, Castilla, S.A.
36. Simposio del Agua en la Industria, 2o., Madrid, España, -
1974, Castilla, S.A.

37. Sistema para el Control y Preservación de la Calidad del -
Agua. Cuenca Lerma-Chapala-Santiago. 1991 Revista Iztacatl
Guadalajara, Jal. México. 1 (40:16).
38. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, -
A.C. Octavo Congreso Nacional 1992, Querétaro, Querétaro,
México. Impacto Ambiental del Riego con Aguas Residuales -
Murrieta B. y Uvalle B.
39. Tamayo, Jorge L. 1974 El Problema Fundamental de la Agri--
cultura Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas.
México.
40. Wetzel 1975 Limnología. Omega, S.A.

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO BACTERIOLÓGICOS

RÍO SANTIAGO

RESULTADOS DE LABORATORIO

HOJA 1

Estación	pH	Temperatura		Grasas Aceites	OD	DBO	DQO	Nitratos NO ₃	Dureza CaCO ₃	Sulfatos	Cloruros	Alcalinidad Ca CO ₃	Sólidos suspendidos			Turbiedad	Conduc-tividad	Coliformes	
		Campo	Agua										totales	disuelt. tot.	totales			tot.	fec.
E-01 Puente Ocotlán	8.8	25	-		*3.8	1.6	23.0	0.26	*252.0	78.0	48.0	362.0	758.0	18.0	*740.0	*160.0	-	*24,000	-
E-02 Puente Poncitlán	8.5	25	23		*0.66	2.1	20.0	0.22	*273.0	80.0	46.0	334.0	716.0	64.0	*652.0	*90.0	-	*4000,000	-
E-03 Derivadora Corona	7.5	23	23		*0.0	1.4	15.0	0.19	*273.0	77.0	45.0	371.0	612.0	6.0	*606.0	*25.0	-	*2400,000	-
E-04 El Salto de Juanacatlán	7.5	20	22		*0.0	2.5	40.0	0.1	*260.0	89.0	34.0	376.0	766.0	11.0	*755.0	*25.0	-	*1500,000	-
E-05 Puente Grande	7.6	22	20		*0.0	1.2	39.0	0.1	*318.0	100.0	81.0	390.0	800.0	3.0	*797.0	*25.0	-	*110,000	-
E-06 Planta Las Juntas	8.6	22	22		*0.0	*105.0	*561.0	0.51	*198.0	64.0	24.0	350.0	*1060.0	270.0	*790.0	*250.0	-	*2400,000	*460,000
E-07 Río Verde confluencia Río Santiago	8.7	22	22		7.0	1.6	6.0	0.18	*219.0	60.0	55.0	172.0	534.0	13.0	*521.0	*55.0	-	*11,600	4,600
E-08 Puente Arcediano	7.8	22	22		*0.0	*66.0	266.0	0.17	*264.0	111.0	71.0	312.0	786.0	250.0	*526.0	*202.0	-	*1100,000	*466,000
Criterio Ecologico SEDUE	5a9	condiciones naturales +2.5 °C		Ausente	4.0 mg/l	60.0 mg/l	300.0 mg/l	5.0 mg/l	1.0 mg/l	500.0 mg/l	250.0 mg/l	400.0 mg/l	1000.0 mg/l	500.0 mg/l	500.0 mg/l	visibilidad no mas de 10.0	1.0 micromhos/cm	1000.0 NMP/100ml.	

(*) Fuera de norma (-) No se determino

RESULTADOS DE 1983

ANALISIS FISICO QUIMICO BACTERIOLOGICOS

RIO SANTIAGO

RESULTADOS DE LABORATORIO

HOJA 2

Estación	pH	Temperatura		Grasas Aceites	OD	DBO	DQO	Nitratos NO ₃	Dureza CaCO ₃	Sulfatos	Cloruros	Alcalinidad Ca CO ₃	Sólidos			Turbiedad	Conduc-tividad	Coliformes	
		Campo	Agua										totales	suspendidos totales	disuelt. tot.			tot.	fec.
E-01 Puente Ocolón	8.7	-	-		* 3.0	4.1	-	0.19	* 230.0	82.0	34.0	302.0	363.0	111.0	252.0	* 120.0	* 780.0	* 1500,000	240,000
E-02 Puente Poncitlán	8.1	-	25		* 1.0	2.4	34.0	0.18	* 225.0	125.0	34.0	302.0	297.0	43.0	254.0	* 19.0	* 800.0	* 1500,000	240,000
E-03 Derivadora Corona	7.45	23	-		* 0.0	2.0	30.0	0.062	* 239.0	82.0	37.0	322.0	642.0	34.0	*608.0	* 17.0	* 810.0	-	-
E-04 El Salto de Juancatlán	7.2	23	-		* 0.0	4.9	45.0	0.14	* 230.0	120.0	57.0	347.0	726.0	11.0	*715.0	10.0	*1000.0	*24000,000	11000,000
E-05 Puente Grande	7.9	23	-		* 0.0		48.0	0.023	* 230.0	126.0	35.0	347.0	804.0	15.0	*789.0	* 12.0	*1005.0	* 2400,000	1100,000
E-06 Planta Las Juntas	7.2	22	-		*0.4	*81.0	224.0	0.24	* 223.0	116.0	20.0	409.0	880.0	160.0	*720.0	* 130.0	*1050.0	*24000,000	24000,000
E-07 Río Verde confluen. Río Santiago	8.5	23	-		6.3	2.0	11.0	0.0280	* 85.0	95.0	20.0	157.0	426.0	31.0	395.0	2.0	* 510.0	* 2,400	240
E-08 Puente Arcediano	7.85	23	-		*3.4	*58.0	40.0	0.035	*134.0	92.0	60.0	229.0	500.0	54.0	446.0	* 55.0	*705.0	*24000,00	11000,000
Criterio Ecologico SEDUE	5a9	condiciones naturales +2.5 °C		Ausente	4.0 mg/l	60.0 mg/l	300.0 mg/l	5.0 mg/l	1.0 mg/l	500.0 mg/l	250.0 mg/l	400.0 mg/l	1000.0	500.0	500.0	visibilidad no más de 10.0	1.0 micromhos/cm	1000.0 NMP/100ml.	

(*) Fuera de norma (-) No se determinó

RESULTADOS DE 1984

ANALISIS FISICO QUIMICO BACTERIOLOGICOS
RIO SANTIAGO
RESULTADOS DE LABORATORIO

Estación	pH	Temperatura		Grasas Aceites	OD	DBO	DQO	Nitros NO ₃	Dureza CaCO ₃	Sulfatos	Cloruros	Alcalinidad Ca CO ₃	Sólidos			Turbiedad	Conduc tividad	Coliformes tot. fec.	
		Campo	Agua										suspensos totales	disuelt. tot.	totales				
E-01 Puente Ocotlán	8.35	24	-		* 6.0	56.0	67.0	-	*200.0	111.0	33.0	292.0	664.0	73.0	*591.0	* 290.0	† 700.0	-	
E-02 Puente Poncitlán	8.4	24	-		* 1.5	24.0	65.0	-	*133.0	90.0	36.0	309.0	586.0	46.0	*540.0	* 260.0	± 750.0	-	
E-03 Derivadora Corona	8.4	23	-		* 1.5	28.0	60.0	-	*207.0	87.0	37.0	294.0	530.0	54.0	476.0	* 300.0	† 760.0	-	
E-04 El Salto de Juonocatlán	7.1	-	-		* 0.0		51.0	-	*226.0	130.0	56.0	318.0	720.0	6.0	*754.0	* 42.0	† 960.0	-	
E-05 Puente Grande	7.1	-	-		* 0.0		66.0	-	*226.0	150.0	54.0	*422.0	760.0	8.0	*752.0	* 28.0	× 770.0	-	
E-06 Planta Las Juntas	7.8	-	-		* 0.0		*439.0	-	*225.0	132.0	71.0	*446.0	*1046.0	225.0	*821.0	*1050.0	†1090.0	-	
E-07 Río Verde confluen. Río Santiago	8.35	-	-			12.0	1.4	14.0	-	* 81.0	76.0	20.0	163.0	348.0	6.0	342.0	* 40.0	† 480.0	-
E-08 Puente Arcediano	7.7	-	-		* 0.0	*219.0	278.0	-	*266.0	114.0	67.0	330.0	920.0	170.0	*750.0	* 700.0	× 970.0	-	
Criterio Ecologico SEDUE	5a9	condiciones naturales +2.5 °C		Ausente	4.0 mg/l	60.0 mg/l	300.0 mg/l	5.0 mg/l	1.0 mg/l	500.0 mg/l	250.0 mg/l	400.0 mg/l	1000.0 mg/l	500.0 mg/l	500.0 mg/l	visibilidad no mas de 10.0	1.0 micromhos cm	1000.0 NMP/100 ml.	

(*) Fuera de norma (-) No se determinó

ANALISIS FISICO QUIMICO BACTERIOLOGICOS
RIO SANTIAGO
RESULTADOS DE LABORATORIO

Estación	pH	Temperatura Campo Agua	Grasas Aceites	OD	DBO	DQO	Nitratos NO ₃	Dureza CaCO ₃	Sulfatos	Cloruros	Alcalinidad Ca CO ₃	Sólidos suspendidos disuelt. totales tot.			Turbiedad	Conduc- tividad	Coliformes tot. fec.
E-01 Puente Ocotlán	8,5	21.0	-	5.7	2.4	22.0	0.62	*207.0	-	16.0	298.0	656.0	113.0	*543.0	*100.0	*700.0	*240,000 +24,000
E-02 Puente Poncitlán	7.4	27	-	*2.4	5.0	27.0	0.13	*251.0	-	92.0	381.0	508.0	52.0	456.0	8.8	*700.0	*1200,000+750,000
E-03 Derivadora Corona	7.6	28	-	*0.0	5.05	26.0	0.1	*224.0	-	42.0	307.0	658.0	28.0	*630.0	5.6	*850.0	* 15,000 + 4,600
E-04 El Salto de Juanacatlán	7.4	30	-	*0.0	22.0	48.0	0.33	*251.0	-	80.0	369.0	882.0	48.0	*834.0	5.6	*1300.0	* 460,000 +21,000
E-05 Puente Grande	7.4	30	-	*0.0	30.0	51.0	0.28	*251.0	-	75.0	366.0	890.0	22.0	*868.0	2.7	*1300.0	93 43
E-06 Planta Las Juntas	7,5	31	-	*1.3	111.0	254.0	0.41	*202.0	-	54.0	307.0	964.0	246.0	*718.0	*147.0	* 920.0	*24000,000+240000,000
E-07 Río Verde confluen. Río Santiago	7.6	31	-	7.6	4.1	22.0	0.1	* 75	-	13.0	142.0	518.0	120.0	398.0	7.8	*500.0	*11,000 +1,500
E-08 Puente Arcediano	6.8	32	-	*1.4	*177.0	204.0	0.53	*108.0	-	36.0	121.0	742.0	73.0	*669.0	* 78.0	* 570.0	*24000,000+24000,000
Criterio Ecologico SEDUE	5a9	condiciones naturales +2.5 °C	Ausente	4.0 mg/l	60.0 mg/l	300.0 mg/l	5.0 mg/l	1.0 mg/l	500.0 mg/l	250.0 mg/l	400.0 mg/l	1000.0 mg/l	500.0 mg/l	500.0	visibilidad no mas de 10.0	1.0 micromhos cm	1000.0 NMP/100ml.

(*) Fuera de norma (-) No se determino

ANALISIS FISICO QUIMICO BACTERIOLÓGICOS

RÍO SANTIAGO

RESULTADOS DE LABORATORIO

HOJA 5

Estación	pH	Temperatura		Grasas Aceites	OD	DBO	DQO	Nitratos NO ₃	Dureza CaCO ₃	Sulfatos	Cloruros	Alcalinidad CaCO ₃	Sólidos			Turbiedad	Conduc-tividad	Coliformes	
		Campo	Agua										totales	suspendidos totales	disuelt. tot.			tot.	fec.
E-01 Puente Ocotlán	7.6	-	-		*1.9	8.4	-	0.44	-	-	-	300.0	-	102.0	*798.0	-	*790.0	-	-
E-02 Puente Poncitlán	7.7	-	-		*1.1	12.0	-	0.1	-	-	-	322.0	-	84.0	238.0	-	*800.0	-	-
E-03 Orivadora Corona	7.1	-	-		*0.63	32.0	-	0.37	-	-	-	338.0	-	28.0	310.0	-	*820.0	-	-
E-04 El Salto de Juanacatlan	7.7	22	-		*0.0	17.0	44.0	0.1	*21.8	132.0	57.0	325.0	696.0	30.0	*606.0	*18.0	*900.0	*460,000	*1,500
E-05 Puente Grande	8.3	23	-		*1.1	18.0	47.0	0.54	*222.0	128.0	60.0	316.0	438.0	9.0	429.0	*11.0	*920.0	*1100,000	*240,000
E-06 Planta Los Juntas	7.8	20	-		*2.7	*122.0	194.0	0.38	*247.0	121.0	68.0	*431.0	870.0	240.0	*630.0	*218.0	*1100.0	*2400,000	*110,000
E-07 Río Verde confluencia Río Santiago	8.0	20	-		9.0	1.3	3.5	1.4	*177.0	81.0	60.0	206.0	398.0	3.0	395.0	8.4	*600.0	43	7
E-08 Puente Arcediano	8.1	20	-		4.8	8.8	24.0	0.29	140.0	85.0	30.0	250.0	568.0	40.0	*528.0	*13.0	*700.0	*2400,000	*1500,000
Criterio Ecologico SEDUE	5a9	condiciones naturales +2.5 *C		Ausente	4.0 mg/l	60.0 mg/l	300.0 mg/l	5.0 mg/l	1.0 mg/l	500.0 mg/l	250.0 mg/l	400.0 mg/l	1000.0 mg/l	500.0 mg/l	500.0 mg/l	visibilidad no mas de 10.0	1.0 micromhos/cm	1000.0 NMP/100 ml.	

(*) Fuera de norma (-) No se determinó

RESULTADOS DE 1987

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO BACTERIOLÓGICOS

RÍO SANTIAGO RESULTADOS DE LABORATORIO

HOJA 6

Estación	pH	Temperatura		Grasas Aceites	OD	DBO	DQO	Nitratos NO ₃	Dureza CaCO ₃	Sulfatos	Cloruros	Alcalinidad Ca CO ₃	Sólidos			Turbiedad	Conduc- tividad	Coliformes tot. fec.
		Campo	Agua										totales	suspendidos totales	disuelt. tot.			
E-01 Puente Ocolán	7.9	30	-		5.4	8.4	64.0	0.95	*201.0	189.0	16.0	392.0	906.0	184.0	*722.0	-	* 950.0	-
E-02 Puente Ponciltán																		
E-03 Derivadora Corona	7.4	30	-		*0.4	28.0	49.0	0.58	*198.0	129.0	37.0	*424.0	664.0	8.0	*656.0	-	* 990.0	-
E-04 El Salto de Juanacatlán	7.4	28	-		*0.0	20.0	60.0	1.5	*218.0	271.0	35.0	*455.0	884.0	5.0	*879.0	-	* 1200.0	-
E-05 Puente Grande	7.5	28	-		*0.0	48.0	156.0	1.2	*231.0	157.0	72.0	*416.0	870.0	21.0	*849.0	-	* 1190.0	-
E-06 Planta Las Juntas	7.7	25	-		*0.4	30.0	47.0	1.2	*181.0	170.0	34.0	*428.0	954.0	42.0	*952.0	-	* 1230.0	-
E-07 Río Verde confluen. Río Santiago	8.1	25	-		7.8	4.0	14.0	0.64	*124.0	116.0	22.0	174.0	420.0	16.0	404.0	-	* 540.0	-
E-08 Puente Arcediano	7.7	25	-		*0.6	13.0	81.0	1.8	*152.0	131.0	43.0	277.0	586.0	24.0	*562.0	-	* 790.0	-
Criterio Ecologico SEDUE	5a9	condiciones naturales +2.5 °C		Ausente	4.0 mg/l	60.0 mg/l	300.0 mg/l	5.0 mg/l	1.0 mg/l	500.0 mg/l	250.0 mg/l	400.0 mg/l	1000.0	500.0	500.0	visibilidad no mas de 10.0	1.0 micromhos cm	1000.0 NMP / 100 ml.

(*) Fuera de norma (-) No se determino

RESULTADOS DE 1988

ANALISIS FISICO QUIMICO BACTERIOLÓGICOS

RÍO SANTIAGO

RESULTADOS DE LABORATORIO

HOJA 7

Estación	pH	Temperatura Campo Agua	Grasas Aceites	OD			Nitrosos NO ₃	Dureza CaCO ₃	Sulfatos	Cloruros	Alcalinidad Ca CO ₃	Sólidos suspendidos			Turbiedad	Conduc- tividad	Coliformes tot. fec.
				OD	DBO	DQO						totales	disuelt. tot.	totales			
E-01 Puente Ocofán	8.0	-		*3.5	5.9	-	-	*96.0	172.0	101.0	334.0	-	-	-	910.0	-	
E-02 Puente Pancilán																	
E-03 Derivadora Corona	7.2	-		*3.39	6.2	-	-	*160.0	132.0	232.0	*607.0	-	-	-	1500.0	-	
E-04 El Salto de Juanacañán	6.9	-		*0.0	12.0	-	-	*116.0	468.0	*461.0	*420.0	-	-	-	1510.0	-	
E-05 Puente Grande	7.0	-		*0.0	12.0	-	-	*124.0	251.0	*427.0	*453.0	-	-	-	1400.0	-	
E-06 Planta Los Juntas	7.3	-		*0.0	*351.0	-	-	*112.0	221.0	*402.0	*428.0	-	-	-	1390.0	-	
E-07 Río Verde confluen- Río Santiago																	
E-08 Puente Arcediano																	

Criterio Ecologico SEDUE	5a9	condiciones naturales +2.5 °C	Ausente	4.0 mg/l	60.0 mg/l	300.0 mg/l	5.0 mg/l	1.0 mg/l	500.0 mg/l	250.0 mg/l	400.0 mg/l	1000.0	500.0	500.0	visibilidad no mas de 10 Ω	1.0 micromhos cm	1000.0 NMP/100ml.
--------------------------------	-----	-------------------------------------	---------	-------------	--------------	---------------	-------------	-------------	---------------	---------------	---------------	--------	-------	-------	----------------------------------	------------------------	----------------------

(*) Fuera de norma (-) No se determino

RESULTADOS DE 1989

ANALISIS FISICO QUIMICO BACTERIOLÓGICOS

RIO SANTIAGO

RESULTADOS DE LABORATORIO

HOJA 8

Estación	pH	Temperatura Campo Agua	Grasas Aceites	OD	DBO	DQO	Nitratos NO ₃	Dureza CaCO ₃	Sulfatos	Cloruros	Alcalinidad Ca CO ₃	Sólidos			Turbiedad	Conduc- tividad	Coliformes		
												totales	suspendidos totales	disuelt. tot.			tot.	fec.	
E-01 Puente Ocotlán	8.0	-		*3.1	13.0	43.0	0.1	-	104.0	-	385.0	*1618.0	66.0	*1552.0	*132.0	*1170.0			
E-02 Puente Ponciltón	8.1	-		*0.0	8.4	31.0	0.38	-	81.0	-	350.0	964.0	68.0	*896.0	-	*900.0			
E-03 Derivadora Corona	7.2	-		*0.0	17.0	35.0	0.11	-	104.0	-	381.0	864.0	14.0	*850.0	*13.0	*1175.0			
E-04 El Salto de Juanocatlán	7.1	-		*2.3	33.0	78.0	0.11	-	219.0	-	*401.0	3880.0	16.0	*3864.0	3.0	*1450.0			
E-05 Puente Grande	7.4	-		4.4	49.0	66.0	0.1	-	140.0	-	350.0	*1258.0	11.0	*1247.0	-	*159.0			
E-06 Planta Las Juntas	7.1	-		*0.84	*349.0	*504.0	0.1	-	115.0	-	*537.0	*3718.0	200.0	*3518.0	-	*1600.0			
E-07 Río Verde confluen. Río Santiago	8.4	22.5 21	*5,681.0	8.9	4.32	19.84	0.12	-		26.96	-	460.0	26.0	434.0	*4.0	*620.0	240	0	
E-08 Puente Arcediano	7.1	-	-	*0.0	*99.0	134.0	0.1	-	68.0	-	390.0	*2584.0	64.0	*2520.0	-	*900.0	-	-	
Criterio Ecologico SEDUE	5a9	condiciones naturales +2.5 °C	Ausente	4.0 mg/l	60.0 mg/l	300.0 mg/l	5.0 mg/l	1.0 mg/l	500.0 mg/l	250.0 mg/l	400.0 mg/l	1000.0	500.0	500.0	visibilidad no mas de 10.0	1.0 micromhos cm	1000.0 NMP/100ml.		

(*) Fuera de norma (-) No se determinó

RESULTADOS DE 1990

ANALISIS FISICO QUIMICO BACTERIOLÓGICOS

RIO SANTIAGO RESULTADOS DE LABORATORIO

HOJA 9

Estación	pH	Temperatura Campo Agua	Grasas Aceites	OD	DBO	DQO	Nitratos NO ₃	Dureza CaCO ₃	Sulfatos	Cloruros	Alcalinidad CaCO ₃	Sólidos suspendidos totales			Turbiedad	Conduc- tividad	Coliformes tot. fec.
												totales	184.0	* 820.0			
E-01 Puente Ocotlán	8.6		*11.0	*2.4	12.0	42.0	1.78	*230.0	156.0	-	372.0	*1004.0	184.0	* 820.0	* 45.0	* 1010.0	
E-02 Puente Poncilián	8.18		*49.0	*1.0	6.5	38.0	0.42	-	83.0	-	335.0	856.0	73.0	* 783.0	* 75.0	* 810.0	
E-03 Derivadora Corona	7.96		*34.0	*0.4	4.8	45.0	0.29	-	121.0	-	335.0	826.0	18.0	* 808.0	* 15.0	* 800.0	
E-04 El Salto de Juanocotlán	7.26		*26.0	*0.0	*121.0	136.0	0.51	-	131.0	-	335.0	980.0	5.0	* 975.0	5.0	* 1020.0	
E-05 Puente Grande	7.83		*26.0	*2.0	5.7	58.0	0.53	-	162.0	-	318.0	914.0	14.0	* 900.0	2.0	* 1000.0	
E-06 Planta Las Juntas	7.7		*38.0	*0.6	*222.0	261.0	1.82	*308.0	169.0	-	400.0	*1602.0	276.0	*1326.0	*18.0	* 1380.0	
E-07 Río Verde confluen. Río Santiago	8.99		*12.0	6.7	2.0	21.0	0.36	* 67.0	33.0	-	216.0	622.0	18.0	* 604.0	1.0	* 520.0	
E-08 Puente Arceadiano	7.99		*18.0	4.8	*101.0	261.0	1.08	*196.0	248.0	-	-	*1032.0	95.0	* 937.0	3.0	* 1010.0	
Criterio Ecologico SEDUE	5a9	condiciones naturales +2.5 °C	Ausente	4.0 mg/l	60.0 mg/l	300.0 mg/l	5.0 mg/l	1.0 mg/l	500.0 mg/l	250.0 mg/l	400.0 mg/l	1000.0 mg/l	500.0 mg/l	500.0	visibilidad no mas de 10.0 micromhos cm	1.0 NMP / 100 ml.	1000.0 NMP / 100 ml.

(*) Fuera de norma (-) No se determinó

RESULTADOS DE 1991

ANALISIS FISICO QUIMICO BACTERIOLOGICOS

RIO SANTIAGO

RESULTADOS DE LABORATORIO

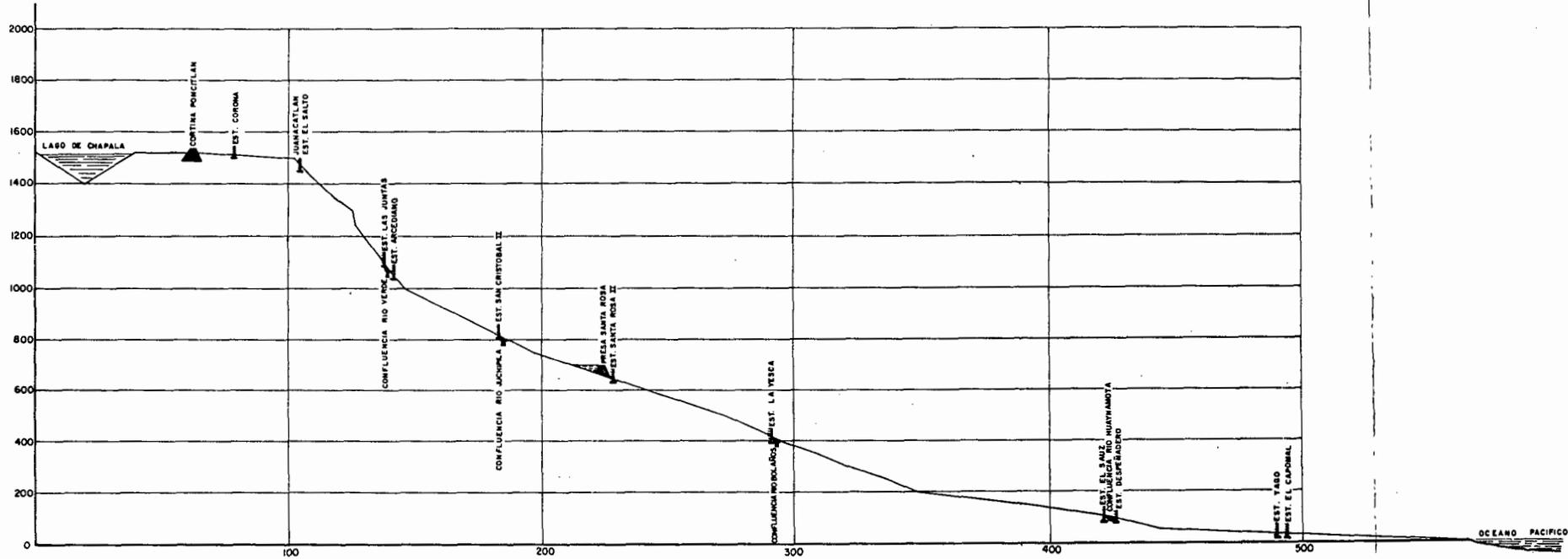
HOJA 10

Estación	pH	Temperatura		Grasas Aceites	OD	DBO	DQO	Nitratos NO ₃	Dureza CaCO ₃	Sulfatos	Cloruros	Alcalinidad CaCO ₃	Sólidos suspendidos disuelt. totales			Turbiedad	Conduc tividad	Coliformes tot. fec.
		Campo	Agua										totales	totales	tot.			
E-01 Puente Ocotlán	7.83	27	26	* 29.0	*2.0	6.5	25.0	0.28	* 151.0	96.0	47.0	286.0	608.0	46.0	* 562.0	* 33.0	* 680.0	
E-02 Puente Ponciltón	7.75	29	25	* 36.0	*0.8	57.0	75.0	0.28	* 203.0	82.0	49.0	264.0	676.0	80.0	* 596.0	* 25.0	* 590.0	
E-03 Derivadora Corona	7.71	28	22	* 31.0	*0.0	57.0	75.0	0.30	*203.0	83.0	47.0	286.0	822.0	17.0	* 805.0	3.0	* 595.0	
E-04 El Salto de Juonacatlán	7.49	25.5	23	* 35.0	*0.0	57.0	75.0	0.31	*261.0	82.0	96.0	317.0	*1030.0	25.0	*1015.0	* 10.0	*1100.0	
E-05 Puente Grande	7.46	25	24	*31.0	*0.0	57.0	75.0	0.30	*255.0	83.0	106.0	352.0	*1002.0	8.0	* 994.0	* 16.0	*1000.0	
E-06 Planta Las Juntas	6.67	26	28	*59.0	*1.0	*141.0	223.0	2.55	*244.0	192.0	98.0	356.0	988.0	63.0	* 925.0	* 34.0	*1020.0	* 6200 * 1300
E-07 Río Verde confluen. Río Santiago	7.04	25	28*	*48.0	9.9	7.3	73.0	0.29	*116.0	51.0	47.0	154.0	354.0	29.0	325.0	3.0	* 395.0	*27500 * 16500
E-08 Puente Arce día no	6.95	25	28*	*74.0	8.1	16.0	64.0	0.28	*116.0	106.0	47.0	198.0	480.0	43.0	437.0	8.0	*470.0	*125000 * 18000
Criterio Ecologico SEDUE	5a9	condiciones naturales +2.5 °C		Ausente	4.0 mg/l	60.0 mg/l	300.0 mg/l	5.0 mg/l	1.0 mg/l	500.0 mg/l	250.0 mg/l	400.0 mg/l	1000.0 mg/l	500.0 mg/l	500.0 mg/l	visibilidad no mas de 10.0	1.0 micromhos/cm	1000.0 NMP/100 ml.

(*) Fuera de norma (-) No se determinó

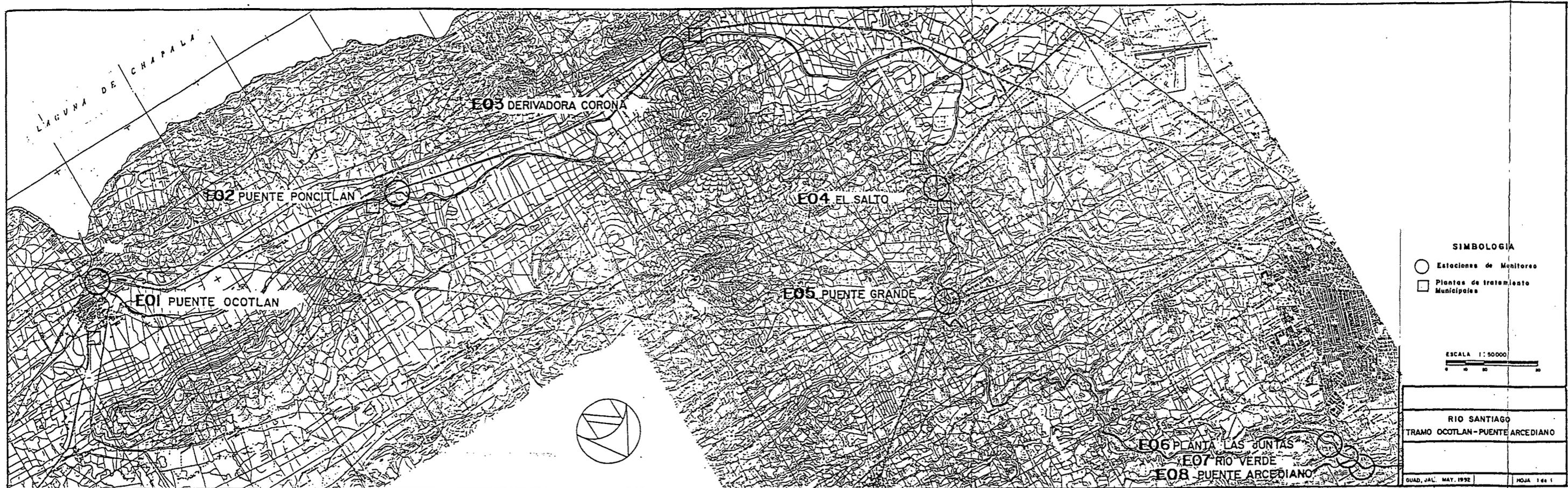
RESULTADOS DE 1992

ELEVACIONES EN M. S. N. M.



DISTANCIAS EN KILOMETROS

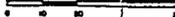
SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS	
SUBSECRETARIA DE PLANEACION-DIRECCION GENERAL DE ESTUDIOS	
DIRECCION DE HIDROLOGIA	
Zona del Rio Santiago desde la Cortina de Poncitlan hasta su desembocadura en el Oceano Pacifico	
Conforme: DIRECTOR DE HIDROLOGIA	SUBSECRETARIO DE PLANEACION
Aprobo: DIRECTOR GENERAL SECRETARIO	
MEXICO D.F. SEP - 1976	HOJA 1 DE 1



SIMBOLOGIA

- Estaciones de Monitoreo
- Plantas de tratamiento Municipales

ESCALA 1:50000



RIO SANTIAGO
TRAMO OCOTLAN - PUENTE ARCEDIANO

QUAD. JAL. MAY. 1992 HOJA 1661

E01 PUENTE OCOTLAN

E02 PUENTE PONCITLAN

E03 DERIVADORA CORONA

E04 EL SALTO

E05 PUENTE GRANDE

E06 PLANTA LAS JUNTAS

E07 RIO VERDE

E08 PUENTE ARCEDIANO

LAGUNA DE CHAPALA