

EL COLEGIO DE LA FRONTERA NORTE

Y

CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y EDUCACION
SUPERIOR DE ENSENADA

Maestría en Administración Integral del Ambiente
Promoción 1996-1998

LA CONTAMINACION DEL ACUIFERO DEL RIO TIJUANA

" Efectos y riesgo potencial en al ámbito local, regional e internacional debido a la descarga de aguas residuales al acuífero del río Tijuana "

Tesis que presenta:

SAUL GUZMAN GARCIA

Para obtener el grado de

MAESTRO EN ADMINISTRACION INTEGRAL DEL AMBIENTE

Comité Evaluador:

Director de Tesis: M.C. Fernando Herrera Barrientos (CICESE)

Lector interno: Dr. Alain Winckell (SIGEF-ORSTOM)

Lector externo: M.C. Armando Villarino Valdivia (Wastewater Laboratory, City of San Diego)

Tijuana, B.C., 25 de agosto de 1998.

Agradecimientos

Al CONACYT, por el apoyo de becas crédito a programas de formación de recursos humanos que contribuyan a un mejor desarrollo de nuestro país.

Al El Colegio de la Frontera Norte El Colef y al Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE), por impulsar programas de educación e investigación en áreas que son prioritarias para reforzar la capacidad intelectual de recurso humano, con la visión de desarrollar mejores perspectivas para la solución de programas sociales y técnicos en la sociedad mexicana

Al Instituto Tecnológico de Tijuana (ITT), por su desinteresado apoyo en colaborar apoyando proyectos de investigación mediante la realización de análisis microbiológico de muestras de agua. En especial agradezco a su director el Ing. Manuel Castillo por su decisión de apoyar a un egresado de esa Institución y a los Maestros Martha Porras y Jesús Medina por llevar a cabo los trabajos de laboratorio, así como otras autoridades y colaboradores.

Al Laboratorio Ambiental SIGMA, por su invaluable apoyo en la realización de análisis de laboratorio en muestras de agua de pozos del acuífero. Especialmente quiero patentar mi agradecimiento al Maestro Armando Villarino y al Ing. Pablo Nuñez por su decisión desinteresada por apoyar el presente trabajo. Agradezco de igual manera a todos sus colaboradores que participaron en los análisis de innumerables muestras de agua.

Al Grupo de Trabajo del Sistema de Información Geográfica y Estadística de la Frontera Norte (SIGEF), encabezados por el Dr. Alain Winckell y sus colaboradores; Ing. Mechel Le Page, Maestro Gerardo Chávez, Maestro Rafael Vela, Lic. Roberto Castañeda y Carlos González y demás colaboradores, quienes hicieron posible el apoyo gráfico y representación de información en mapas de la ciudad.

A mis maestros y amigos, con quienes aprendí lo importante de la discusión académica, la discrepancia de ideologías y la convivencia armónica que hizo posible terminar este programa de Maestría.

A mi familia, por su silencioso apoyo y su gran paciencia, que hicieron tomar mayor responsabilidad en terminar este programa de Maestría. A Rosaura, mi hermana quién con su ausencia me hizo reflexionar lo valioso que somos los seres humanos en este complejo y accidentado camino de la vida

A Dios, por ser guía de los propósitos que con esfuerzo y sacrificio personal, es posible lograr en proyectos que se emprenden en la vida

Saúl Guzmán García, agosto de 1998.

CONTENIDO		Pág.
	Resumen	2
Capitulo 1	Introducción	3
1.1	Objetivos, hipótesis, justificación, beneficios y limitaciones del trabajo	6
1.1.1	Objetivo general	6
1.1.2	Objetivos específicos	6
1.1.2	Hipótesis de trabajo	7
1.1.2.1	Hipótesis principal	7
1.1.2.2	Hipótesis secundarias	7
1.1.3	Justificación del estudio	8
1.1.4	Beneficios del proyecto	10
1.1.5	Limitantes del trabajo	11
Capitulo 2	Marco teórico	12
2.1	Generalidades	13
2.2	La región fronteriza	15
2.2.1	Enfoque ambiental fronterizo	17
2.3	Modelo de desarrollo y crecimiento industrial	21
2.3.1	Crecimiento, desarrollo y subdesarrollo	22
2.3.2	La conceptualización urbana	25
2.4	Enfoque de análisis sobre el deterioro de los recursos naturales	29
2.4.1	La administración ambiental y el desarrollo sustentable	32
2.4.2	Dimensiones conceptuales que gobiernan la dinámica del acuífero del río Tijuana	34
2.4.1	Subsistema ambiental	34
2.4.2	Subsistema socioeconómico	35
2.4.3	Subsistema administrativo y/o de gestión	35
Capitulo 3	Descripción de la zona de estudio	36
	Localización	
3.1	Delimitación de la zona de estudio	36
3.2	Delimitación geográfica	36
3.3	Delimitación geológica	36
3.4	Características geométricas del acuífero	39
3.5	Climatología	40
3.6	Precipitaciones	42
3.7	Hidrología del acuífero del río Tijuana	45
3.7.1	Tributarios hidrológicos del acuífero del río Tijuana	46
3.7.2	Hidrología superficial	47
3.8	Fuentes de abastecimiento para la ciudad de Tijuana	48
3.9	Escurrimientos superficiales	50
3.10	Hidrología subterránea	52
3.11	Fuentes de recarga del acuífero del río Tijuana	52
3.12	Niveles de extracción de agua del acuífero del río Tijuana	53

3.13	Extracción de agua subterránea	53
3.14	Abastecimiento subterráneo	54
Capítulo 4	Planteamiento del problema	59
4.1	Contribución de contaminantes por uso de tanques sépticos y cisternas	61
4.2	Riesgos que pueden ser originados por la presencia de contaminantes	62
4.3	Situación regional de las aguas residuales	65 ✓
4.4	Estudios que muestran resultados sobre la calidad de agua	67
4.5	Estudios sobre calidad de agua superficial en el acuífero del río Tijuana	70
4.6	Aportación de contaminantes a través del río Tecate	71
4.7	Antecedentes sobre contaminación en la región del sur de California	75
4.8	Factores que han favorecido la generación de contaminantes por aguas residuales	76 ✓
4.8.1	Crecimiento demográfico en Baja California y Tijuana	76
4.8.2	Crecimiento demográfico y desarrollo urbano de la ciudad de Tijuana	77
4.8.3	La concentración urbana en Tijuana	79
4.8.4	Expansión urbana y usos de suelo	81
Capítulo 5	Metodología de Trabajo	87
5.1	Selección de los sitios de muestreo	88
5.2	Materiales y métodos	90
5.3	Métodos de monitoreo; toma de muestras de agua para análisis	91
5.4	Tipo de análisis realizados en agua de pozo	92
5.5	Métodos análisis	93
5.6	Número de muestras analizadas	93
Capítulo 6	Resultados del estudio sobre contaminación del río Tijuana	94
6.1	Estado actual de la calidad del agua del acuífero	94
6.2	Calidad de agua en pozos del acuífero del río Tijuana	96
6.3	Discusión de resultados	97
6.4	Proyecciones de calidad de agua en el acuífero	98
6.5	Condiciones de calidad en el acuífero del río Tijuana	100
6.6	La gestión del agua en la ciudad	101
6.7	Recomendaciones	102

Lista de cuadros

No.	Nombre de cuadro	Pág.
Cuadro 3.1	Puntos geográficos que delimitan el acuífero aluvial del río Tijuana	37
Cuadro 3.2	Temperaturas máximas, promedio y mínimas registradas en la ciudad de Tijuana durante el periodo de 1926-1992	42
Cuadro 3.3	Nivel de precipitaciones por periodo, variaciones decenales y eventos extraordinarios	43
Cuadro 3.4	Registro de producción de agua en la ciudad de Tijuana.	50
Cuadro 3.5	Registro de escurrimientos a través del río Tijuana.	52
Cuadro 3.6	Registro de volúmenes de extracción de agua del acuífero del río Tijuana.	54
Cuadro 3.7	Extracciones de agua del acuífero en la parte estadounidense.	58
Cuadro 4.1	Composición típica de las aguas residuales domésticas sin tratar	59
Cuadro 4.2	Calidad de efluentes de seis tanques sépticos	62
Cuadro 4.3	Diez causas principales de mortalidad general e infantil en México, 1991.	64
Cuadro 4.4	Mortalidad por enfermedades diarreicas en menores de 5 años 1989-1993	64
Cuadro 4.5	Volúmenes de aguas negras generados en la ciudad en millones de metros cúbicos (Mm ³) durante el periodo de 1977-1985	66
Cuadro 4.6	Resultados de calidad de aguas residuales, 1983-1984.	69
Cuadro 4.7	Distribucion histórica por características del suelo en Tijuana, 1926-1983 y 1994.	82
Cuadro 5.1	Coordenadas geográficas de los pozos de monitoreo en el acuífero del río Tijuana	90
Cuadro 6.1	Evolución de calidad de agua en el acuífero del río Tijuana	94
Cuadro 6.2	Cuadro de resultados promedio de calidad de agua de pozos del acuífero del río Tijuana durante el periodo marzo-abril 1998.	95
Cuadro 6.3	Cuadro de resultados promedio de calidad de agua de pozos del acuífero del río Tijuana durante el periodo mayo-junio 1998.	95
Cuadro 6.4	Datos de suministro de agua, generación de aguas residuales y aguas residuales sin control en la ciudad de Tijuana (miles de m ³), durante el periodo de 1984 al 2005.	99

Lista de Figuras

Figura	Nombre de la figura	Pag.
Fig. 1	Interacción de subsistemas para el estudio del acuífero del río Tijuana	36
Fig. 2	Localización del acuífero del río Tijuana en el Estado de B.C.	37
Fig. 3	Localización de la Cuenca del río Tijuana	37
Fig. 4	Mapa de formaciones geológicas del acuífero del río Tijuana	37
Fig. 5	Litología de un pozo del acuífero del río Tijuana	38
Fig. 6	Mapa de cauces hidrológicos que aportan al acuífero del río Tijuana	47
Fig. 7	Mapa de cuencas unitarias en la ciudad de Tijuana, B.C.	48
Fig. 8	Gráfica sobre la evolución de usos de agua, generación de aguas residuales y tratamientos de aguas residuales en Tijuana, B.C.	67
Fig. 9	Mapa de usos de suelo en la ciudad de Tijuana, B.C.	82
Fig 10	Localización geográfica de pozos de agua que se estudiaron en el acuífero del río Tijuana	91
Fig 11	Concentración de sólidos disueltos totales (mg/L) y pH (unidades), en pozos de agua del acuífero del río Tijuana durante el periodo marzo-abril de 1998	97
Fig 12	Concentración de sólidos disueltos totales (mg/L) y pH (unidades), en pozos de agua del acuífero del río Tijuana durante el periodo mayo-junio de 1998	97
Fig. 13	Concentración de nitratos y sulfatos (mg/L), en pozos de agua del acuífero del río Tijuana durante el periodo marzo-abril 1998	97
Fig. 14	Concentración de nitratos y sulfatos (mg/L), en pozos de agua del acuífero del río Tijuana durante el periodo mayo-junio 1998	97
Fig. 15	Concentración de Bario y Zinc (mg/L), en pozos de agua del acuífero del río Tijuana durante el periodo marzo-abril 1998	97
Fig. 16	Concentración de Bario y Zinc (mg/L), en pozos de agua del acuífero del río Tijuana durante el periodo mayo-junio 1998	97
Fig. 17	Número de organismos mesofilicos aerobios (UFC/mL) y organismos coliformes fecales (NMP/100 mL), en agua de pozos del acuífero del río Tijuana durante el periodo de marzo-abril 1998	98
Fig. 18	Número de organismos mesofilicos aerobios (UFC/mL) y organismos coliformes fecales (NMP/100 mL), en agua de pozos del acuífero del río Tijuana durante el periodo mayo-junio 1998	98

Resumen de la Tesis de Saúl Guzmán García, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de **MAESTRO EN ADMINISTRACION INTEGRAL DEL AMBIENTE**, Tijuana, B.C., Agosto de 1998.

Resumen aprobado por:



M.C. Fernando Herrera Barrientos

Director de Tesis

Las actividades urbanas e industriales, así como la deficiencia en el tratamiento de las aguas residuales por parte de las plantas existentes, son fuentes de contaminación que pueden ser conducidas al acuífero del río Tijuana vía las fuerzas naturales y la topografía que rigen a los sistemas hidrológicos. Actualmente, tanto el grado en que el acuífero es utilizado como fuente de abastecimiento, como la cantidad de las aguas residuales que son descargadas al mismo sin control, puede estar disminuyendo la calidad debido a vertimientos no recolectados ni tratados, cuya intensidad se desconoce. La calidad del agua puede afectar negativamente la salud humana, así como recursos naturales, suelo, mantos freáticos, vegetación y/o cultivos agrícolas. Dichos efectos negativos pueden exceder los límites permisibles de calidad de las descargas a cuerpos receptores y manifestarse en el nivel regional y aún internacional, dadas las características geográficas del acuífero. A fin de conocer los efectos debido a los volúmenes de descargas de agua residual no recolectadas ni tratadas que son infiltradas al acuífero, se realizó una investigación documental y experimental, con base en revisión de documentos relacionados con el tema, así como pruebas de laboratorio como análisis físicos, químicos y bacteriológicos, para la identificación de antecedentes sobre el problema del agua y confirmar la presencia de contaminantes criterio ó característicos en la zona de estudio. El agua que se analizó proviene de pozos del acuífero que actualmente se utiliza para usos domésticos, comercial y de servicios, así como usos agrícolas. Se espera obtener un producto de investigación documental y experimental que contribuya a conocer las causas que dan origen a la contaminación en el acuífero, así como al uso seguro y racional del recurso, identificando cuáles condiciones de uso y manejo deben cumplirse para no transgredir los principios que gobiernan la recuperación de la calidad natural del agua. Los resultados obtenidos del presente estudio muestran que la calidad del agua del acuífero, se encuentra seriamente deteriorada, sobre todo por contaminación orgánica proveniente de aguas residuales no tratadas.

Capítulo 1. Introducción

El presente trabajo tiene como propósito la identificación de contaminantes en el acuífero del río Tijuana. Aunque una de las propuestas fundamentales es identificar problemas de sustentabilidad del agua en la zona de estudio, se enfoca de manera particular a identificar las causas y consecuencias que han llevado al desarrollo de la ciudad, con el propósito de observar como la infraestructura hidráulica no ha sido la óptima para garantizar el abasto y tratamiento adecuado al recurso.

En el ámbito local y regional el recurso agua sigue siendo escaso y no ha sido considerado como elemento fundamental para el desarrollo, lo cual ha tenido como consecuencia deficiencias en el uso, manejo y tratamiento del agua. Esto ha obligado a las autoridades a buscar fuentes externas de suministro, antes de implementar mecanismos de uso eficiente y tecnologías de minimización del problema, lo cual puede seguir ocurriendo en el largo plazo.

La contaminación del acuífero del río Tijuana puede ser originada por la descarga de aguas residuales domésticas e industriales, así como fuentes no convencionales como defecación al aire libre, arrastre de desechos tóxicos, lixiviados de residuos peligrosos y de materiales acumulados de estiércol de ganado vacuno y porcino.

La presencia de contaminantes en el acuífero es un factor determinante de sus condiciones ambientales, de tal manera que permite conocer su viabilidad como fuente de suministro de agua segura para la población y los servicios en la ciudad, así como mantener la calidad del agua dentro de niveles permitidos por las normas de salud vigentes, tanto en el presente como en el futuro.

La metodología desarrollada permite conocer los antecedentes sobre el uso de agua y la evolución en la infraestructura hidráulica, las condiciones de calidad presentes y las

implicaciones posibles del uso futuro de agua del acuífero, así como el estrés al que se ha visto sometido por la evolución del desarrollo urbano e industrial de la ciudad.

La presencia o ausencia de contaminantes en agua de pozos del acuífero, demuestra la viabilidad de uso del acuífero, su vulnerabilidad, así como validar o refutar aquellas denuncias y/o evidencias que se han hecho sobre la aportación de contaminantes que escurren superficialmente, con efectos en el ámbito local, así como en la parte estadounidense del acuífero.

La dinámica hidráulica del acuífero tanto superficial como subterránea, permite que las corrientes de agua sean susceptibles de ser contaminadas. Estos contaminantes pueden ser infiltrados al acuífero, sobre todo aquellos provenientes de las descargas de aguas residuales, las cuales fluyen en dirección noroeste con destino al estuario del río Tijuana en Imperial Beach para descargar en el Océano Pacífico.

Los análisis de laboratorio realizados en muestras de agua de pozo del acuífero fueron físicos, químicos y bacteriológicos. Los resultados muestran que además de una marcada salinidad en el acuífero, existe una elevada contaminación orgánica, la cual está asociada con la descarga de aguas residuales, sobre todo de tipo doméstico. Respecto de los contaminantes de tipo industrial, se identificó la presencia de bario, zinc y hierro aunque en cantidades reducidas. Otros parámetros como pH, durezas, alcalinidad, así como de fosfatos, nitratos y sulfatos fueron evaluados para correlacionar los nutrientes que son típicos en aguas limpias y residuales.

La calidad del agua de pozos en el acuífero del río Tijuana en su mayoría, no cumple con la norma oficial mexicana de salud, la cual establece los parámetros de calidad de agua para consumo humano (NOM-SSA1-127/94). De la misma manera no se cumple con los parámetros de calidad que exige la norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996, la cual

regula los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas en aguas y bienes nacionales. Estas condiciones de calidad ocurren como consecuencia de la falta de control de descargas a drenaje sanitario y cuerpos de agua que regula la norma oficial mexicana NOM-002-ECOL-1996. Dicha norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

Debido a los antecedentes documentales y resultado de análisis de agua en el acuífero, la calidad del agua muestra que no es adecuada para el consumo y otros servicios relacionados con actividades del ser humano.

Los resultados obtenidos del presente trabajo muestran que el organismo operador de agua en el ámbito local, la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana, y en el ámbito federal la Comisión Nacional del Agua, no tienen control de un volumen significativo de aguas residuales, lo cual puede exceder el 38% del agua que se utiliza en la ciudad. En el mediano y largo plazo, aún con el incremento de infraestructura hidráulica y de saneamiento que se desarrolla tanto en las instalaciones de la ciudad, como en la Planta Internacional, no se tendrá control sobre el total de aguas residuales que se generan en la ciudad.

La implementación de la política hidráulica en el ámbito nacional y estatal, así como la reducida participación del gobierno municipal y la comunidad en el problema de contaminación de las aguas residuales, no garantiza la operación eficiente de mecanismos de gestión de la política hidráulica en materia de aguas. Estas condiciones pueden llevar tanto a los prestadores de servicio del agua, como a los usuarios, a una mayor dependencia vía la importación de agua.

Estas características de falta de control en el uso, manejo y tratamiento del agua, así como de las aguas residuales, son debido a los factores de desarrollo a los que se ha visto sujeta la ciudad. *"Los mismos factores que dan origen a oportunidades para el crecimiento económico, también presentan obstáculos para el desarrollo sustentable"* (Sánchez, R. 1998). Desde otra perspectiva pero con el mismo fin, *"una premisa básica del esfuerzo del desarrollo [sustentable], es que la región binacional está sobre una trayectoria que guiará hacia la declinación de la calidad de vida y la calidad del ambiente,..."* (Ganster, P. 1998). Es evidente entonces como el modelo de desarrollo, o más bien, asumir este tipo de modelo de desarrollo en el ámbito regional, está guiando a sacrificar el bienestar de los residentes en la región fronteriza Tijuana-San Diego, a menos que se realicen esfuerzos por desarrollar mecanismos de gestión y participación que garanticen la dinámica hacia el uso eficiente del agua.

1.1. Objetivos, hipótesis, justificación, beneficios y limitaciones del trabajo

1.1.1. Objetivo General

El objetivo general del presente trabajo, consiste en identificar la presencia de contaminantes en el acuífero del río Tijuana, originados por descargas de aguas residuales e industriales que no son conducidas ni tratadas por el organismo operador del agua.

1.1.2 Objetivos específicos

Como interés preliminar se trata de conocer los antecedentes que dieron origen al crecimiento de la ciudad, así como su implicación sobre el problema de la contaminación del agua y falta de conducción y tratamiento adecuado de las mismas.

Llevar a cabo un análisis acerca de los antecedentes sobre infraestructura hidráulica en la ciudad, las condiciones de calidad de agua en el pasado, las condiciones presentes y su proyección futura. Esto se realiza con el fin de identificar si las acciones de gestión en materia de saneamiento de aguas en la ciudad, ha evolucionado positiva o negativamente, y si es factible observar mejoría en el manejo del agua en el mediano y largo plazo.

Con el propósito de conocer la calidad de agua del acuífero, se evalúa la presencia de contaminantes, sobre todo aquellos asociados a la deficiencia en la cobertura del sistema de drenaje sanitario de la ciudad. Así mismo, se identifican los montos de aguas residuales que no son colectadas ni tratadas por el sistema de manejo de las aguas residuales. Con los datos obtenidos tanto de manera teórica como práctica, se hace un diagnóstico sobre los riesgos y efectos a la salud, así como al ambiente, por el uso y consumo de agua contaminada proveniente de pozos del acuífero del río Tijuana.

En la medida de lo posible se trata de caracterizar las zonas que son generadoras de contaminantes en la ciudad. De igual manera se trató de estimar el comportamiento futuro sobre el uso, manejo y tratamiento de las aguas residuales que se generan en la ciudad y su impacto sobre las condiciones ambientales en el ámbito regional. Finalmente con los resultados obtenidos, se harán recomendaciones a la problemática encontrada y se propondrán alternativas posibles que ayuden a solucionar el problema de la contaminación del acuífero.

1.1.2.Hipótesis de trabajo

1.1.2.1.Hipótesis principal

Como consecuencia de las prácticas de uso, manejo y tratamiento de las aguas residuales en la ciudad, existe un monto importante que no es colectado por el sistema de drenaje

sanitario, lo cual da origen a contaminación del acuífero del río Tijuana y tiene como consecuencia, efectos y riesgo potencial en el ámbito local, regional y aún internacional.

1.1.2.2. Hipótesis secundarias

El crecimiento acelerado de los asentamientos humanos, las actividades industriales y la falta de tratamiento adecuado de las aguas residuales, son fuentes de contaminación que pueden ser conducidas e infiltradas al acuífero del río Tijuana. La falta de vigilancia y control sobre actividades industriales, comerciales y domésticas, y agrícolas son generadoras de aguas residuales contaminadas, lo cual ha ocasionado el incremento en el nivel de contaminantes en el acuífero del río Tijuana.

La existencia de contaminantes en las aguas de abastecimiento, que se extraen del acuífero del río Tijuana para consumo humano, comercio y servicios, tiene efectos nocivos para la salud y los recursos naturales y facilita la intrusión de contaminantes debido al desequilibrio hidrodinámico del acuífero.

La explotación del acuífero del río Tijuana de seguir el ritmo actual, originará desequilibrios ambientales tanto al agua, al suelo y en los recursos naturales.

1.1.3. Justificación del estudio

El presente trabajo de investigación, tiene como propósito de estudio la evaluación del riesgo potencial que tienen las descargas de aguas residuales sobre el acuífero. De manera particular aquellas que no se recolectan ni son tratadas por los sistemas de saneamiento disponibles en la ciudad, por lo que se justifica debido a las siguientes consideraciones:

1. El acuífero aún es utilizado como fuente de abastecimiento de agua para consumo humano directo e indirecto, lo cual pone en riesgo la salud y el ambiente debido a la presencia de contaminantes.

2. El acuífero por su estructura geográfica y geológica, es un receptor natural de los escurrimientos superficiales y drenaje subterráneo proveniente de las aportaciones de la cuenca del río Tijuana, así como de los contaminantes vertidos a éstas en su trayecto natural, por lo cual las corrientes de agua son dirigidas hacia la desembocadura de la cuenca en los Estados Unidos.
3. El acuífero es compartido por México y los Estados Unidos, éste último ha registrado numerosas quejas, que de acuerdo con datos de las corrientes de aguas residuales originadas en la ciudad de Tijuana. Se ha deteriorado la flora y fauna del Estuario del río Tijuana, posteriormente especies marinas en el Océano Pacífico al sur de la bahía de San Diego, al igual que la contaminación de las aguas costeras marinas.
4. El crecimiento de la ciudad y la falta de infraestructura hidráulica para las aguas y aguas residuales, en ningún momento ha garantizado el tratamiento adecuado del total que se genera en la ciudad. Esto ha sido motivo suficiente para hacer acusaciones sobre todo de grupos sociales de los Estados Unidos, acerca de los riesgos potenciales que ocasionan las aguas residuales no tratadas sobre los recursos naturales en la cuenca.
5. El acuífero como receptor natural de la cuenca, está expuesto al deterioro de sus recursos, si no se remedian las condiciones pasadas y presentes acerca del manejo y tratamiento de las aguas residuales generadas.

Los niveles de contaminación de agua del acuífero del río Tijuana, es uno entre otros factores, que limitan la sustentabilidad del recurso en el ámbito regional. De igual manera bajo estas condiciones no es posible prever un desarrollo sustentable en la región en el mediano y largo plazo.

1.1.4. Beneficios del Proyecto

Los beneficios que se espera obtener del presente proyecto, están sustentados en el uso eficiente del agua para el futuro. Se espera conocer la calidad del agua del acuífero para un periodo de tiempo y el impacto de las precipitaciones, lo cual puede generar información importante para planificar el uso futuro de agua del acuífero.

De igual manera, se pretende conocer el origen y la dinámica de dichos contaminantes, a fin de saber la potencialidad de su uso y permita la búsqueda de alternativas para la recuperación de las condiciones naturales del acuífero. Se identificarán las zonas que han sido mayormente afectadas por descargas de aguas residuales, y que son más susceptibles a contaminación por aguas residuales domésticas e industriales.

Se trata de identificar cuales antecedentes sobre desarrollo urbano y crecimiento poblacional, hicieron insuficiente el esfuerzo gubernamental y la aplicación de las políticas en materia de aguas, para controlar la contaminación de las aguas residuales. Se pretende así mismo, conocer el nivel potencial de uso de agua del acuífero, así como los riesgos a la salud y los recursos naturales por la presencia de contaminantes, los que modifican las condiciones ambientales de en la parte mexicana de la cuenca del río Tijuana como ecosistema.

Con los resultados obtenidos se podrán sugerir medidas correctivas y recomendaciones acerca de las opciones de tratamiento para las aguas residuales en el ámbito local. De igual manera se permitirá proponer alternativas de uso racional del agua, ya sea de extracción y/o de recarga del acuífero. Se harán recomendaciones acerca de los mecanismos de gestión para cumplir con la normatividad vigente, y asegurar que el acuífero sea fuente permanente de uso de agua segura en el futuro.

1.1.5. Limitantes del trabajo

El presente trabajo no pretende ser un estudio integral acerca de las condiciones del acuífero. Se trata de un proyecto de tipo exploratorio que permite obtener información preliminar y útil para diagnosticar las condiciones del mismo.

El periodo de tiempo reducido en que se lleva a cabo la investigación, limita conocer el comportamiento del agua en el acuífero, así como el nivel potencial de acumulación o limpieza de contaminantes que son descargados al mismo. Por lo tanto, se requiere de un proyecto adicional o complementario que de seguimiento al presente, y de ser posible ampliar su cobertura, al menos en los parámetros sobre calidad de agua para poder explicar con precisión la dinámica hidráulica y el potencial del acuífero.

Capítulo 2. Marco teórico

El agua es el recurso natural que todos los seres vivos requieren para poder vivir, por lo que cualquier modificación que ocurra en su calidad tiene efectos sobre dichos seres. La contaminación del agua, es la modificación de la calidad que modifica las posibilidades de uso para las actividades que realiza el ser humano, ya sea para consumo directo, o bien, para usos indirectos que son necesarios para los procesos productivos.

El agua existente en el planeta es de unos 1,400 millones de kilómetros cúbicos, siendo útil para actividades diversas menos del tres por ciento (Programa Hidráulico 1995-2000). A medida que la población crece y se desarrolla, la demanda de agua se incrementa mientras la oferta del medio natural permanece invariable e incluso puede estar reduciéndose su uso, lo cual debido al manejo del recurso se agrava debido a los fenómenos extraordinarios y antropogénicos. Estas características obligan a su vez, a realizar un análisis sobre los problemas de suministro y disposición de las aguas, desde una perspectiva económica y social, es decir, del tipo de desarrollo en el contexto histórico para visualizar sus efectos ambientales. Además se hace necesario llevar a cabo dicho análisis, enfatizando la importancia del recurso para garantizar la sustentabilidad ambiental, por lo cual se deben incorporar al análisis, los aspectos tecnológicos y ambientales (Programa Hidráulico, Op. Cit.)

Además del agua superficial, el agua subterránea es uno de los recursos de la tierra más ampliamente distribuido e importante. Su cantidad se estima que puede ser seis veces la que fluye en todas las corrientes sobre la tierra. El agua subterránea representa el 20% del total del agua que se extrae de otras fuentes, y tiene más ventajas sobre el agua superficial. El agua subterránea se encuentra más ampliamente disponible y es más fácil su aprovechamiento que las superficiales (Metry, A. 1975).

La calidad del agua subterránea puede ser más o menos uniforme a través del año y requiere asimismo, un mínimo de tratamiento para su uso. La demanda existente de agua subterránea seguirá creciendo, sobre todo por la dificultad de obtener suficientes volúmenes de fuentes convencionales. Debido a este fenómeno, los acuíferos deberán ser considerados como medios de almacenamiento de las aguas de escurrimiento durante las precipitaciones pluviales, en lugar de utilizar infraestructura hidráulica convencional, sobre todo, debido al elevado costo de dichas instalaciones.

En años recientes se han realizado esfuerzos por reglamentar y vigilar el uso y degradación de las cuencas hidráulicas, así como las fuentes de abastecimiento subterráneo. Los acuíferos serán una alternativa a la demanda tanto directa como e indirectamente, debido a los usos y disposición tanto de contaminantes vertidos en estado sólido y líquido, debido sobre todo, a las actividades domésticas e industriales.

Por las características de escasez de agua en la región del noroeste de México, es posible predecir que en el mediano y largo plazo, la zona fronteriza tendrá problemas de abastecimiento y regulación tanto en el ámbito local como internacional. La región fronteriza demandará cada vez mayores volúmenes de agua, mientras las aportaciones del río Colorado, pueden llegar a límites donde no se pueda seguir incrementando la dotación tanto para los estados norteamericanos como para Baja California.

2.1 Generalidades

El marco teórico de referencia que se utiliza en el presente trabajo, está basado en tres aspectos principales. En primer término el modelo o tipo de desarrollo de la ciudad de Tijuana donde se encuentra el acuífero en estudio, lo cual hace necesario analizar los conceptos de localización, crecimiento y desarrollo, así como su contexto espacial. En

segundo lugar el aspecto ambiental, el cual está referido principalmente a la cantidad y calidad de los recursos naturales, en nuestro caso el agua, su estado y evolución y el futuro de los mismos. En Tercer término el aspecto de la gestión y/o administración, vista ésta como las políticas, gestiones y actitudes de los actores gubernamentales y no gubernamentales, los que definen la forma de llevar a cabo la gestión y administración del recurso.

Debido a las causas principales que afectan el desarrollo de la ciudad, como es el incremento desmedido de los asentamientos humanos, las actividades comerciales y de servicios e industriales, se analizan algunos efectos adversos al ambiente en la ciudad, así como al acuífero del río Tijuana.

Estas características demográficas, urbanas e industriales han originado problemas que alteran las condiciones ambientales en el ámbito local, regional y aún internacional.

Entre los factores más importantes que dan origen a este planteamiento teórico, se encuentran las descargas de aguas residuales tratadas, sin tratar, residuos peligrosos, contaminación microbiana, cubrimiento de zonas de infiltración al subsuelo, deficiencia en la cobertura de agua y drenaje. La disminución de la calidad de las aguas, externalidades no cuantificadas por el desarrollo urbano, como es el caso de la contaminación del agua, y deterioro de la calidad de vida, como ocurre con la incidencia de enfermedades, baja días de trabajo, baja rendimiento, baja salud de la población, etc., contribuyen al deterioro de la calidad del recurso

2.2. La región fronteriza

Como interés primordial del presente trabajo por llevar a cabo la identificación de contaminación en el acuífero del río Tijuana, es necesario partir de un análisis de la región donde ocurre la interacción de múltiples factores que han afectado la calidad ambiental del acuífero.

La ciudad de Tijuana y por lo tanto su acuífero, tiene la característica de ser compartido geográfica, geológica y políticamente en la frontera con el estado más próspero de Estados Unidos, California. Por esta razón en principio y por interés de su trascendencia ambiental, se hace indispensable llevar a cabo una conceptualización de la zona de estudio, que proporcione claridad respecto de la importancia que reviste la cercanía de una zona perteneciente a un país en desarrollo o subdesarrollado y una región con niveles de desarrollo del primer mundo. Esto explica a su vez la influencia del modelo de desarrollo sobre la ciudad de Tijuana.

El crecimiento o desarrollo que ha ocurrido en la zona fronteriza Tijuana-San Diego, sobre todo en las últimas tres décadas, ha llevado a nuestra ciudad en particular a mantener permanentemente un rezago en la oferta de servicios públicos, sobre todo de agua. Dicho déficit, ha sido fuertemente impulsado por el rápido crecimiento en el desarrollo urbano como demográfico.

Como consecuencia del crecimiento y desarrollo económico fronterizo, se han deteriorado las condiciones ambientales en la ciudad, tal es el caso de la calidad y cantidad de agua que se distribuye, la cobertura de drenaje sanitario, la pavimentación de calles, problemas de tráfico y contaminación del aire, desarrollo urbano y falta de recursos naturales o áreas verdes, entre otros.

Asimismo, es necesario utilizar un enfoque desde la perspectiva ambiental, el cual, considerando el tipo de desarrollo que se ha dado en ambos lados de la frontera, ha sido utilizado, entendido y atendido desde diferentes enfoques de la política binacional.

En primer término y debido a la naturaleza de los mecanismos de gestión, el modelo de desarrollo se ha planteado con un enfoque economicista, sobre todo en los Estados Unidos y los países desarrollados. En México la tendencia de dichos mecanismos ha sido centralizadora, lo cual ha limitado la perspectiva de planeación y administración de los recursos naturales, por lo que la falta de atención a dichas premisas, el uso y manejo del agua no ha sido el adecuado para garantizar los recursos de manera segura y suficiente en el futuro.

Es necesario hacer un análisis de la asimetría en los tipos de desarrollo en ambos lados de la frontera, sobre todo en la región Tijuana – San Diego. Con el propósito de tratar de explicar las posibilidades y/o limitaciones hacia el desarrollo sustentable, ya sea de manera integral o considerando aspectos ambientales particulares como podría ser el uso, manejo y disposición del agua y aguas residuales, se identifica como la calidad del agua se ve deteriorada paulatinamente. Este análisis permitirá, así mismo, tratar de plantear la posibilidad de implementar acciones tendientes al logro del planteamiento de la sustentabilidad, lo cual desde un enfoque de uso y manejo eficiente de los recursos naturales, pueden existir posibilidades de mejorar dichas condiciones, pero pueden por otro lado, ser evidente la dificultad de lograr de manera integral el desarrollo sustentable en el ámbito regional.

Finalmente se abordará la noción del desarrollo fronterizo, como un enfoque para encontrar cuando ocurre con mayor intensidad el crecimiento demográfico y urbano. Dicho crecimiento paralelo al sistema de administración del recurso, llevó por un lado a alcanzar

los límites de capacidad de las fuentes de recursos naturales de las zonas de desarrollo. Por otro lado permite identificar como ha evolucionado dicho modelo, de tal manera que tales condiciones han sido determinantes en la deficiencia y rezago significativo del monto y calidad de los recursos, de su disponibilidad, de su uso y manejo y por último, de la desigualdad que frente a los Estados Unidos afecta el desarrollo local.

2.2.1. Enfoque ambiental fronterizo

Los problemas ambientales en el ámbito local recientemente se han visto como problemas transfronterizos regionales, por el interés que ha cobrado la transferencia de contaminantes entre países, sobre todo cuando ciudades cercanas se desarrollan simultáneamente. Históricamente los asuntos fronterizos se han estudiado por los científicos políticos, debido en gran medida a que los efectos fronterizos encuentran las características y funciones de las fronteras y límites como dependientes de la organización interna de las sociedades, y el camino en el cual el poder político es ejercido en las zonas centrales de los estados.

Para otros científicos como los geógrafos, las características de las fronteras son influencias fundamentales en el camino que la sociedad desarrolla y sobre las opciones de apertura política por las mismas. Por lo tanto Anderson, 1991 en: Ganster et al. 1997, plantea que las fronteras no son simplemente líneas sobre mapas, la problemática de la vida política, donde una jurisdicción termina y otra comienza, por lo que señala que en el mundo contemporáneo, las fronteras entre estados pueden ser consideradas como instituciones y proceso importantes. La frontera es la institución política básica, no regula el enlace económico, social, o vida política que en sociedades avanzadas puede ser organizadas sin ellas.

Las fronteras son parte del proceso político con cuatro dimensiones que la definen; primero, las fronteras son instrumentos de las políticas de estado porque los gobiernos intentan cambiar a su propia ventaja, la localización o la función de las fronteras (Ganster, et al. 1997). Mientras no hay una relación simple entre la frontera e inequidades de bien y poder, la política de gobierno sobre la frontera, ésta entendida para proteger y promover los intereses; segundo, las políticas y prácticas del Estado están constreñidas por el grado de control de facto, que el gobierno ejerce sobre el estado de la frontera.

La incapacidad de los gobiernos en el mundo contemporáneo para controlar mucho del tráfico de personas, bienes, e información en el cruce de las fronteras, está cambiando la naturaleza de ambos estados y las fronteras; tercera, las fronteras son límites básicos de identidad, en el siglo veinte, usualmente la identidad nacional, pero las identidades políticas pueden ser mayores o menores que el estado-nación.

Las fronteras, en este sentido, son parte de las creencias y mitos políticos acerca de la unidad de la gente, y algunas veces los mitos acerca de la unidad natural del territorio; finalmente, la dinámica del desarrollo hace que las asimetrías entre fronteras con evoluciones económicas dispares, se equiparen en algunos procesos y se beneficien en algunas actividades, haciendo de la frontera una zona de desarrollo que puede ser diferenciada de sus países de origen.

Estas comunidades imaginadas, para usar la frase de Benedict Anderson (1991) concerniente a las naciones, son ahora un fenómeno universal y comúnmente tienen una raíz profundamente histórica. Están enlazadas a la forma más poderosa del enlace ideológico en el mundo moderno-nacionalismo. Las comunidades imaginadas pueden trascender los confines del estado, y mitos de unidad regional, continental e hemisférica tiene también límites marcados entre amigos y enemigos (Connor 1969 en: Ganster et al.

Op cit, 1997). Pero los mitos de unidad pueden ser creados o transformados con rapidez remarcable durante las guerras, revoluciones, y sucesos políticos. Finalmente, fronteras en términos de discurso, los significados han sido dados a ambas fronteras en general, y a fronteras particulares, y estos significados cambian de tiempo en tiempo.

Debido a los cambios más recientes en la estructura global de la economía y las relaciones estratégicas, están transformando dramáticamente las funciones de los límites internacionales y presentan nuevas aventuras y oportunidades para regiones-ciudades localizadas cerca de ellas.

Históricamente, la función económica de los límites internacionales ha sido ampliamente derivado de las funciones políticas, económicas, y estratégicas de las naciones-estado. Esto es, los límites se consideran primariamente como símbolos e instrumentos para mantener la soberanía nacional y el cargo de las políticas nacionales. Como tal, las fronteras han sido utilizadas para regular la entrada (y algunas veces la salida) de bienes y servicios (cosas o gente) en acuerdo con las políticas de la nación estado, tendiendo a tratar las fronteras primariamente como barreras al comercio internacional, separándolos de su alcance natural. por lo tanto limitando el desarrollo de esas ciudades-region localizadas adyacentes a la frontera.

Recientemente, un nuevo ambiente político-económico ha emergido de la aceptación de crecimiento de las políticas de libre mercado -incluyendo libre comercio global y bloques comerciales regionales- y el fin de la guerra fría. Este nuevo ambiente económico global sin fronteras esta ahora erosionado la función histórica de las fronteras internacionales y abriendo nuevas opciones para el desarrollo de regiones fronterizas. Sin embargo, el desarrollo bajo estas nuevas condiciones no esta garantizado. En este contexto, la colaboración transfronteriza coexiste con la competencia transfronteriza aparece se una

condición importante para el desarrollo como regiones desplazando la nación estado como la unidad económica relevante para formular e implementar políticas de desarrollo.

Respecto de las relaciones que ocurren entre dos sitios separados por fronteras, encontramos que a lo largo de la historia, han ocurrido fenómenos importantes sobre como se dan dichas relaciones. Por ejemplo en la frontera México-Estados Unidos, la cantidad y calidad de restricciones impuestas sobre los flujos de comodidades y personas en la frontera varia significativamente en función de las normas y políticas de orden político, económico e incluso cultural. Por lo tanto el efecto frontera entre dos estados-nacion, responde a una diversidad de condiciones de mercado y de no mercado, marcados por las economías de mercado, bienes y servicios de intercambio, tecnología disponible o transferible y por supuesto el flujo de personas a través de la frontera. En este contexto las oportunidades de beneficio en una frontera, se presentan en función de la facilidad o dificultad de generar ganancias debido a diferencias en precios, calidad y disponibilidad de los bienes y servicios entre dos paises. Estas condiciones gobiernan los patrones de flujo de bienes, servicios, finanzas, tecnología, y gente (Ganster, et al.) 1997).

La región fronteriza por la naturaleza de su evolución, ha estado estrechamente ligada al modelo de desarrollo económico que se ha llevado a cabo en los Estado Unidos o estrechamente relacionados con este tipo de enfoques económicos. Asimismo, el desarrollo industrial, que ha sido impulsado por fuerzas externas a nuestro país y posteriormente fomentado por el gobierno federal, ha ocasionado el florecimiento de la industria maquiladora, lo cual ha sido un factor determinante para el desarrollo regional y en particular de la ciudad de Tijuana. La característica principal de dicho modelo de industrialización o desarrollo económico del Estado de B.C., ha sido la demanda potencial de agua, directamente por el uso en los procesos industriales e indirectamente por el uso de

servicios a dicha industria, así como, la atracción intensiva de mano de obra que requiere de agua entre otros servicios públicos.

2.3 Modelo de desarrollo y crecimiento industrial

El tipo o modelo de desarrollo al que ha estado sujeta la ciudad de Tijuana, y la mayor parte de las ciudades fronterizas, ha dado origen a problemas de rezago y desabasto en la infraestructura de servicios hidráulicos, de tal manera que existen zonas en la ciudad con una gran deficiencia de drenaje sanitario. Estas condiciones ponen en riesgo la salud pública y afectan la calidad de los recursos naturales en el acuífero del río Tijuana.

Entre las causas que han guiado el modelo de la ciudad podemos enumerar la promoción del crecimiento de los asentamientos urbanos, el crecimiento sobre la base de desarrollo económico como es el caso de disponibilidad de mano de obra, la alta inversión extranjera, influencia de consumismo, modelos de vida nuevos. De igual manera ocurre con la economía de libre mercado, la globalización, la falta de infraestructura y deficiencia en el tratamiento a las aguas residuales y el desarrollo industrial, sobre todo la instalación de la industria maquiladora.

Estos factores han ocasionado que las autoridades, sobre todo en el ámbito local, se encuentren limitadas para satisfacer la demanda de servicios a la comunidad, lo cual ha traído como consecuencia efectos ambientales adversos como: fuentes de contaminación (vertimientos sin tratar, efectos a los humanos y recursos naturales, atracción intensiva de mano de obra que requiere de servicios públicos y colonización del sector industrial (Castells, 1988).

2.3.1. Crecimiento, desarrollo y subdesarrollo

Para poder realizar un análisis que de claridad de como ha evolucionado la ciudad de Tijuana, y en particular poder plantear si el desarrollo de la ciudad esta sustentado en los planes de desarrollo actuales, o bien ha estado influyendo o sujetado al modelo de desarrollo en el pasado, así como tratar de entender cual será el tipo de comportamiento local frente a los cambios o paradigmas del desarrollo, se trata de llevar a cabo la conceptualización que nos da el referente teórico para dicho análisis.

El proceso de “desarrollo” que ha ocurrido en la ciudad en particular, y en general en la zona fronteriza, deriva en forma genérica del proceso que han tenido rasgos comunes diversas sociedades latinoamericanas, las cuales tienen diferencias estructurales que pueden ser identificadas y precisadas analíticamente.

La característica principal mediante la cual se pueden identificar los rasgos comunes, es la especialidad histórica de los procesos económicos diferenciados que experimentan los países latinoamericanos, sobre todo, luego de las épocas precolombinas (Sunkel y Paz, 1982). Los rasgos a los que hacen alusión Sunkel y Paz son entre los más importantes:

- un modelo de crecimiento hacia afuera que ha determinado el crecimiento económico y la expansión del sector explotador
- El tipo de economía depende del contexto histórico preexistente (conquista, independización, evolución política y económica, etc.) y de las formas de vinculación con el sistema económico internacional de expansión. Aquí es necesario recordar como el orden internacional ha evolucionado y concebido a América Latina como factor de su economía.

Se ha propuesto como hipótesis acerca del desarrollo latinoamericano la tipología que explique el proceso de cambio de las economías y sociedades latinoamericanas de la siguiente manera:

“Concebir el subdesarrollo como parte del proceso histórico global del desarrollo; Tanto el subdesarrollo como el desarrollo son dos aspectos de un mismo fenómeno, ambos procesos son históricamente simultáneos, están vinculados funcionalmente y por lo tanto, interactúan y se condicionan mutuamente, dando como resultado, por una parte, la división del mundo entre países industriales, avanzados o “centros”, y países subdesarrollados, atrasados o “periféricos”; y por otra parte, la repetición de este proceso dentro de los países subdesarrollados en áreas avanzadas y modernas, y áreas, grupos y actividades atrasadas, primitivas y dependientes. En tanto proponen que el desarrollo y subdesarrollo pueden comprenderse como estructuras parciales pero interdependientes, que componen un sistema único”, (Sunkel y Paz, 1982).

Los mismos autores que plantean dicha hipótesis, señalan la existencia de distintas visiones y enfoques que se han utilizado con el fin de definir el término subdesarrollo. Dicho concepto se ha concebido como estado, situación estructural e institucional, lo que a su vez lleva a sostener que el énfasis en la política del desarrollo debe ponerse en el cambio de las estructuras instituciones, lo cual dicen, se presume determinan ese estado o situación.

De igual manera señala que cuando se destacan como características básicas las potencialidades desaprovechadas de los recursos humanos y naturales y el acento en la política de desarrollo, se vuelca hacia la educación y la formación de mano de obra calificada, así como la aplicación de la tecnología moderna. Por otro lado, cuando se insiste sobre los problemas de dependencia, la política tenderá a modificar las formas tradicionales de vinculación entre países y al fortalecimiento del sistema nacional (Sunkel y Paz, 1982).

Entre las características relevantes que ciertas teorías dan al conjunto de elementos como causas del subdesarrollo se encuentran entre otras, las siguientes; bajo nivel de ingreso y ahorros la inestabilidad, el desempleo y subempleo, la especialización en exportaciones primarias, y el atraso tecnológico, entre otras. Estas características han sido enlistadas sobre

todo a partir del enfoque de subdesarrollo apoyado en la noción de estructura, sistema, y proceso. La conceptualización para esa época estaba influida por factores preponderantemente de tipo económico, político e histórico, que habían ocurrido en el ámbito mundial y que enfrentaban las fuerzas aliadas, las cuales expresaron tanto en la primera declaración Interaliada de 1941, como en la carta del Atlántico que: *“El único fundamento cierto de paz reside en que todos los hombres libres del mundo puedan disfrutar de seguridad económica y social, y, por lo tanto, se comprometen a buscar un orden mundial que permita alcanzar esos objetivos una vez finalizada la guerra”*.

Esta voluntad demuestra como, un grupo de potencial a nombre del bienestar hacían la guerra para lograr la estabilidad económica y social, sin reflejar por un lado los que quedarían sujetos a condicionamientos de no acatar las disposiciones signadas. Dichos propósitos lograron permear hasta la Carta de la Naciones Unidas donde apuntaban el compromiso de que: *“estaban decididos a promover el progreso y mejorar sus niveles de vida dentro de una libertad mayor”, “a emplear las instituciones internacionales para la promoción del avance económico y social de todos los pueblos”, “a lograr la cooperación internacional necesaria para resolver los problemas internacionales de orden económico, social, cultural o de caracteres humanitario, y promover y estimular el respeto a los derechos humanos y las libertades fundamentales de todos, sin distinción de raza, sexo, lengua o religión”*

Por otro lado, a partir de un análisis comparativo de dichos conceptos, si son examinados desde el punto de vista de la realidad histórica concreta donde surgieron, sobre todo a partir de la escuela de pensamiento económico que integran, y de la visión cultural general a que pueden ser asimiladas, permite apreciar que existen notables diferencias entre esas nociones y el nuevo concepto; además dicha conceptualización permite verificar que las escuelas de

pensamiento económico, correspondientes a cada una de esas nociones y las políticas de desarrollo que de ellos se derivan, en modo alguno se ajustan a la nueva tarea del desarrollo. Conceptos similares al de desarrollo o subdesarrollo, se han tratado de comparar con otros como los de riqueza, evolución, progreso, crecimiento e industrialización con el fin de definir los parámetros o características que distinguen al nivel de desarrollo del no desarrollo o subdesarrollo.

Debido al objeto del presente trabajo, el asentamiento de problemas respecto del uso, manejo y disposición del agua y los problemas derivados del mismo, los cuales por el nivel de desarrollo, problemas derivados de la falta de recursos económicos por el tipo economía local y nacional. En este contexto se da un enfrentamiento que se adquiere diplomáticamente con los Estados Unidos, sobre todo al tratar el problema de contaminación transfronteriza. Esto promueve a que nuestra ciudad vaya a depender en gran medida de políticas o lineamientos que mucho tienen que ver con estructuras económicas y de gestión que se caracterizan por economías desiguales que limitan por otra parte el lograr en forma conjunta y simultánea niveles de administración ambiental respecto e los recursos naturales. Así mismo surge la dificultad de alcanzar el desarrollo sustentable parcial en el caso del agua y general en el caso de una variedad de factores que por ser tipo de desarrollo nacional limitan nuestra capacidad de equiparar esfuerzo para alcanzarlo en el corto y mediano plazo.

2.3.2. La conceptualización urbana

Con el fin de entender como la ciudad de Tijuana en sus 109 años de vida oficial, ha pasado a una madurez prematura, debido a que no ha seguido los patrones de evolución que

tradicionalmente los estudiosos de lo urbano han caracterizado, se describe de manera s general algunas concepciones sobre la cuestión urbana.

Acerca de la problemática urbana, Castells¹ apunta que: *“la problemática urbana es un conjunto de fenómenos que forman un todo, que constituyen un proceso social estructurado, cuya lógica y unidad dimanen del desarrollo progresivo de nuevas contradicciones sociales en las sociedades capitalistas”*.

Desde el punto de vista sociológico de Castells, los fenómenos que dan estructura a la problemática urbana, ocasionan una concentración acelerada de los medios de producción, la constitución de *trusts económicos y financieros*, así como de grandes organizaciones de reproducción, vinculadas a una interpenetración creciente de un aparato de Estado que se convierte en omnipresente, lo cual de acuerdo con Castells, da lugar a la constitución del capitalismo monopolistas de Estado. Este modelo, el cual a su vez desarrolla una articulación en el nivel mundial, promueve la concentración de grandes masas de población en las regiones metropolitanas y la constitución de vastas unidades colectivas de organización de la vida cotidiana, que tiene como característica final la concentración de al fuerza de trabajo.

Este análisis de Castells, sin duda nos lleva a la reflexión de como han evolucionado y se encuentran en la actualidad algunas regiones o desarrollos urbanos en el ámbito mundial, y me lleva de igual manera, a preguntarnos si los grandes desarrollos urbanos, o concentraciones urbanas han sido influenciadas por ese capitalismo monopolista de Estado. Sin duda que el desarrollo de los centros de movimientos sociales como económicos han estado fuertemente dominados por una lógica económica, la cual bajo distintos modelos de desarrollo han llevado a los agentes económicos a desarrollar en primer instancia un

mecanismo de acción económica (periodo de Estado benefactor) favorecida o impulsada por el Estado. Esto lleva hasta esquemas novedosos donde grandes corporaciones invierten fuertes capitales que obligan, bajo las circunstancias de Estados con problemas económicos, a aceptar las “inversiones preferentes” que ayudarán a resolver problemas internos de desarrollo (neoliberalismo o globalización económica).

En ambos casos antes y ahora, los agentes económicos han mostrado ser un factor decisivo de la direccionalidad que los Estados, participativos o no directamente en la economía, han asumido como motor del desarrollo. Al hacer una comparación entre lo urbano y la conceptualización de los problemas relativos al proceso colectivo de la producción, Castells² parafrasea una equivalencia de paralelismo “*la aglomeración residencial es al consumo, lo que la empresa o la rama industrial es a la producción*”

Apunta de igual manera, que la formación de regiones metropolitanas en las sociedades industriales no es un reflejo de la sociedad de masas, sino que es la expresión espacial del proceso de centralización de la gestión y descentralización de la ejecución. Este planteamiento lo asume como análisis, tanto desde el punto de vista de la producción como desde el punto de vista del consumo, lo cual lleva a una explicación lógica de predominio del medio técnico sobre el medio natural, que a su vez dependen del tipo de organización social y tipo de progreso técnico que hayan desarrollado las nuevas aglomeraciones.

Sobre la base de esta tipología y análisis de la organización del espacio, Castells plantea que el espacio debe ser integrado en la estructura de las relaciones entre los elementos concretos que componen a una sociedad, entre los que se encuentra el espacio como medio para desarrollarse. Sin embargo esta consideración sociológica de la organización del

¹ Manuel Castells. *Movimientos sociales y urbanos*. Siglo XXI editores, 10a. edición, 1988.

² Manuel Castells. *Problemas de investigación en sociología urbana*. Siglo XXI editores, 12a. edición, 1988.

espacio, dice Castells, “*no nos conduce a una demarcación teórica autónoma, sino a clarificar y explicar la relación entre espacio y ámbito tecno-social*”, por lo que es necesario asumir una conceptualización teórico complementaria para poder explicar la apropiación del espacio por las aglomeraciones sociales.

Otro de los intentos por explicar la constitución de las aglomeraciones humanas o sociedades, es a partir de la explicación de lo que Castells llama, las colectividades territoriales desde el enfoque del sistema ecológico. Dicho enfoque lo estructura a partir de formulaciones como la de Duncan que plantea, que los fenómenos urbanos surgen de las recíprocas relaciones entre cuatro elementos básicos: *población, medio físico, organización social y tecnología*. Considera asimismo, como las diferentes colectividades están relacionadas entre sí por nexos jerárquicos, que en conjunto forman una red compleja, para nuestro caso de estudio sistema complejo, cuyos elementos fundamentales están relacionados entre sí, tanto al interior como en el ámbito externo de dichas colectividades. En nuestro caso, hemos planteado tres subsistemas; *el económico* que involucrará lo tecnológico; *el ambiental*, que incluye el medio físico, y *el administrativo* que conforma la sociedad, la población y los actores del gobierno. El esquema planteado por Duncan puede ser tan complejo como variables se introduzcan, por ejemplo incluir el elemento sico-sociológico, la cultura, etc.

El planteamiento de analizar una red compleja o sistema socioespacial, no contempla solamente a la ciudad sino a las interacciones externas (ámbito) e internas (estructura), que a su vez por no ser estática, muestra la tendencia al cambio o el proceso dinámico de su evolución. Este planteamiento nos sitúa frente a una perspectiva que puede ayudarnos a explicar las relaciones que han llevado a la ciudad, a descifrar aquellos factores que han originado por un lado el crecimiento y/o desarrollo de la ciudad, y por el otro a identificar

aquellos elementos estructurales que han sido afectados en forma benéfica o adversa por el logro de dicho desarrollo, elementos naturales, físicos, sociales, entre otros.

Estas consideraciones deben identificar a su vez, las condiciones actuales de nuestra ciudad como organización social, lo cual permita de igual manera, identificar los elementos clave que han originado deterioro de los recursos, que para nuestro objeto de estudio es la contaminación del agua en el acuífero del río Tijuana.

Al lograr esclarecer dichos planteamientos teóricos, nos acercamos a la vez a plantear el contexto en el que la ciudad ha evolucionado y se ha visto sujeta como elemento receptor de *presiones de desarrollo*, o bien, de satisfactores debido a su ubicación o punto estratégico para el logro de objetivo preferentemente seleccionados, como pueden ser, el uso de espacio para fines turísticos en los años 20's, el uso de mano de obra barata a partir de la gran depresión y los periodos de guerra mundial, así como las preferencias o ventajas fiscales que el sector industrial adquirió a partir de mediados de los 60's hasta la actualidad.

2.4 Enfoque de análisis sobre el deterioro de los recursos naturales

Debido a la problemática ambiental que se vive hoy día, a la luz de la globalización de la economía, es necesario tratar de esclarecer como surge dicha problemática. Con este objetivo es posible plantear dos perspectivas de estudio o de análisis, la primera desde el punto de vista histórico lo que nos podría dar una visión de cuando surge el problema ambiental como consecuencia del desarrollo de la sociedad moderna.

La segunda perspectiva sería a través del estudio conceptual para explicar como surge la problemática ambiental, sobre todo, con el fin de tener claro la forma en que el equilibrio de los recursos naturales se rompe y se generan los denominados problemas ambientales.

Desde la perspectiva de análisis de los problemas ambientales, un planteamiento histórico debería explicar los problemas ambientales debido a la forma y tipo de desarrollo de una sociedad.

Una revisión histórica permite identificar cuando han ocurrido más problemas ambientales y como se atribuye el origen del problema a ciertas actividades que ocurren en la región, y que es posible precisar en tiempo y magnitud el problema. Es posible entonces que el aspecto histórico puede explicar cuando ocurre la detonación de los problemas ambientales. Desde luego no todo los problemas son similares, ni tienen la misma magnitud ni trascendencia, empero, es posible su identificación y por lo tanto caracterizarlos por su localización, su magnitud y efectos sobre el ambiente.

Sin embargo, un planteamiento histórico del origen de los problemas ambientales, deja un vacío con respecto a la conceptualización de la conservación de los recursos naturales, pues este planteamiento, dejaría de lado las posturas liberales y conservacionistas con respecto del uso de los recursos naturales para lograr el desarrollo. Los partidarios liberales, seguramente apostarían por el uso de los recursos naturales bajo el argumento de que se debe garantizar el desarrollo sustentable. Entonces la forma de uso de dichos recursos se limita a un uso racional, vigilado, y con la garantía de que los supuestos de uso son suficientes para garantizar los recursos para las generaciones futuras.

Por otro lado los conservacionistas empeñados en la conservación a toda costa de dichos recursos, incluso a costa de limitar el desarrollo, plantearían una postura del como se han utilizado y cuando ocurre una afectación del stock de recursos, y por otro de efectos que no sólo afectan a los recursos, sino al ser humano como parte del gran ecosistema llamado Tierra.

Este tipo de planteamiento conservacionista o liberal, no sería explicado mediante una perspectiva histórica, sino que, sería necesario plantear un marco conceptual que explique como y cuando las actividades antropogénicas hacen que el ser humano se desligue de la naturaleza y se vuelva actor que analiza y juzga la naturaleza y los mismos efectos por actividad del hombre.

Es en esta perspectiva, de tipo conceptual, como puede ser explicada la percepción que tiene el hombre de los problemas ambientales, y como los atribuye a la falta de lineamientos legales, de instrumentos de gestión capaces de controlar las actividades industriales, comerciales de servicios y domésticas, así como, la posibilidad de identificar cuando se conceptualiza el problema como parte de la actividad humana y no sólo como consecuencia de la evolución social dentro del ámbito de la naturaleza. Para nuestro caso de estudio, es importante identificar como ocurre la problemática de la contaminación del agua y el deterioro de la calidad ambiental del acuífero del río Tijuana

La promoción de la sustitución de importaciones como el proceso de industrialización, la autorización del programa de la industria maquiladora, así como el papel intervencionista del estado, dieron a la región fronteriza y a Tijuana en particular el vuelco a una ciudad con proyecciones de crecimiento potencial.

Otros eventos sobresalientes fue la petrolización de la economía, el modelo de internacionalización del trabajo, la internacionalización de la producción, la globalización de la economía, el neoliberalismo, entre los más significativos. Estos han dado a la ciudad de Tijuana una dinámica de intercambio comercial y desarrollo urbano e industrial y turístico que ha rebasado los niveles de planeación del desarrollo urbano, dejando un serio rezago en la capacidad de satisfacer la demanda de servicios públicos.

2.4.1 La administración ambiental y el desarrollo sustentable

Desde el punto de vista de la administración ambiental, la cual está relacionada con la cuestión de proveer un enlace congruente y ameno entre las actividades del hombre y la naturaleza, se debe considerar como un enfoque alternativo al de desarrollo sustentable,³ de tal manera que no sea un enfoque de moda, sino que, se atienda el problema de manera integral.

En el presente trabajo, aunque uno de sus propuestas fundamentales es identificar problemas de sustentabilidad de un recurso natural en un sitio de estudio muy específico, se enfoca de manera particular a identificar las causas que han llevado a un desarrollo de la ciudad donde la infraestructura hidráulica no ha sido la óptima para garantizar el abasto suficiente del recurso. En el ámbito local y regional, el recurso sigue siendo escaso y no ha sido considerado como elemento fundamental para el desarrollo de la ciudad, lo cual ha tenido como consecuencia deficiencias en el uso, manejo y tratamiento del agua, lo cual puede existir a largo plazo.

La *administración ambiental* es un concepto referido al manejo de los aspectos humanos, de tal manera que factores como la salud biológica, la diversidad, y el balance ecológico deberán ser preservados, en otras palabras, la administración ambiental está relacionada con la cuestión de proveer un enlace congruente y trabajable entre las actividades del hombre y la naturaleza.⁴ Sin embargo, esta conceptualización de la administración ambiental parece ser estática, es decir, considera los factores y actividades que deben llevarse a cabo para

³ Planteamiento que hace el Dr. Roberto Sánchez en: *El desarrollo sustentable en Tijuana: una perspectiva sobre las opciones y los retos*, 1998

⁴ La conceptualización de *administración ambiental*, ha sido adoptada del planteamiento elaborado por Stahl Edmunds y Jhon Letey, en su libro *Environmental Administration*, 1973. De igual manera, plantean los autores que, la naturaleza es todo el conjunto de procesos biológicos que hacen las interrelaciones de organismos con su ambiente(entorno), siendo este ambiente el ecosistema, y por lo tanto el

garantizar la armonía entre el ser humano como representante de los seres vivos y la naturaleza como el escenario donde ocurren todos los procesos.

Por lo anterior se debe considerar que es necesario utilizar otro concepto que no solamente considere a los actores, factores y actividades, sino que permita visualizar la evolución del desarrollo del ser humano con una perspectiva dinámica. Dicho concepto debe incorporar los cambios continuos que ocurren tanto en seres vivos como en la cantidad y calidad de recursos, que asocie el tipo de desarrollo de las sociedades contemporáneas, la cantidad y calidad de los recursos y la evolución en el crecimiento poblacional, el deterioro en la calidad de los recursos, así como, que valore las posibilidades de los recursos en el futuro, si bien no como la garantía de las generaciones futuras.

Es necesario considerar que los recursos son cambiantes y que en el futuro o se cambia la dinámica de uso de recursos o se deberán plantear mecanismos o instrumentos que garanticen la permanencia de los que hoy ocupamos este plantea. Sobre la base de este planteamiento se hace necesario considerar como alternativa para el desarrollo futuro al desarrollo sustentable, siendo cuidadosos de no considerarlo como fin sino como un proceso dinámico que garantizar ir ajustando las condiciones de recursos y necesidades a nuevos enfoques y/o paradigmas del desarrollo (Sánchez, 1998).

Tanto el enfoque del desarrollo sustentable como el concepto de administración ambiental, permiten hacer un análisis de las condiciones de uso de los recursos naturales. Así mismo, considerar estos enfoques, nos dará la pauta para establecer como la evolución del desarrollo urbano de la ciudad y su desarrollo económico e industrial, han sido factores determinantes de las condiciones ambientales actuales. Debido a estas condiciones es

hombre es considerado como un ser vivo y por lo tanto parte de los organismos vivos que participan de dichas interrelaciones: Stahl Edmunds & Jhon Letey, *Environmental Administration*, McGraw-Hill Series, 1973.

posible establecer algunas relaciones entre la cantidad y disponibilidad de recursos, así como las condiciones en que dichos recursos han sido administrados en la ciudad.

2.4.2 Dimensiones conceptuales que gobiernan la dinámica del acuífero del río Tijuana

Para llevar a cabo un análisis desde la perspectiva de la administración ambiental, concebida ésta como la interrelación de los recursos naturales y las actividades antropogénicas, se han considerado de manera conservadora, tres elementos básicos, sin dejar la importancia de otros, que interactúan mutuamente, en el área de estudio; el acuífero del río Tijuana. Los tres elementos en cuestión son; a) subsistema ambiental, b) subsistema socioeconómico, y c) subsistema administrativo y/o de gestión.

El primero, el subsistema ambiental tiene alcances transfronterizos, pues sin respetar fronteras geográficas ni políticas, está definido geohidrologicamente y es sujeto de afectación por las actividades que ocurren en la región y que tienen influencia en la zona de estudio; el segundo, el subsistema económico, está caracterizado por el modelo de desarrollo que por el cual ha pasado la ciudad, el cual en años recientes en el ámbito mundial nuestra ciudad no escapa, lo que a su vez ha ocasionado en gran medida el comportamiento complejo (dinamismo complejo de actividades diversas) que ocurre en la ciudad; y el tercero, el subsistema administrativo, entendiéndolo como aquellos actores e instituciones que son responsables del diseño, implementación, ejecución y vigilancia de las políticas de desarrollo que impactan a nuestra ciudad y por consiguiente a la zona de estudio.

2.4.1 Subsistema ambiental

La dimensión o subsistema debe incorporar los recursos naturales que están presentes temporalmente, espacialmente y económicamente, es decir en el tiempo, en el espacio y debido al desarrollo económico de la ciudad, de tal manera que se perciba como se han comportado los recursos naturales como consecuencia del desarrollo de la ciudad.

2.4.2. Subsistema socioeconómico

La dimensión o subsistema ambiental socioeconómico define en cierta medida el rumbo que ha tenido la ciudad respecto del crecimiento tanto urbano, industrial y de servicios que han establecido las características actuales de la sociedad; crecimiento urbano, infraestructura de servicios públicos, desarrollo de la industria maquiladora, modelo de planeación del desarrollo urbano, interacción a nivel internacional-desarrollo económico, y los factores económicos que han determinado el desarrollo económico de la ciudad.

2.4.3. Subsistema administrativo y/o de gestión

La dimensión administrativa se analizará desde el punto de vista de los actores de gestión de distintas instancias que han atendido la problemática del agua en la ciudad y la evolución a través del tiempo de gestión de dichos actores.

- Es importante por lo tanto identificar las interacciones que ocurren de manera natural por motivo del tipo de dinamismo en la ciudad, entre subsistemas que permanentemente interactúan en el acuífero, lo cual tiene como consecuencia un comportamiento complejo de las condiciones ambientales.

Estas conceptualizaciones teóricas, dejan ver que la dinámica del crecimiento económico en la actualidad, no ha garantizado el uso racional de los recursos naturales. Así mismo es

evidente como el desarrollo económico, el crecimiento poblacional el desarrollo de asentamientos humanos, obedece a intereses económicos de maximización, lo cual se han ocasionado el deterioro de los recursos naturales.

Por otro lado, es evidente observar que el actual modelo de desarrollo, impide alcanzar los planteamientos que continuamente se utilizan en el discurso, sin embargo, sólo parecen ser la justificación de los mecanismos economicistas para el logro de mayores beneficios en detrimento de los recursos naturales. El uso de agua por ejemplo, no se ha visto como un elemento del desarrollo integral, sino como materia prima que se sirve para satisfacer las necesidades de producción. El deterioro de su calidad, está poniendo cada vez en mayor riesgo la garantía de renovación del recurso, así como, reducir la posibilidad de lograr, mediante un uso eficiente, el desarrollo sustentable.

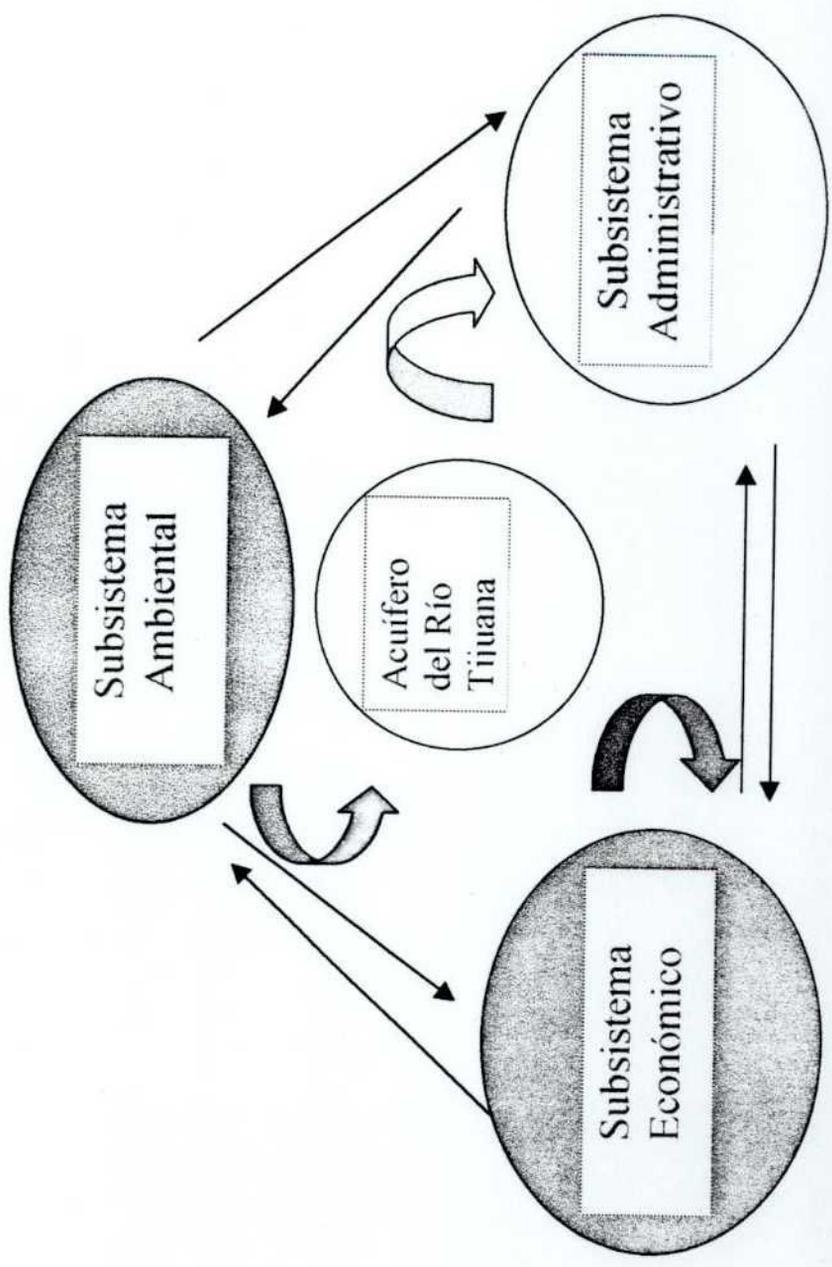


Fig. 1 Interacción de los subsistemas que están presentes en el acuífero del río Tijuana

Cuadro 2. Elementos del marco teórico para el análisis de las interacciones entre los subistemas ambiental, económico y administrativo del acuífero del río Tijuana, 1998.

Marco teórico	Fundamentos tóricos	Líneas de trabajo	Elementos de análisis
<p>Desarrollo sustentable</p>	<p><u>Conceptos</u></p> <p>Capital ecológico</p> <p>Disponibilidad de agua</p> <p>Uso, manejo y reuso</p>	<p><u>Ambiental</u></p> <p>◇ Usos del suelo</p> <p>◇ Urbanización</p> <p>◇ Recursos naturales</p> <p>◇ Deterioro de recursos</p> <p>◇ Deterioro de la salud</p> <p>◇ Conflictos ecológicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Capacidad de soporte del acuífero * Equilibrio ecológico en la cuenca * Uso racional de los recursos naturales * Sustentabilidad (recursos propios del sistema) * Calidad de los recursos (agua, aire, suelo) * Desarrollo sustentable/equidad/sustentabilidad ambiental * Falta de indicadores para medir el desarrollo sustentable (no conmensurables)
<p>Modelo de desarrollo</p>	<p><u>Modelos</u></p> <p>Globalización</p> <p>Industrialización</p> <p>Capitalismo</p> <p>Neoliberalismo</p>	<p><u>Socioeconómico</u></p> <p>◇ 1950 Inicio de la Globalización Mundial</p> <p>◇ 1965 Maquiladora-Sustitución de importaciones</p> <p>◇ 1980 C intraindustrial-Polos de desarrollo</p> <p>◇ 1990 C. infrafirmas- Modelo neoliberal</p> <p>◇ 1993 TLCAN-Globalización comercial</p> <p>◇ 199X-2000 Unión Europea?</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Fuerza de trabajo barata; alta productividad * Recursos energéticos a bajo costo * Exención de impuestos * 100% importación materias primas y exp. de productos terminados * 100% sobre control de la propiedad * Facilidades legales, fiscales y aduanales. * Maximización de bienes; Externalidades * Colonización y dependencia económica * Nivel de bienestar social
<p>Gestión ambiental</p>	<p><u>Actores sociales</u></p> <p>Estado</p> <p>Gobierno</p> <p>Sociedad</p>	<p><u>Instrumentos de Gestión</u></p> <p>◇ Gestión ambiental; nacional, regional, local e internacional</p> <p>◇ Legislación ambiental. La función del Estado</p> <p>◇ Ordenamiento ecológico del territorio</p> <p>◇ Conflictos Ambientales y participación social</p> <p>Conflictos internacionales (tratados, acuerdos, convenios, etc)</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Normatividad y vigilancia * Planeación participativa-corresponsabilidad * Obligatoriedad de cumplir-incentivos * Centralización, sectorización * Educación-conciencia-cultura ecológica * Nivel de participación social * Equidad social y Bienestar social

Fuente: Elaboración propia, 16 de marzo de 1998, Tijuana, B.C.

Capítulo 3. Descripción de la zona de estudio

Localización

Se selecciona como objeto de estudio el acuífero del río Tijuana, es decir, la zona urbana aguas abajo de la Presa Abelardo L. Rodríguez. Esta zona es la región de la cuenca que se encuentra con mayor desarrollo urbano, así como, por ser la zona donde finalmente ocurren todos los escurrimientos hídricos tanto superficiales como subterráneos, antes de llegar al océano pacífico. El acuífero se localiza en la porción noroeste de la parte mexicana de la cuenca del río Tijuana.

3.1 Delimitación de la zona de estudio

La zona de estudio es la región aluvial-sedimentaria que subyace al cauce del río Tijuana, desde la línea internacional hasta la presa Abelardo L. Rodríguez. En la medida de lo posible y con los datos de antecedentes se hará referencia a las condiciones del acuífero tanto en la parte mexicana como estadounidense, con el objeto de hacer un análisis lo más completo posible, debido a que se trata de un mismo ecosistema. El acuífero del río Tijuana es la región hidrogeológica que se localiza en el cauce natural que da forma al río Tijuana.

3.2 Delimitación geográfica

Las delimitaciones geográficas del acuífero del río Tijuana, están delimitadas por formaciones geológicas como lomeríos al noroeste y suroeste; mesetas al norte en la Mesa de Otay; lomeríos al este en Los Alamos; elevaciones topográficas como el cerro Colorado al sureste; y las planicies aluviales que se forman en los cauces del arroyo El Florido,



CONTAMINACION DEL RIO TIJUANA

"Efectos y riesgo potencial en el ambito local, regional e internacional por descarga de aguas residuales no tratadas"

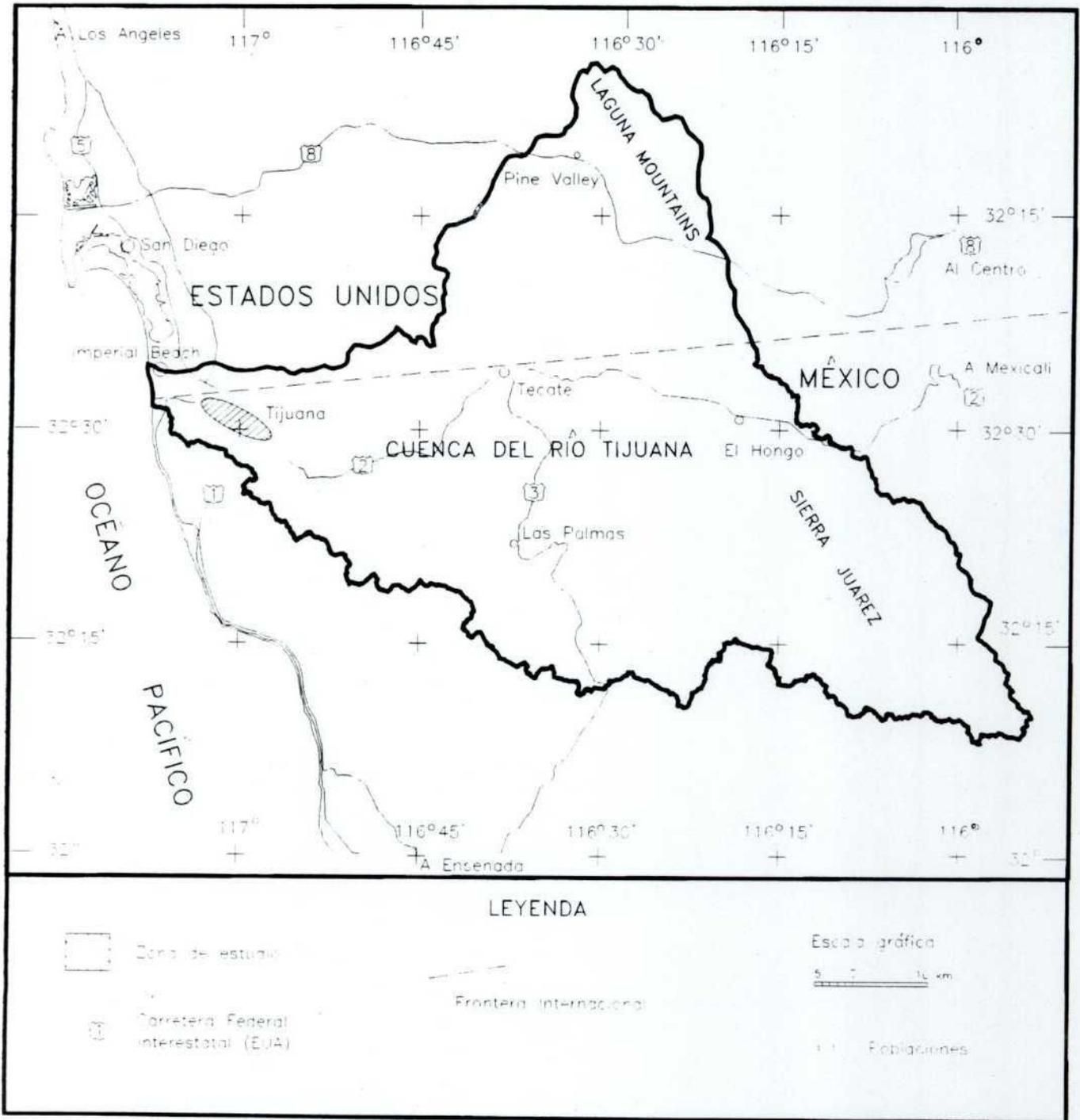


Figura 3. Mapa de localización del acuífero del Río Tijuana.

arroyo El Alamar y el cauce del río Tijuana. Las coordenadas aproximadas se detallan en el cuadro 3.1 y la geometría del acuífero se muestra en la Fig. 2.

Cuadro 3.1 Puntos geográficos que delimitan el acuífero aluvial del río Tijuana

Punto	Este	Norte	Punto	Este	Norte
Ss-01	11-493-931	36-00-307	ss-13	11-507-078	35-97-288
Ss-02	11-494-491	36-00-214	ss-14	11-507-417	35-93-338
Ss-03	11-496-482	36-00-304	ss-15	11-508-385	35-92-039
Ss-04	11-496-989	36-00604	ss-16	11-508-883	35-90-437
Ss-05	11-497-464	36-00-589	ss-17	11-508-550	35-90-055
Ss-06	11-489-901	35-99-108	ss-18	11-508-691	35-90-815
Ss-07	11-500-040	35-97-855	ss-19	11-507-482	35-90-874
Ss-08	11-501-407	35-98-332	ss-20	11-506-535	35-92-309
ss-09	11-503-433	35-97-685	ss-21	11-502-812	35-95-492
ss-10	11-506-559	35-95-024	ss-22	11-500-400	35-95-797
ss-11	11-507-852	35-98-522	ss-23	11-496-344	35-98-952
Ss-12	11-506-996	35-97-530	ss-24	11-495-611	35-99-240

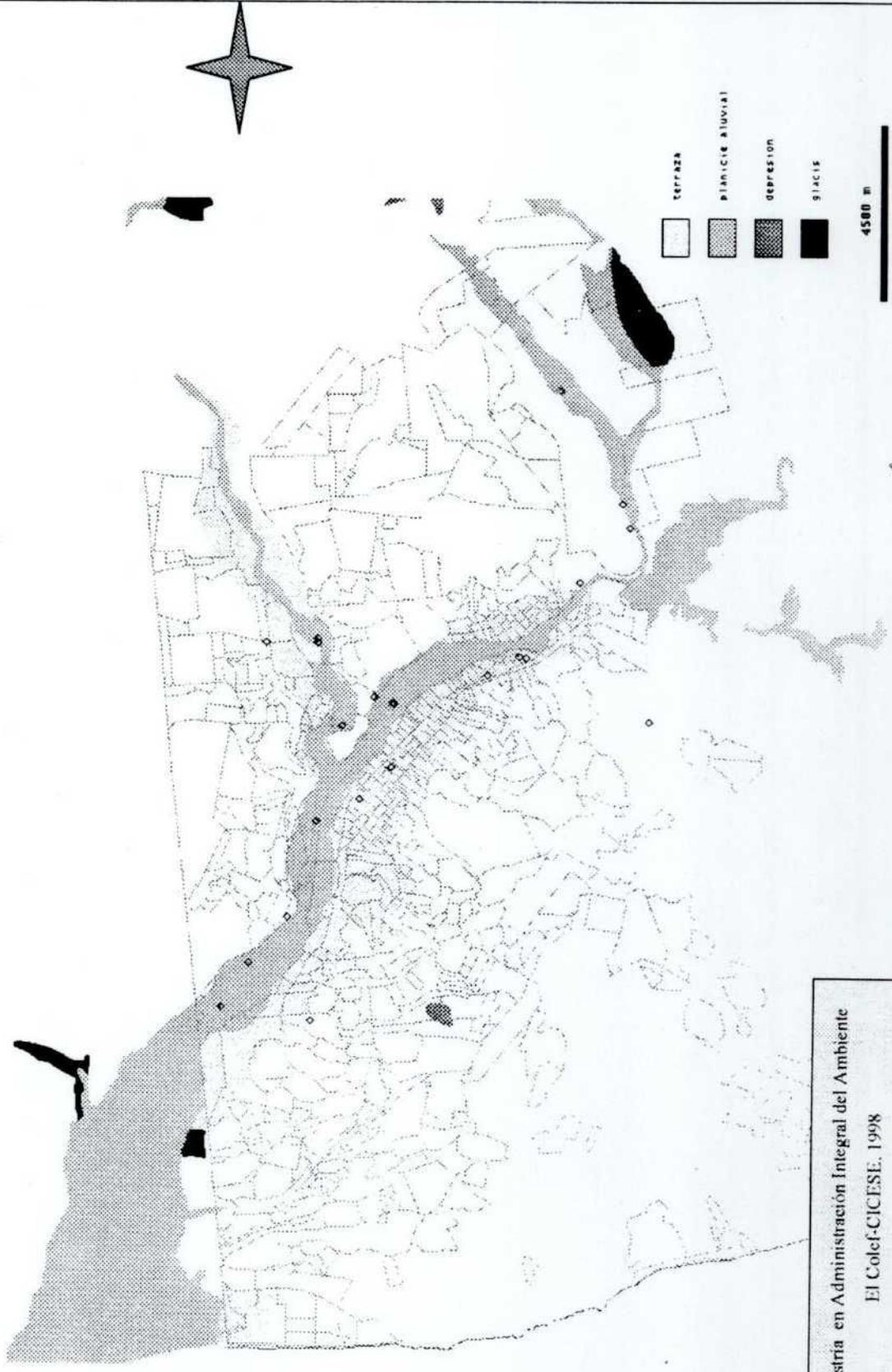
Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo utilizando GPS, 1998

3.3 Delimitación geológica

El acuífero del río Tijuana está formado sobre la base de dos eventos importantes en el ámbito local. Por un lado la formación geológica regional que dio forma a la península de Baja California, por otro, el acuífero del río Tijuana en su parte superior se ha ido conformando a través de sedimentos que han sido acarreados por eventos fluviales y pluviales en la cuenca del río Tijuana, dando forma a lo que hoy conocemos como Valle del río Tijuana (Delgado, A., et. al, 1993).

Algunas características de la composición geológica del acuífero corresponden al Batolito Peninsular, cuya composición es sobre la base de cuarzo, diorita, tonalítica, granodiorítica, adamelítica y granítica. Dicha composición aflora sobre todo en el margen derecho de la cortina de la Presa Abelardo L. Rodríguez. Otra formación la constituyen unidades terciarias de la formación Rosarito Beach, constituidas por basalto, tobas y brechas, lo cual

Fig. 4. Mapa de formaciones geológicas en el acuífero del río Tijuana.



Maestría en Administración Integral del Ambiente
El Colef-CICESE, 1998

CORTE LITOLÓGICO DE UN POZO UBICADO EN CALLE 3 Y OCAMPO



Fig. 5 Corte litológico de pozo en Calle 3a y Ocampo con datos de CNA, 1998.

constituye el basamento de la ciudad de Tijuana (Aragón-Arreola, 1994). El basamento de las formaciones está formado por rocas ígneas intrusivas graníticas como gabros, granodioritas, dioritas y granitos, son completamente impermeables y constituyen la barrera del acuífero formando el drenaje del valle del río Tijuana.

Existen también rocas ígneas extrusivas como basaltos, riolitas, andesitas, tobas riolíticas, tonalitas, sobre todo en los cerros colindantes al acuífero. Éstas no presentan condiciones de permeabilidad, presentando en algunos casos permeabilidad secundaria, sin ser importantes hidrogeológicamente. Aparecen también en la zona de estudio rocas sedimentarias y metamórficas, las cuales presentan condiciones de baja hasta alta permeabilidad, sin embargo por su origen y tiempo de formación, pueden contener agua de baja calidad donde pueden encontrarse elevadas concentraciones de minerales disueltos (CNA, 1998).

La parte superficial del acuífero está constituida principalmente por sedimentos fluviales depositados en los lechos de ríos, coluviones asociados a pendientes fuertes y eluviones asociados a movimientos de ladera. Dichos sedimentos corresponden a la cobertura de mezcla de sedimentos granulares fluviales y aluviales del Reciente, cubren los cauces y las capas de los principales cauces y arroyos de los afluentes de la zona de estudio. Están constituidos por gravas, arenas, limos y en menor proporción arcillas (CNA, 1998). Se ha estimado que los espesores de esta primera capa de cobertura existe un rango de entre 2 y 8 metros como promedio, desarrollada en los periodos terciario y cuaternario recientes correspondientes a las formaciones San Diego y Lindavista. Aragón-Arreola señala que no se conoce con precisión la edad de la columna fluvial. En esta última capa es donde aflora el manto freático de donde se extrae agua del acuífero del río Tijuana. Hidrogeológicamente estas formaciones constituyen el acuífero de mayor importancia y

producción, ya que sus características de permeabilidad permiten la circulación del agua subterránea. El 98% de los aprovechamientos de agua subterránea se encuentran en esta formación (CNA, 1998).

El *acuifero aluvial* en la parte mexicana, subyace a la capa del valle del río Tijuana. Se ha estimado que en la parte mexicana cuenta con un área donde se puede apreciar con base en estudios de geofísica, un banco de materiales acuíferos superiores a los 300 metros de espesor, los cuales tienen una formación semipermeable a una profundidad de 150 metros. Estas condiciones geológicas hacen que el acuifero inferior funcione como acuifero semiconfinado (CNA, *Estudio Hidrogeológico de Tijuana, 1998*).¹

La mayor parte de las corrientes que aportan escurrimientos y permiten la infiltración de agua, son alargadas con dirección NW-SE, las cuales corren paralelas al río Tijuana. Las corrientes tributarias menores cambian de dirección muchas veces, formando ángulos casi rectos. Estas condiciones permiten describir la red de drenaje como rectangular o incluso romboedrales y aparenta estar controlada estructuralmente que muestra una tendencia estructural regional (Delgado et al, 1993).²

3.4 Características geométricas del acuifero

La forma superficial del acuifero seleccionada para la presente investigación, fue determinada sobre la base de las características geográficas y geológicas. De acuerdo con estas características, se estimó que la superficie del acuifero en estudio tiene una superficie

¹El acuifero aluvial en la parte estadounidense subyace la capa del valle del río Tijuana, se ha estimado que cuenta con un área de cerca de 5,000 acres (2,023 Ha.) a una profundidad de 100 pies o más (30 mts). ó más). Esta subárea hidrológica, se encuentra aguas abajo de la cuenca del río Tijuana (Rempel, 1992).

²Luis Delgado et al, "Estudio de riesgo geológico en Tijuana con base en análisis geomorfológicos y estructurales y la respuesta del terreno en las áreas El Patejé, El Pato y Cañada Verde". CICESE 1993

aproximada de 40 Km², tomando como base la escala de la cuenca del río Tijuana (El Colef-Orstom-SDSU-NOAA, 1997).

3.5 Climatología

Para realizar el análisis sobre la climatología local, se consideran las condiciones del acuífero similares a los de la cuenca del río Tijuana en su zona limítrofe con los Estados Unidos. Esto debido a que las condiciones climáticas en la parte baja de la cuenca son similares, y sólo ocurren cambios significativos en la parte alta de la misma.

Adicionalmente se consideran los datos existentes por la Comisión Nacional del Agua, en los cuales no se cuenta con series de registros meteorológicos continuos para series amplias de tiempo, sin embargo, permiten hacer algunas inferencias del comportamiento climático en la zona.

El acuífero del río Tijuana, es un cuerpo de agua donde finalmente escurren tanto superficial como subterráneamente, todos los volúmenes de agua que son captados por la cuenca, con excepción de los niveles de evapotranspiración y exportaciones de agua que salen de la misma, así como, por la diferencia de las importaciones que por diferentes factores se depositan en el acuífero.

Se hará énfasis en las condiciones de precipitación registradas en la estación hidrométrica de la Presa Abelardo L. Rodríguez para realizar el análisis pertinente. La cuenca Tijuana-San Diego tiene una climatología característica del tipo mediterráneo. El área de estudio -- el acuífero del río Tijuana se encuentra en la región Tijuana-San Diego-- queda ubicada en la franja geográfica denominada zona de clima mediterráneo.

De acuerdo a la clasificación de climas, hecho por Köpen y modificado por la Dra. Enriqueta García³, el clima típico de la región corresponde a un clima seco templado con régimen de lluvias en invierno (Bsk), con temperaturas promedio anuales de 14.6 y 18 °C, con máximos de 23 °C en los meses de agosto y mínimas de 10 y 11 °C. Este clima se presenta con mayor incidencia en la zona noroeste de la cuenca y los valles y cauces de arroyos y cañadas de la misma.

En la región noroeste de la cuenca, donde se forma el río Tijuana y se encuentra el acuífero del mismo nombre, las condiciones climatológicas ha sido favorecido por las condiciones topográficas y la cercanía al océano principalmente. Las temperaturas promedio son de 16 a 18°C y las precipitaciones promedio anuales son de 220 a 240 mm. Registros de los últimos 37 años (1960-1996) muestran que el promedio fue de 240 mm, mientras que un análisis de un periodo más amplio, de 1948 a 1996, el promedio anual se reduce a 211.7 mm. Los datos de precipitación mayores fueron registrados en los años de 1965 (413.5 mm), 1978 (456.7 mm), 1983 (440.6 mm) y 1993 (456.7 a 509 mm), y recientemente en los meses de febrero a abril de 1998. Las temperaturas promedio anual estuvieron siempre en el rango de 16 a 18°C.

De acuerdo con el mapa de clasificación de climas de la Comisión Nacional del Agua, basado en el sistema de clasificación de Köpen, modificado por E. García (1964-1968) y adaptadas a las condiciones climáticas de la república mexicana, la mayor parte de la cuenca cuenta con clima semiseco BS. El subtipo clima semiseco, con lluvias en invierno

³Chávez, G. "Geomorfología de la cuenca del río Tijuana aplicada al análisis del uso del suelo en el ámbito regional, menciona los microclimas que se identifican en la región, siendo tres principales: Cs templado, subhúmedo con lluvias invernales mayores a 36% y C(E)s(x'), semifrio subhúmedo con lluvias invernales menores a 36% para la parte alta de Sierra Juárez, montañas Laguna, y clima Bsk para el resto de la zona de tipo seco templado con lluvias invernales mayores a 36%.

de tipo extremoso y veranos frescos Bsk(e) fue clasificado con promedio de temperaturas entre los 12 y 16°C.

Cuadro 3.2 Temperaturas máximas, promedio y mínimas registradas en la ciudad de Tijuana durante el periodo de 1926-1992

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
18.9 ^a	19.5	19.7	21.9	23.4	24.9	27.9	28.3	27.9	25.6	22.9	19.9	23.4
12.9 ^b	13.4	13.8	15.9	17.7	19.3	21.9	22.6	21.7	19.3	16.5	13.8	17.4
6.9 ^c	7.4	8	10	12	13.8	16.8	16.9	15.5	13	10.2	7.7	11.4

Fuente: Diagnóstico actual y propuesta de explotación y tratamiento de los pozos de agua potable de la ciudad de Tijuana, B.C., documento en revisión, CNA, 1998. ^atemperaturas máximas anuales, ^btemperaturas medias anuales, y ^ctemperaturas mínimas anuales para la ciudad de Tijuana. Registros correspondientes a la estación la Presa.

3.6 Precipitaciones

El historial de las precipitaciones en la cuenca del río Tijuana y por tanto del acuífero, ha tenido un comportamiento muy variable. Los eventos de precipitación en la región ocurren durante un periodo de tiempo corto en el año, casi siempre durante los meses de noviembre a abril como se ha descrito en el apartado de climatología. Adicionalmente las lluvias dependen de otros fenómenos meteorológicos como ciclones, frentes fríos y en los últimos años el descubrimiento de la periodicidad del fenómeno “El Niño”.

Las condiciones topográficas y del clima, hacen de la región una zona con pocas precipitaciones durante el año, y su consecuente evaporación del agua que se recibe durante los periodos de lluvia, lo cual ocasiona que se tengan grandes pérdidas por escurrimientos y debido a la evaporación, dificultando además el almacenamiento de agua por periodos prolongados.

Durante los últimos cincuenta años, las precipitaciones muestran un comportamiento cíclico. Se observa que en el periodo de 1926 a 1940 los niveles de precipitación fueron cercanos a los 290 mm, mientras que de 1940 a 1959 disminuyeron paulatinamente hasta

200 mm, y el nivel más bajo de ciclos decenales se encuentra entre 1950 y 1960, cuando en promedio los niveles estuvieron en aproximadamente 175 mm.

Posteriormente, entre 1960 y 1970 se vuelve a incrementar el nivel de precipitaciones alcanzando los 200mm, para 1970-80 casi llegan a los 250 mm y en 1980-90 rebasan los 250 mm. Durante el periodo de 1990 a 1997 los niveles de precipitación en promedio se encuentran alrededor de los 280 mm siendo un nivel similar al ocurrido en la década de los años veinte y treinta.

Cuadro 3.3 Nivel de precipitaciones por periodo, variaciones decenales y eventos extraordinarios

Promedio por periodo		Variaciones decenales		Precipitaciones altas		Precipitaciones bajas	
Periodos	mm	Década	mm	Año	mm	Temporada	mm
1926-1940	290	1940-1959	200	1965	413.5	1927-28	92
1940-1960	215.5	1950-1960	175	1978	456.7	1955-56	75.6
1960-1996	240	1960-1970	200	1983	440.6	1960-61	74.3
---	---	1970-1980	250	1993	456.7-509	1962-63	99.8
---	---	1980-1990	250	---	---	1971-72	78.8
---	---	1990-1997	280	---	---	---	---

Fuente: Elaboración propia con base en datos de CNA, 1998

Estas variaciones decenales, permiten visualizar que de manera *grosso modo*, las precipitaciones tienen periodos cíclicos, lo cual puede explicar la recurrencia de precipitaciones extraordinarias como las que ocurren por efecto del fenómeno “El Niño”. El Sistema de Información Geográfica y Estadística de la Frontera Norte (SIGEF), ha reconstruido series de precipitación con datos de CNA y otras fuentes, que permiten hacer un análisis de los montos y distribución temporal de las precipitaciones, al menos para la ciudad de Tijuana. Datos hidrométricos de San Diego muestran que dicho comportamiento tiene similitud con los registrados por CNA, por lo que se observa congruencia en las características climáticas de la región Tijuana-San Diego.

Estas condiciones de precipitación en la cuenca permiten proyectar que en el futuro, el acuífero del río Tijuana en su parte urbana, tendrá un potencial para poder suministrar agua aproximado de unos *14 millones de metros cúbicos* (CNA, 1998). En la parte estadounidense del acuífero, las predicciones han sido estimadas en una capacidad de recarga que puede ser de unos 6 a 9 millones de metros cúbicos

Las precipitaciones durante los últimos cincuenta años muestran un patrón donde cada vez se tiene mayor aportación de aguas superficiales que pueden ser infiltradas al acuífero, sin embargo, deben considerarse las limitaciones debidas a las canalizaciones y pavimentación. De igual manera debe señalarse que la evaporación debida al clima local varía en un rango de 1437.6 a 1826.7 mm siendo los valores más bajos los correspondientes a registros de la estación Tijuana y los más altos a la de la Presa (CNA, 1998). Los periodos de mayor evaporación corresponden al verano, durante los meses de junio a octubre, y en invierno con las evaporaciones menores, durante noviembre a febrero. Entre la precipitación y evaporación se puede hacer un balance somero para considerar que la cantidad de agua aprovechable del acuífero, luego de eliminar escurrimientos al río Tijuana, es de unos 14 Mm³ en la parte mexicana (CNA, 1998) y de unos 6 a 9 Mm³ en la parte estadounidense (Rempel, 1992).

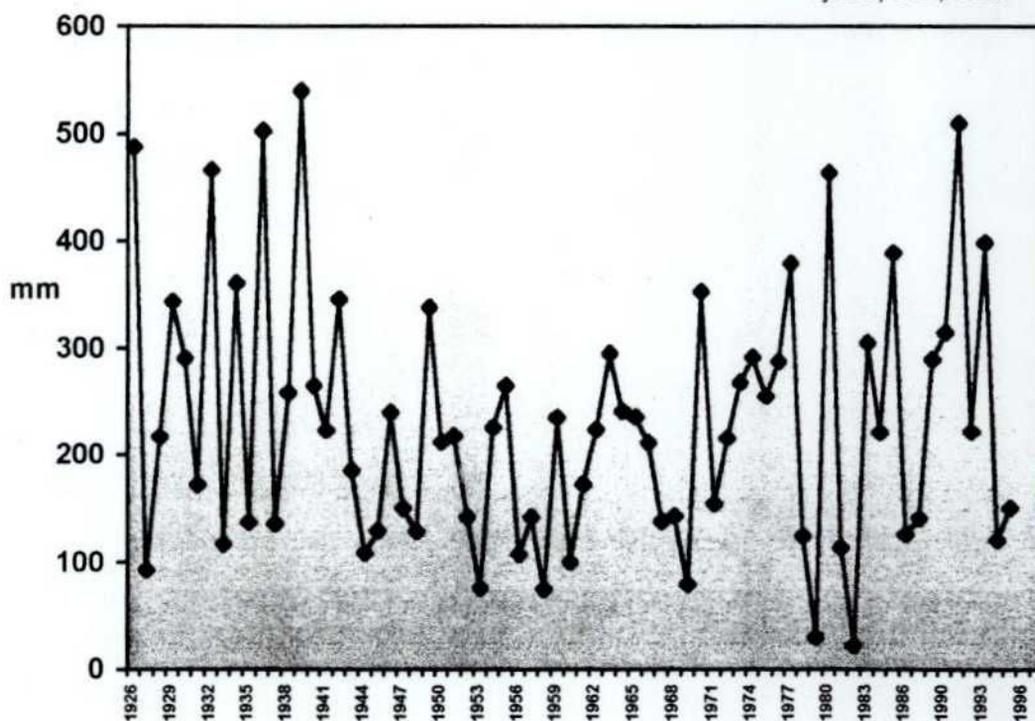
Una característica importante sobre la hidrología de la cuenca, es que las precipitaciones mayores ocurren durante los meses de diciembre a marzo aproximadamente, cuando el fenómeno de evapotranspiración se encuentra en sus niveles mínimos. Durante este periodo de tiempo es el óptimo que puede considerarse para realizar actividades de mejoras en el uso de agua, por motivo de alta disponibilidad de aguas y baja evaporación.

3.7 Hidrología del acuífero⁴ del río Tijuana

Con el objeto de conocer la hidrología del acuífero del río Tijuana, es necesario recurrir a registros que se han hecho sobre los aspectos hidrológicos para la cuenca del río Tijuana. El comportamiento hidrológico que se utiliza para el presente estudio, es con base en datos climatológicos de las estaciones de la Presa Abelardo L. Rodríguez (1926-1992), otros de la estación Tijuana- El Alamar (1948-11984) y otros de referencia de una estación de la ciudad de San Diego (1850-1992). Los datos en el ámbito local han sido documentados por la Comisión Nacional del Agua.

Precipitaciones anuales por temporada de 1926 a 1997 en mm.

Años de registro de precipitaciones
Fuente: Estudio hidrológico de la ciudad de Tijuana, CNA, 1998



⁴ De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales, se define un "acuífero" como cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento (LAN, 1992). De aquí se parte para hacer una descripción breve que permita conocer la dinámica hidráulica del acuífero del río Tijuana.

En este capítulo se trata de mostrar los registros que se tienen sobre los factores que definen el comportamiento hidrológico del acuífero. Esto se realiza con el propósito de conocer los componentes tales como la precipitación, la infiltración, así como la relación existente entre los escurrimientos superficiales y flujos y almacenamiento subterráneo. De igual manera, se espera evaluar el impacto de su uso potencial y la calidad de agua asociada al riesgo de afectación por los usuarios de agua del acuífero.

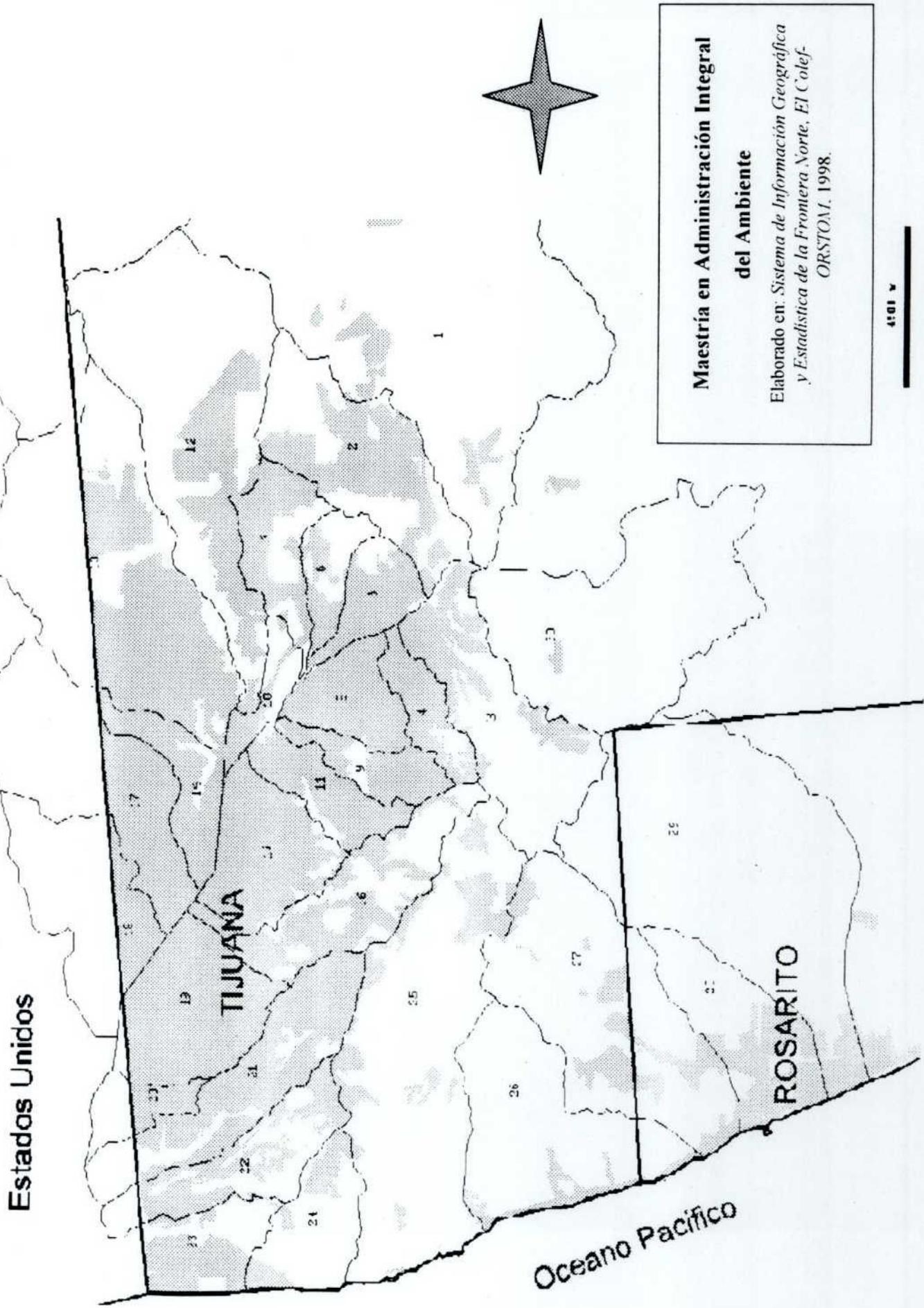
3.7.1 Tributarios hidrológicos del acuífero del río Tijuana

Se consideran tributarios del acuífero "urbano" del río Tijuana, todos los escurrimientos que aportan agua a los cauces y cuerpos de agua, ya sea en forma permanente e intermitente, como arroyos, ríos, y escurrimientos que en periodos de lluvia aportan agua superficial que puede infiltrarse al acuífero formando la zona vadosa, manto freático, así como los depósitos de agua en las formaciones geológicas con la propiedad de almacenamiento.

El río Tijuana y su acuífero, se forman a partir de la estructura fisiográfica de la fuente receptora de la cuenca del mismo nombre, por ramales o tributarios mayores los cuales se unen en la ciudad de Tijuana a 17 Km de distancia de la desembocadura en el océano pacífico. En Tijuana los escurrimientos de la cuenca fluyen primeramente a través de un cauce sin revestimiento, donde hoy se desarrolla el proyecto de urbanización de la 3a. Etapa del río Tijuana, y posteriormente continúa por un canal revestido de concreto el cual cruza la línea fronteriza entre México y los Estados Unidos. En la parte americana, no existe

⁴ De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales, se define un "acuífero" como *cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas subterráneas que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento* (LAN, 1992). De aquí se parte para hacer una descripción breve que permita conocer la dinámica hidráulica del acuífero del río Tijuana.

Fig. 7 Localización de cuencas unitarias de la ciudad de Tijuana



**Maestría en Administración Integral
del Ambiente**

Elaborado en: Sistema de Información Geográfica
y Estadística de la Frontera Norte, El Colef.
ORSTOM, 1998.

revestimiento del canal, por lo que el flujo de los escurrimientos forma varios cauces superficiales hasta llegar al Estuario del río Tijuana y desembocar en el mar.⁵

En la parte mexicana, la red hidrológica que aporta agua a la cuenca tiene una orientación principal con sentido sureste-noroeste, la cual refleja la inclinación general del relieve peninsular que es característico de la cuenca. Dicha red, está compuesta de dos grandes subcuencas, al norte y este, se localiza el arroyo El Alamar que resulta ser una continuación del Cottonwood Creek y colecta aguas provenientes de la ciudad de Tecate; al sur está formada por una red que proviene de una arteria principal que durante su recorrido recibe varios nombres; arroyo las Calabazas en la sierra de Juárez, río de las Palmas en la parte media, y río Tijuana al norte hasta colindar con los Estados Unidos. De sur a norte recibe otros afluentes de tres avenidas hidráulicas, arroyo la Ciénega, arroyo Seco y arroyo El Florido.

Los principales tributarios y subcuencas que hacen aportaciones permanentes o intermitentes a la cuenca son el río Tijuana, Lower Cottonwood Creek-río Alamar, Pine Valley, Upper Cottonwood, El Florido, Campo Creek, Las Palomas, río Seco, La Ciénega, Las Calabazas, Las Canoas y El Beltrán. La ubicación y representatividad hidrográfica se puede apreciar en el mapa XI (El Colef-Orstom y NOAA-SDSU, 1997).

3.7.2 Hidrología superficial

Dichos tributarios, cuencas y subcuencas permiten apreciar la diversidad de cuerpos de agua o cauces por los que en forma permanente o intermitente fluye agua ya sea en periodos de lluvia o bien por descargas continuas que finalmente se colectan por el río

⁵ En los años setenta se proyectó la construcción de un canal de concreto en la parte estadounidense para conectarse al canal proveniente del río Tijuana. La idea incluía desarrollar una marina y desarrollos comerciales. Sin embargo, el plan se abandonó a mediados de los setenta y fue sustituido por un plan de preservación del estuario.

Tijuana. Esta estructura hidráulica superficial permite a su vez, identificar que cauces son mayormente susceptibles de afectación, por estar ubicados en zonas de desarrollo urbano con menos infraestructura de drenaje sanitario, o bien cercanas a actividades comerciales y de servicios, así como de desarrollos industriales. Otros datos referentes a las condiciones hidrológicas del acuífero y la cuenca del río Tijuana se detallan en los apartados respectivos.

3.8 Fuentes de abastecimiento para la ciudad de Tijuana

Las principales fuentes de agua que han servido para el suministro a la población de Tijuana en los años recientes son; el acueducto río Colorado-Tijuana, la planta potabilizadora de la Presa Rodríguez, la planta potabilizadora de El Florido, La Presa El Carrizo y los pozos de La Misión, de Rosarito, y del río Tijuana.

La capacidad en infraestructura se ha estimado que puede suministrar hasta un volumen aproximado 83.5 millones de metros cúbicos, y volúmenes descargados al drenaje sanitario en el orden de 43.3 millones de metros cúbicos para 1996 (CESPT, 1996). Para 1998 la proporción aumentó en producción de agua alcanzando los 90.4 millones de metros cúbicos, y, aguas no contabilizadas de 25.1 millones de metros cúbicos, equivalente al 27.51% (CESPT, 1998). *Los datos sobre agua no contabilizada muestran el nivel potencial de riesgo de los volúmenes de agua servida que se infiltran al acuífero en alguna parte del trayecto de dichas aguas hacia el océano.*

La infraestructura hidrológica para la zona de Tijuana según la CNA, reporte de 1996, era de 135 pozos y 486 norias, otorgándose concesión a la CESPT para explotar, usar o aprovechar Aguas Nacionales superficiales por 80'100,000 m³/año de almacenamiento en la Presa Rodríguez y explotar usar o aprovechar Agua Nacionales Subterráneas por

93'213,584 m³ anuales de las siguientes fuentes, (CESPT, 1996); 15 pozos profundos del acuífero de Tijuana con volumen de 8'483,184 m³/año, 30 pozos profundos del acuífero de la Mesa Arenosa de San Luis Río Colorado, con volumen de 80'000,000 m³/año, 4 pozos profundos del acuífero La Misión, con volumen explotable de 4'730,400 m³/año.

Sin embargo la CESPT ha declarado sustituir casi en su totalidad las fuentes de agua subterránea como son los pozos y norias⁶, quedando como infraestructura de abastecimiento aquellos pozos y norias que han sido concesionados por la CNA a usuarios que distribuyen agua en pipas, usos agrícolas y de riego, así como de tipo recreativo. El resto de la infraestructura de suministro, es a partir del acueducto río Colorado y aquella que sirve para la distribución y recolección en la ciudad.

Recientemente la CESPT ha registrado una producción para 1997 de 7,501 miles de metros cúbicos (90.01 millones de metros cúbicos) en promedio los últimos doce meses, mientras para 1998 con datos a mayo la producción, en promedio, alcanzó 7,533 miles de metros cúbicos (90.4 millones de metros cúbicos), de igual manera con promedio de los últimos doce meses (CESPT, Subdirección de Planeación, 1998). Esta oferta de líquido representa para 1997 un incremento del 8% respecto a 1996 y de 8.4% con respecto al mismo año. De acuerdo con los datos de INEGI, 1995, este incremento rebasa la tasa de crecimiento oficial de habitantes para el municipio.

⁶ Lic. Luque Félix. comunicación personal CESPT, 1998.

Asimismo, se identifica el potencial del acuífero del río Tijuana como fuente alterna de abastecimiento. Sin embargo, la calidad del agua limita su uso en forma segura. Estos datos han sido estimados por el Estudio Hidrológico de B.C., 1995 y otros estudios de tipo puntual, por lo cual es necesario hacer evaluaciones de mayor amplitud que den certeza del potencial real del acuífero y determinar otros parámetros de calidad adicionales a los realizados por el presente trabajo, con el fin de cuantificar el potencial de riesgo y los ámbitos de afectación por uso y contacto con agua del acuífero.

Cuadro 3.4 Registro de producción de agua en la ciudad de Tijuana

Año	Agua producida (Mm ³)	Agua no contabilizada (Mm ³)
1993	65.121	18.921
1996	83.5	21.54
1997	90.01	24.2
1998	90.4	25.1

Fuente: Elaboración propia con base en datos de fuentes consultadas, 1998.

3.9 Escurrimientos superficiales

Los escurrimientos principales en la cuenca, son producto de las cuencas menores o arroyos que confluyen hacia el arroyo el Alamar y río Tijuana, que alcanzan distancias en conjunto mayor a 300 Km de recorrido superficial. Las principales cuencas o subcuencas menores que aportan escurrimientos al río Tijuana se han descrito líneas arriba.

Debido al comportamiento de las precipitaciones en la región, se estimó que para 1960 y 1961 no hubo escurrimientos significativos, debido a las bajas precipitaciones que solo fueron de 74.3 mm. En 1962 las precipitaciones pluviales se incrementaron sustancialmente alcanzando 235.5 mm, lo que ocasionó escurrimientos de 625,000 m³ (72.8 LPS en 15 marzo 1962) y para 1963, 332,000 m³, pues las precipitaciones disminuyeron hasta 99.8 mm. Para 1964 el comportamiento fue similar aunque las precipitaciones se incrementaron

a 223.6 mm (CNA, 1997), 332,000 m³ anuales.⁷ Durante este periodo de tiempo, las lluvias fue la fuente de abastecimiento más importantes para la ciudad.

Así mismo, se han estimado escurrimientos a través del río Tijuana en un promedio de 250.6 millones de m³ al año, 51.3% provenientes del arroyo el Alamar que son conducidos desde las presas Barret y Morena ubicadas sobre arroyo Cottonwood, arroyo Campo en Estados Unidos y en la parte mexicana el río Tecate, río Tijuana escurrimientos provenientes de los arroyos Matanuco y el Florido principalmente.⁸ Dichos escurrimientos, no son captados en la Presa Rodríguez y son conducidos por el cauce del río hacia el lado estadounidense hasta descargar al Océano Pacífico, por lo que no se cuenta con infraestructura para aprovechar dichos volúmenes.

La Comisión Nacional del Agua, estima los escurrimientos medios anuales del río Tijuana en el orden de 67.3 millones de m³, de los que se tiene aprovechamiento medio anual de 47.03 millones de m³, los cuales son encauzados a la Presa Rodríguez (CNA, 1996). En un estudio similar la CNA reportó que los escurrimientos anuales eran del orden de 154.381 millones de metros cúbicos con un coeficiente de escurrimiento de 6.675% (Estudio Hidrológico de Baja California, INEGI, 1995). Mientras que un estudio más reciente cuantificó los escurrimientos por el río Tijuana en 7.41 millones de metros cúbicos, los cuales pueden contener fugas del sistema de agua potable y de alcantarillado y descargas de algunos pluviales de aguas servidas (CNA, 1998).⁹

⁷ Trava Manzanilla y Román Calleros. Manejo ambientalmente adecuado del agua. 1991 p.194.

⁸ Trava et al. op. Cit.

⁹ Los datos que se detallan corresponden al estudio entregado a CNA y en revisión, que se elaboró por el despacho Ing. Hector David Ramírez López denominado "Diagnóstico actual y propuesta de explotación y tratamiento de los pozos de agua potable de la ciudad de Tijuana, Baja California, dic. 1997".

Cuadro 3.5 Registro de escarmentamientos a través del río Tijuana

Año	Volúmenes (m ³)	Fuente
1962	625,000	CNA, 1997
1963	332,000	CNA, 1997
1964	332,000	CNA, 1997
1991	250'600,000	Trava, et al, 1991
1995	154'381,000	EHBC, 1995
1996	67'300,000	CNA, 1998 (revisión)
1998	7'410,000	CNA, 1998 (revisión)

Fuente: Elaboración propia con base en las fuentes consultadas, 1998

3.10 Hidrología subterránea

La existencia o movimiento de las aguas subterráneas está estrechamente relacionado con la estructura geológica. Estas condiciones obligan a conocer la estructura de la zona de estudio, que permita comprender su

geohidrología y determinar la existencia del agua en el subsuelo que sea económicamente aprovechable (Beltrán, L. 1995).

Con datos que se han obtenido de estudios hidrogeológicos, se puede describir que la hidrología subterránea tiene una componente principal de flujo hidráulico con sentido sudeste noroeste, el cual concuerda en su mayoría con la estructura fisiográfica e hidrológica superficial de la cuenca, así como del acuífero del río Tijuana.

3.11 Fuentes de recarga del acuífero del río Tijuana

Las fuentes principales de recarga de agua en el acuífero provienen de las precipitaciones pluviales. Dichas precipitaciones, por la morfología de relieve regional, la distancia que recorre en el acuífero y el nivel de revestimiento por concreto o por desarrollos urbanos puede ser reducida.

De igual manera debido a los periodos cortos de lluvia e intensos en pocos días del año, un volumen puede ser infiltrado al subsuelo y acarrear contaminantes que son depositados durante el periodo del año cuando no ocurren precipitaciones. La disponibilidad de agua para recarga del acuífero, tiene mayor impacto debido a las infiltraciones que ocurren en

toda la cuenca, y puede estar seriamente afectada por el alto nivel de evaporación que ocurre en la región.

3.12 Niveles de extracción de agua del acuífero del río Tijuana

Los factores principales que han contribuido a la reducción de agua subterránea de almacenamiento en el acuífero, son el bombeo para agricultura y la evapotranspiración de freatofitas [phreatophytes]. Los registros que se tienen del comportamiento del nivel de agua en el lado estadounidense del acuífero del río Tijuana, muestran que para el Valle del río Tijuana de 1965 a 1978, la tasa de extracción de agua subterránea fue reducida, por lo que los niveles de agua subterránea se recuperaron durante un periodo extenso de sequías y lluvias normales, así como de escurrimientos menores a los normales (1965-1978).

3.13 Extracción de agua subterránea

La zona de extracciones en el acuífero del río Tijuana ha sido afectada por dos factores principales; el primero, el tipo de desarrollo de la ciudad, el cual al estar fuertemente dedicado a las actividades económicas, ha ocasionado un incremento poblacional y de asentamientos humanos, así como de actividades diversas que demandan cantidades elevadas de agua; y segundo, la limitación propia de la región, la cual por su clima y disponibilidad de agua a partir de fuentes propias, hace insuficiente poder suministrar agua para la demanda potencial de la ciudad. Estas condiciones han favorecido el deterioro de la calidad del agua del acuífero, así como la necesidad de importar agua para satisfacer la demanda en el ámbito local.

3.14 Abastecimiento subterráneo

Hasta 1940 la única fuente de abastecimiento de agua era a base extracción de agua de pozos, pues apenas se iniciaba la utilización del agua almacenada en la Presa Abelardo L. Rodríguez. El Ing. López Zamora, realizó estimaciones en la capacidad de agua sobre la base de que para el periodo de 1939 a 1956, en el cauce de la presa se tuvieron filtraciones aforadas de unos 49 millones de metros cúbicos(Mm³), con un promedio anual de unos 3 millones de m³. Trava Manzanilla *et. al.* (1991), estimaron que el volumen extraído anualmente durante el periodo de 1968-1985 fue de unos 9.88 millones de metros cúbicos anuales (318 LPS).

Cuadro 3.6. Registro de volúmenes de extracción de agua del acuífero del río Tijuana

Periodo y año	Volumen (Mm ³)	Fuente de información
1968-1985	9.88	Trava, et al, 1991
1977	10.4	SARH, 1977
1995	18	CNA (EHBC, 1995)
1996	8.2	CESPT, 1996
1996	24	CNA, 1996
1998	13.8-14	CNA, 1998

Fuente: Elaboración propia con base en datos de las fuentes consultadas, 1998.

La capacidad tanto de almacenamiento como de transmisión de agua a través del acuífero de la cuenca del río Tijuana, dependen de su estructura geológica, lo cual a su vez determina el comportamiento

hidrológico ya sea superficial o subterránea. Sobresalen las características edafológicas de la cuenca del río Tijuana, que están caracterizadas por una litología basándose en grava y arena, con intrusiones de limos y arcilla provenientes de la sedimentación de origen aluvial de rellenos montañosos originados en las sierras que dan origen a la cuenca de escurrimientos¹⁰. Se estima que la cuenca del río Tijuana debido a la estructura de suelo, tiene un coeficiente de transmisibilidad de 11.8×10^{-3} m²/segundo.

¹⁰Estudio Hidrológico del Estado de B.C., 1995. p. 26.

Las fuentes de agua subterránea para la zona Tijuana-Rosarito se suministraron a partir de 250 LPS de pozos de la Misión, 12 LPS de pozos de Rosarito, 258 LPS de pozos del río Tijuana, lo cual sumó un suministro de 520 LPS provenientes de pozos o fuentes subterráneas (CESPT, 1996). El nivel de precipitaciones ha cambiado sustancialmente el uso de agua de las fuentes anteriores. Datos de la CESPT para 1997 y 1998 muestran que la dependencia de agua del río Colorado es entre el 92 y 97% y que el potencial de suministro de agua del acuífero puede ser de aproximadamente del 2 al 9%.¹¹ Sin embargo, no ocurre lo mismo con las descargas de aguas residuales, pues al presente, se estima que solamente el 62% se recolecta y se trata, quedando aproximadamente un 38.69% de agua que no se sabe como se infiltra ó escurre a través del acuífero (CESPT, 1998).

En el estudio reciente se estimó que el potencial del acuífero para suministrar agua, sin considerar la calidad de la misma, es de unos 14 millones de metros cúbicos (Mmc) (CNA, 1998).

Los consumos de agua para la ciudad de Tijuana se estiman en 7,533 miles de metros cúbicos equivalente a 90.4 millones de metros cúbicos anuales (CESPT, 1998). El acuífero suministra cantidades menores para consumo humano, siendo el uso mayor para el comercio y servicios, así como para actividades agrícolas.

La Comisión Nacional del Agua (CNA) registra que el acuífero del río Tijuana, tiene una recarga de 24.8 millones de m³ y una extracción de 24.0 millones de m³, considerando que el acuífero se encuentra en condiciones hidrogeológicas de equilibrio (CNA, 1996). Sin embargo, evaluaciones más recientes y una variación en las extracciones de agua subterránea con una tendencia a la baja, así como el desconocimiento de escurrimientos no

¹¹ Es importante considerar que mientras la Comisión Nacional del Agua reporta usos de agua del acuífero de entre 13 y 18 millones de metros cúbicos, la Comisión Estatal de Servicios Públicos minimiza dichos usos, siendo dudoso el monto real en que el agua del acuífero es utilizada.

cuantificados o descargas clandestinas y la falta de congruencia en los datos que se adjudican como fuente a la CNA, no permiten hacer una evaluación confiable del potencial de escurrimientos por el río Tijuana.

Datos recientes estiman que el volumen de agua que se extrae actualmente del acuífero es de 13.8 millones de metros cúbicos por año, aunque la información al respecto señala limitantes tanto en la capacidad de pozos, como en la capacidad teórica de los mismos (CNA, 1998). Estos datos no concuerdan con datos de la misma fuente, pues, en el Estudio Hidrológico de B.C., publicado en 1995 se registró que la extracción fue de 18 millones de metros cúbicos, los cuales se extrajeron a partir de 100 pozos y 310 norias del Valle de Tijuana. En cualquiera de los casos señalados estamos hablando de un potencial de suministro de agua a partir del acuífero de entre 15 a 20 %.

Debido a las limitantes del presente estudio, el enfoque se centró en la identificación de contaminantes y no, en la evaluación de las fuentes potenciales del acuífero, por lo que no fue posible hacer estimaciones propias al respecto. Con los datos anteriores podemos en primer lugar, darnos cuenta de la variabilidad en el anejo de información no solo de dependencias distintas, sino de la misma fuente, lo cual puede llevar a tener información poco precisa y poco seria. De acuerdo con los datos registrados por los distintos estudios, podemos estimar que en promedio es de 14 Mm³.

En la ciudad de Tijuana los niveles de extracción de agua subterránea han tenido un comportamiento variable. Durante los años a inicio de siglo, las cantidades extraídas fueron pequeñas y el uso preponderante era para agricultura. Durante los años con altos índices de visitantes turísticos en los años veinte y treinta, la actividad tuvo un uso primordial de tipo residencial. En los años cincuenta [1949-1953], la escasez de agua obligó al cambio radical en el tipo de actividades por falta de agua, cambiando la actividad agrícola por la de

servicios. Estas nuevas condiciones, fueron la pauta de un modelo de desarrollo de la ciudad que ha sido sustentado en los servicios y el comercio, y en las últimas dos décadas en la actividad maquiladora.

Sin embargo, el interés por estudiar las condiciones de calidad de agua en el acuífero no se basa en la cantidad que se utiliza, sino por un lado, en los usos que están relacionados con la salud humana, y por otro, en los volúmenes de agua que no son recolectados por el sistema de drenaje sanitario de la ciudad, lo que permite se infiltre al subsuelo y por consiguiente a los mantos freáticos.

Los volúmenes que no se recolectan en la ciudad para su manejo y tratamiento se estiman en un 38.69 % del volumen que se produce para abastecimiento (CESPT, 1998). Adicionalmente, otros volúmenes por fugas, derrames y descargas no cuantificadas por el organismo operador de agua, pueden incrementar el nivel potencial de afectación de la calidad del agua en el acuífero.

La mayor parte del consumo de agua subterránea en el valle del río Tijuana en la parte estadounidense, ha sido por actividad agrícola. Rempel señala que, la expansión de granjas en los 30's, 40's y 50's, alcanzaron un consumo sostenido anual de agua subterránea extraída del valle del río Tijuana para usos agrícolas, que llegaron a $8,945 \text{ Mm}^3$ para 1951-1952. De igual manera apunta que, durante este periodo de tiempo 6.3 millones de metros cúbicos (Mm^3) fueron aplicados para irrigar tierras en el valle, 3.6 Mm^3 fueron "consumidos en tierras no irrigadas" y 1.1 Mm^3 fueron exportadas para irrigar tierras de granjas en los alrededores" (Department of Public Works, 1952 en Rempel, 1992).

Cuadro 3.7 Extracciones de agua del acuífero en la parte estadounidense.

Año	Volumen (Mm ³)	Fuente
1930's, 40's y 50's	11.03	Rempel, 1992
1950-51	17.27	DWR, 1975 ^a
1951-52	18.5	DWR, 1975 ^a
1952-53	22.2	DWR, 1975 ^a
1992	nivel seguro 6.78- 9.87	Rempel, 1992

Fuente: Elaboración propia con base en datos de las fuentes consultadas, 1998.

Capítulo 4. Planteamiento del problema

La calidad natural del agua puede ser modificada en una primer etapa por factores naturales tales como las características geológicas por donde escurre, así como por las condiciones climáticas de la región. Por otro lado las actividades antropogénicas son la otra fuente de generación de contaminantes, los cuales al diluirse en agua alteran su calidad, poniendo en riesgo la salud de la mayoría de los seres vivos.

La contaminación ocurre por la descarga de simples iones inorgánicos tales como nitratos de fosas sépticas, residuos de alimentos, uso de fertilizantes, salinización y por sustancias que se generan a partir de proceso industriales, hasta sustancias complejas, las que aún en pequeñas cantidades pueden ser extremadamente

nocivas para los seres vivos sobre todo para el ser humano (Pye, Verónica, 1983).

En el caso de las aguas subterráneas se consideran como fuentes de contaminación tres principales: la contaminación natural, las prácticas de disposición del agua y las fuentes no dispuestas que provienen de actividades antropogénicas.

Las fuentes principales de contaminación del agua son a partir de fuentes puntuales como descargas de aguas residuales tratadas

inadecuadamente o sin tratar, descargas de aguas servidas ya sea de uso urbano e industrial, e incluso de tratamiento de aguas residuales, así como de fuentes no puntuales,

Cuadro 4.1 Composición típica de las aguas residuales domésticas sin tratar

Contaminante (mg/L)	Concentración
Sólidos totales (ST)	720
S. Disueltos totales (SDT)	500
SDT fijos	300
SDT volátiles	200
Sólidos suspendidos (SS)	220
SS fijos	55
SS volátiles	165
Sólidos sedimentables SS	10
DBO 5 días, 20°C	220
DQO	500
Carbono orgánico total	160
Nitrógeno (total como N)	40
Orgánico	15
Amonia libre	25
Nitritos	0
Nitratos	0
Fósforo (total como P)	8
Orgánico	3
Inorgánico	5
Cloruros ^a	50
Sulfatos ^a	30
Alcalinidad (como CaCO ₃)	100
Grasas	100
Coliformes totales No/100ml	10 ⁶ -10 ⁸
Comp. Orgánicos volátiles ^{ug} /L	100-400

^aLos valores pueden incrementarse por la cantidad presente en el agua doméstica

Fuente: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering, Third Edition, McGraw-Hill, 1991.

es decir, descargas que no se han identificado ni son vigiladas como parte de las fuentes de contaminación de una fuentes específicas.

Históricamente la contaminación de las aguas del río Tijuana, ha sido atribuida a descargas de aguas residuales sin tratamiento adecuado, provenientes de la ciudad de Tecate, de Tijuana y fuentes no puntuales, que ocurren por falta de encauzamiento de aguas residuales en zonas que no cuentan con infraestructura de drenaje sanitario.

Los mayores problemas sobre contaminación datan desde los años treinta, cuando se implementa por primera vez en la ciudad un sistema de tratamiento de aguas residuales (Piñeira, 1989). Desde entonces y hasta la fecha, el problema de contaminación de zonas de interés como son los recursos naturales y las playas en el océano pacífico, se han atribuido a las descargas originadas en la ciudad de Tijuana.

Durante los años sesenta y setenta el problema se acentuó, sobre todo, porque la ineficiencia en la infraestructura tanto hidráulica como de drenaje sanitario, la cual fue rebasada por la oferta de los organismos operadores de agua y existían muchos problemas de mantenimiento de redes, tanto de distribución como recolección de las aguas residuales. En los años ochenta se desarrolla un esfuerzo importante en infraestructura hidráulica, sin embargo, no es hasta mediados de los ochenta y mediados de los noventa cuando se desarrolla la mayor infraestructura hidráulica con el fin de resolver el problema.

Aún con los esfuerzos desarrollados y el desarrollo que se ha tenido la ciudad en los últimos años al respecto, la infraestructura hidráulica no es suficiente para satisfacer las necesidades debido al desarrollo urbano de la ciudad. En menor medida, ha ocurrido el esfuerzo por desarrollar infraestructura sobre drenaje sanitario, pues, en ningún momento se ha igualado dicha infraestructura con la de distribución de agua entubada, y debido al ritmo en que se observa sobre infraestructura existente, el desarrollo en ese campo en el mediano

y largo plazo, seguirá existiendo rezago tanto en la oferta de líneas de distribución de agua entubada, como de drenaje sanitario.

Estas condiciones sobre la infraestructura hidráulica en la ciudad, deja ver que el problema que ha ocurrido por descargas de aguas no tratadas, que continuamente escurren por el suelo, seguirá contaminando las aguas del acuífero, lo cual puede agravarse por el desarrollo urbano y el revestimiento del canal del río Tijuana.

El presente trabajo trata de explicar la dinámica del problema en las últimas décadas, evaluar su magnitud y procedencia, así como, su relación con el modelo de desarrollo urbano que ha tenido y seguirá teniendo la ciudad. De manera particular se trata de proyectar la magnitud del problema al futuro, pues como se ha mencionado, en el mediano y largo plazo, no se garantiza un uso, manejo y tratamiento adecuado y suficiente para las aguas residuales que se generan en la ciudad.

4.1 Contribución de contaminantes por uso de tanques sépticos y cisternas

La disposición de aguas residuales domésticas, es utilizada en muchas áreas como complemento mediante el uso de tanques sépticos y drenes a los campos. Los efluentes de los tanques sépticos contienen normalmente bacterias y virus, lo que representa el mayor factor de incidencia de las enfermedades por agua de pozos privados en los Estados Unidos (Craun, 1981), y presumiblemente de otras.¹

Los tanques sépticos, son más propensos a contribuir a la contaminación de agua subterránea en áreas donde; a) hay una alta densidad de hogares con tanques sépticos, b) la capa del suelo sobre la cama de roca permeable es delgada, c) el suelo es extremadamente

¹El documento en revisión cita un estimado de 800 billones de galones de agua por año que es descargado a la superficie en los Estados Unidos por la vía de tanques sépticos (EPA, 1977). Asimismo señala, los tanques sépticos como una tecnología para el tratamiento de agua, debiendo entender aquí, que los tanques sépticos tienen una característica de diseño técnico, por lo que, aquellos recipientes que no cuentan con el diseño adecuado estarán proporcionando de antemano, mayores riesgos de contaminar el agua subterránea.

permeable, como el caso de grava, y d) el manto freático tiene un par de pies de la superficie de la tierra.

Áreas con alta densidad de población no deberá contar con tanques sépticos, y áreas con suelos delgados, suelos extremadamente permeables, y mantos freáticos altos deberán ser evitados como sitios para localizar un tanque séptico (Fetter, C., 1994). Calidad de efluentes de tanques sépticos se muestra en el cuadro 4.2.²

Sitio	Flujo gal/día	DBO	DQO s/filtr	DQO filtr	TSS	Fcol no/mL	Fstrep no/mL	Ntot	Nam	NO-Nit	Ptot	Porto
A	75	131	325	249	69	2907	2.7	50.5	34.1	0.68	12.3	10.8
B	125	176	361	323	44	4127	39.7	57.8	42.5	0.46	14.1	13.6
C	245	272	542	386	68	27931	1387.0	76.3	45.6	0.60	31.4	14.0
D	315	127	291	217	52	11113	184.0	40.2	33.2	0.35	11.0	10.1
E	860+	120	294	245	51	2310	20.7	31.6	20.1	0.16	11.1	10.5
F	150	122	337	281	48	3246	25.3	56.7	38.3	0.83	11.6	10.5

Fuente: C.W. Fetter. (p. 475) tomado de: R.J. Otis, W.C. Boyle, & D.K. Sauer, Small-Scale Waste Management Program, University of Wisconsin-Madison, 1973. *Todos los valores son principales + incluye 340 gal/día de flujo de drenaje y 20 gal/día de drenaje de fundación

4.2 Riesgos que pueden ser originados por la presencia de contaminantes

El grado de riesgo por contaminantes varía de acuerdo a muchos factores, entre los cuales se pueden señalar el volumen y la toxicidad de las sustancias contaminantes. En el caso de las aguas ya sea de tipo superficial o subterráneas, la concentración y el tipo de sustancias contaminantes, así como su persistencia en el ambiente se considera básico para hacer una evaluación del riesgo. Adicionalmente es necesario considerar que el nivel de exposición, sobre todo del ser humano, junto al nivel de riesgo de los contaminantes determina el efecto de las sustancias que alteran la calidad del agua.

Uno de los criterios para juzgar el riesgo a la salud pública, es el efecto del contaminante sobre la salud pública. La evidencia epidemiológica para asociar los efectos crónicos de

²C. Fetter. Applied Hydrogeology. Third Edition. Macmillan College Publishing Company, 1994.

enfermedades y el uso o exposición a los contaminantes no es concluyente, aunque es indicadora del enlace con ciertas enfermedades. Los datos que más se han registrado han sido sobre los efectos agudos, los que están directamente relacionados con enfermedades causadas por microorganismos patógenos y por sustancias químicas, así como de la ingestión de contaminantes en aguas subterráneas. Una manera indirecta para conocer el grado potencial de las aguas subterráneas contaminadas, es a través de la persistencia de algunas sustancias en el ambiente. Por ejemplo, el cadmio es un metal pesado tóxico y se cree también es carcinogénico, tiene una vida media infinita y no es degradado. Otros compuestos orgánicos e inorgánicos, pueden ser degradados por acción biológica en algunas zonas del suelo, siendo peligrosas sólo para los usos finales que se alcanzan en los acuíferos. Sin embargo, todos los iones de metales pesados y algunos compuestos orgánicos sintéticos que están asociados con procesos de manufactura en la industria, pueden no ser degradadas (Pye, Verónica, 1983).

Con respecto a los efectos que pueden ser asociados a la presencia de contaminantes en agua, en México existen algunos datos que lamentablemente no provienen de estudios epidemiológicos de series de tiempo largas. Sin embargo, debido a la incidencia de enfermedades y el nivel de infraestructura que se tiene sobre niveles de calidad de agua, se pueden tomar como referencia e indicadores los datos que ha registrado el INEGI sobre las incidencias acerca de mortalidad general e infantil para 1991, que se muestran en el cuadro 4.3.

Los datos relacionados con la mortalidad general e infantil, aunque no es posible relacionarlas directamente con los datos que se presentan en el cuadro 4.3, si permiten visualizar que la mortalidad por infecciones intestinales, puede estar fuertemente correlacionada con ingestión de agua que no cumple con los requisitos para asegurar la

salud pública. El mismo informe sobre las condiciones ambientales SEDESOL-INE de 1994, registró datos de mortalidad por enfermedades diarreicas para el periodo de 1989 a 1993, para la población de menores de cinco años. Los esfuerzos en la vigilancia de la calidad del agua potable y saneamiento registra que se ha logrado alcanzar una reducción en la tasa de mortalidad en menores de cinco años del 57.3%, ver cuadro 4.4.

Cuadro 4.3 Diez causas principales de mortalidad general e infantil en México, 1991

No. orden	Causa de mortalidad general	Tasa	Causa de mortalidad infantil	Tasa
1	Enfermedades del corazón	69.4	Ciertas afecciones del periodo perinatal	810.6
2	Tumores malignos	48.1	Enfermedades infecciosas intestinales	278.4
3	Accidentes	44.7	Influenza y neumonías	266.8
4	Diabetes mellitus	31.1	Anomalías congénitas	249.7
5	Ciertas afecciones del periodo perinatal	25.6	Deficiencias en la nutrición	79.3
6	Enfermedades cerebrovasculares	23.8	Infecciones respiratorias agudas	44.8
7	Influenza y neumonías	22.2	Accidentes	44.4
8	Enfermedades infecciosas intestinales	21.5	Bronquitis crónica y la no especificada, enfisema y asma	26.7
9	Cirrosis y otras del hígado	21.4	Septicemia	23.4
10	Homicidio y lesiones intencionalmente	17.3	Enfermedades del corazón	21.1

Fuente: Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente, 1993-1994 con datos de INEGI, 1991, SEDESOL-INE, 1994.

En el caso de la ocurrencia enfermedades diarreicas, es más evidente la posibilidad de estar relacionadas con el consumo de agua conteniendo algún tipo de contaminantes, sobre todo de microorganismos, ya sea debido a mal tratamiento antes del suministro, a la contaminación durante su distribución o bien, por contaminación de aguas subterráneas que se consumen por los residentes a través de la distribución por pipas. En la ciudad de Tijuana las tasas de mortalidad por enfermedades infecciosas intestinales alcanzan niveles importantes sobre todo para el grupo menor de un año, siendo su incidencia de 265.2 muertes por 100,000

Cuadro 4.4 Tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas en Tijuana, Baja California Sur, 1989-1993

Año	Tasa de mortalidad
1989	142
1990	135
1991	100
1992	93
1993	60.5

Fuente: SEDESOL-INE, 1994 con datos de INEGI, 1993. La tasa de mortalidad es por 100 mil habitantes

habitantes. Estos datos muestran que en la ciudad la mortalidad infantil ocupa un 8.2% de las muertes por enfermedades infecciosas intestinales.³

4.3 Situación regional de las aguas residuales

Antecedentes

El primer antecedente que se identifica sobre la atención al problema de contaminación por aguas residuales, data de 1933. En esta fecha se construyó la primera planta sanitaria de tratamiento de aguas sanitarias para Tijuana, con una capacidad para 20,000 habitantes. Posteriormente en 1937, México firmó un convenio con los Estados Unidos para construir un emisor internacional que permitiera alejar las aguas residuales de la ciudad de Tijuana en ese territorio.

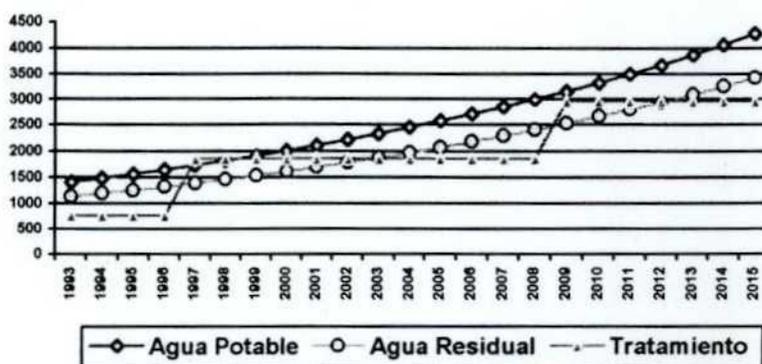
Durante un amplio periodo de tiempo, no se realizaron esfuerzos significativos por desarrollar infraestructura hidráulica en la ciudad. En 1983, cuando se elaboró un estudio donde se planeaba llevar a cabo la rehabilitación y ampliación del sistema de alcantarillado de la ciudad, se realizaron algunas estimaciones sobre la calidad del agua. Específicamente se realizaron estudios durante el periodo de enero de 1982 a enero de 1984 por la SARH en B.C.

Durante el periodo de 1977 a 1989, los volúmenes desalojados por el emisor internacional representaron el 68% del volumen total de las aguas residuales generadas en la ciudad, que a su vez se ha estimado en un 60% del total de agua potable suministrado (Trava, Roman, Bernal, 1991). Los volúmenes excedentes que no se alcanzan a manejar por el sistema de alejamiento, han representado entre un 20 y un 39% del volumen de suministro debido al escurrimientos de aguas negras al canal del río.

³ Asociación Fronteriza Mexicano-Estadounidense de Salud. *Perfiles de salud en las comunidades hermanas frontera México-Estados*

Recientemente en los años noventa, la generación y capacidad de tratamiento ha llegado a porcentajes del 60 a 62 % del volumen de recolección. El tratamiento de las aguas residuales en la parte mexicana ha mantenido una eficiencia relativamente buena de descarga de las aguas tratadas al océano. Más recientemente se tienen datos del potencial de generación de aguas residuales, así como del nivel de tratamiento que éstas reciben (CESPT, 1998). Durante los últimos tres años, la recolección de aguas residuales para su

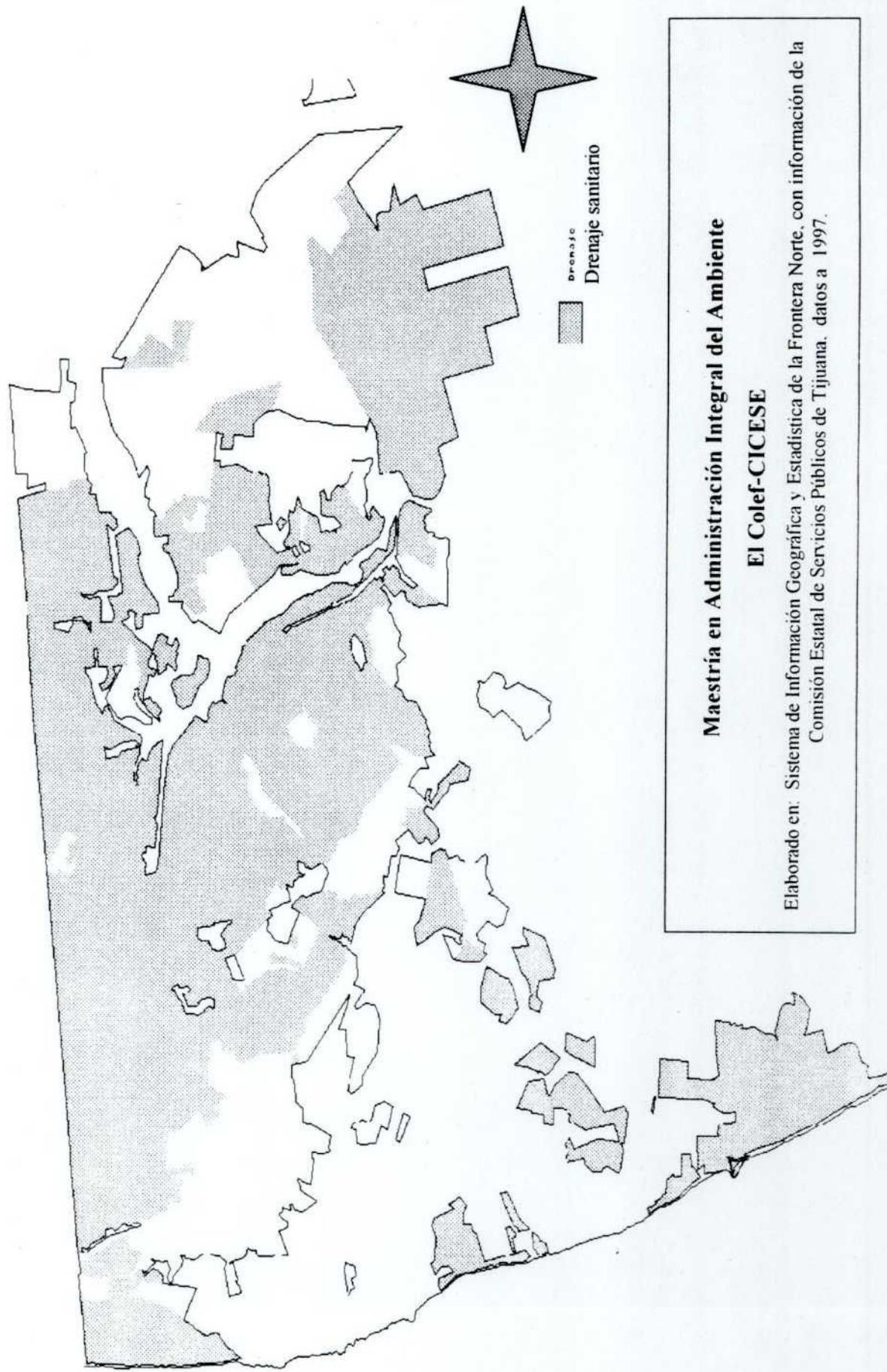
Proyección de la demanda de agua, generación y tratamiento de aguas residuales en Tijuana, B.C., 1993-2015



tratamiento, ha sido de unos 1,100 litros por segundo. La capacidad de tratamiento ha llegado hasta 62% del volumen que suministra el organismo operador del agua, y los montos de aguas residuales que no reciben un tratamiento adecuado, se han estimado en un 38% aproximadamente del volumen original (CESPT, 1998).

Las proyecciones en la generación de aguas residuales para la ciudad de Tijuana, han sido estimadas por CNA y CESPT, entre otras. Los montos de aguas residuales que se espera se generen como consecuencia de la dinámica del crecimiento futuro de la ciudad para el año 2000, el año 2005, el 2010 y el 2015, se esquematizan en la gráfica 1.

Fig 19. Mapa sobre cobertura de drenaje sanitario en la ciudad de Tijuana.



4.4 Estudios que muestran resultados sobre la calidad de agua

Varios estudios se han realizado con el objeto de estudiar la presencia de contaminantes en el río Tijuana. Algunos estudios se han llevado a cabo por instituciones educativas y por otro lado, como parte del proceso de planeación para resolver la problemática de los escurrimientos de agua residual al cauce del río Tijuana. En el cuadro 4.5 se muestran resultados de estudios de carga orgánica; (1) Sañudo y Suárez, 1982 y de (2) Nishikawa, Martín, Gutiérrez, Flores, Sañudo y Stephenson en: "Contaminación marina en la frontera México.USA", 1983. Como puede apreciarse, son significativos los niveles que durante el periodo de muestreo se detectaron en la región.

Sin embargo, la CNA menciona no tener información sobre problemas de contaminación de mantos freáticos (CNA, 1996). Mientras estudios realizados, sobre todo en E.U., demuestran infiltraciones y escurrimientos de contaminantes al lecho del río Tijuana y detección de contaminantes en varios puntos de la zona del estuario del río Tijuana (Gersberg, 1989; Groundwater

Management Plan from the Tijuana River Basin, 1995; IWTP EIS. 1996)

Algunos estudios que se han realizado sobre todo en los E.U., muestran evidencia de los tipos de daño que potencialmente se han ocasionado a través del tiempo.

Esto se atribuye a la falta de control sobre las emisiones de contaminantes sobre los recursos naturales.

Cuadro 4.5 Volúmenes de aguas negras generados en la ciudad en millones de metros cúbicos (Mm³) durante el periodo de 1977-1985

Año	VS	VEAN	VDEI	VDPB	DRT
1977	28201	16921	9712	---	9209
1978	30687	18412	9900	---	8512
1979	32623	19574	10520	4585	4469
1980	32053	19232	16510	948	1744
1981	34783	20870	16600	4695	---
1992	35192	21115	19340	4472	---
1983	40401	24241	17560	5523	1158
1984	47002	28201	18034	5630	4537
1985	50000	30000	16041	2256	11703
Promedio	36771	22063	14913	3123	4374

Fuente: Trava Manzanilla, Calleros y Bernal. 1991.

VS= volumen suministrado (Mmc), volumen estimado de aguas negras (Mmc).

VDEI= volumen desalojado por emisor internacional (Mmc), VDPB= volumen desalojado por plantas de bombeo (Mmc), DRT= descargas al río Tijuana (Mmc), Mmc= millones de metros cúbicos.

Por ejemplo, algunas consecuencias de la derrama del drenaje de Tijuana y San Diego se describen enseguida. En San Diego se han señalado derramas de agua negras en la Bahía de la Misión (Mission Bay) y en la Laguna Peñasquitos (Penasquitos Lagoon), ha depositado en diversas ocasiones hasta 32 millones de galones de agua cruda en la marisma, ocasionada por fallas del sistema. Al respecto una empresa local en los Estados Unidos, cosecha alga marina, la cual ha cuestionado públicamente la calidad del agua en las zonas de cultivo de algas, que se encuentra cercana a la Planta de Point Loma, en San Diego⁴.

Gersberg y Nordby, realizaron estudios en la zona del estuario del Río Tijuana para valorar la calidad de las aguas que escurren a través del lecho del río, analizando metales pesados en sedimentos y pescados del estuario de Tijuana⁵. Así mismo, reportaron niveles de metales pesados en pescado, los que fueron comparados con reportes del Buró Regional de calidad de Agua de San Diego (Regional Water Quality Control Bureau, 1984)

Un estudio realizado en 1986,⁶ realizado para conocer la calidad en agua de Tijuana y San Diego, muestra la diferencia de calidad en los efluentes que se descargan hacia el Océano Pacífico. Dichos resultados muestran diferencias muy marcadas en los resultados de calidad de agua residual tratada, con una diferencia sustancial en la distancia en que cada fuente descarga sus aguas en el mar. La descarga de San Diego alcanza una distancia de 4.5 millas mar adentro, mientras la descarga de la Planta de Tratamiento de San Antonio de los Buenos (PTSAB), lo hace cercano a la playa. Estas condiciones de descarga pueden ocasionar daños al ambiente terrestre y marino en caso de no cumplir con los estándares de calidad internacionales. Los datos de calidad muestran que los valores en la calidad de

⁴Sinópsis del problema binacional causado por la derrama del drenaje de las ciudades de Tijuana y San Diego. El documento es una publicación de El Colegio de la Frontera Norte, en octubre de 1986, mimeografiado y sin autor.

⁵Metales pesados en sedimentos y peces del estuario de Tijuana, Gersberg, R. Escuela de Posgrado de Salud Pública de UCSD y Norby, C. Depto. de Biología de la UCSD. Publicación de la Revista Científica "Salud Fronteriza=Border Health", Vol. V., No. 3. 1989.

descarga de la Planta de Tijuana, es del doble ó mayor que la calidad de descarga de la Planta de San Diego, sin embargo los volúmenes en la primera, son relativamente menores.

Otro estudio sobre contaminación en seres vivos silvestres, que llevó a cabo el Servicio de pesquería y Vida Silvestre de contaminación Ambiental, rama en Laguna Niguel, CA,

1990⁷. El estudio reportó datos de hallazgos de contaminantes en los años de 1987, 1988, 1989 y siguió en 1990, sin embargo no se tienen resultados del último estudio al que nos referimos. Se llevaron a cabo estudios en diferentes componentes de "biota", como pájaros, pescados, invertebrados, plantas, mamíferos, suelos, etc., encontrando sustancias químicas diversas y en concentraciones variadas, tales como pesticidas organoclorados y bifenilpoliclorados, PCB's, metales traza, hidrocarburos policíclicos aromáticos, etc. En algunos casos, hasta niveles de 1.3 ppm en hidrocarburos, 1.03 en compuestos organoclorados, reportando Benzo (a) pireno que se considera cancerígeno, residuos de aceite, metales traza.

Los niveles significativos de contaminantes en aguas, suelos y seres vivos, plantas y animales, dejan sin lugar a

Cuadro 4.6 Resultados de calidad de aguas residuales, 1983-1984.

Parámetros	Valor medio	
pH (unidades)	7.22	
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	405	
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	439	
DBO ₅	307	
DQO	1130	
Grasas y aceites	65	
N-NH ₃	27.0	
NTK	51.9	
PO ₄ totales	15.1	
Sólidos totales	Totales	1715
	Volátiles	549
	Fijos	1166
Sólidos suspendidos.	Totales	323
	Volátiles	180
	Fijos	143
Sólidos sedimentables (ml/L)	4.1	
Detergentes (SAAM)	16.1	
Fenoles	0.13	
Cloruros	294	
Cadmio	0.10	
Cromo hexavalente	0.0	
Cobre	0.28	
Plomo	0.61	
Niquel	0.51	
Zinc	0.17	

Fuente: SARH en B.C., Residencia de usos del agua y prevención de la contaminación. 1984. En: "Proyecto de Ordenamiento Ecológico de la ciudad de Tijuana. B.C., 1984. Los datos fueron evaluados como parte de la elaboración de proyecto de Planta de Bombeo 1.

⁶ El estudio fue conducido por José Segovia Z. y Francisco Delgadillo, denominado Diagnóstico y Alternativas de Reducción y Control de la Disposición de Aguas Residuales sobre la zona costera Fronteriza, publicada en Ecología y Frontera. 236-44 (Juan Alvarez L y Victor M. Castilla, 1986)

⁷ U.S. Fish and Wild Life Service, Tijuana River National Wildlife Refuge Contaminant Study, March, 1990.

dudas que han existido vertimientos de efluentes con contaminantes al sistema de colección de aguas sanitarias. Probablemente dichos contaminantes han sido vertidos a los cuerpos de agua por fuentes que no han sido conectados al drenaje sanitario, lo cual sin duda, puede contribuir con una gran cantidad de materiales no deseables, ni autorizados para su descarga al drenaje sanitario o cuerpos superficiales.

4.5 Estudios sobre calidad de agua superficial en el acuífero del río Tijuana

En 1985 en agua en el río Tijuana encontrándose niveles significativos de sólidos totales disueltos los cuales fueron seguidos en proporción por la demanda química de oxígeno. De igual manera en el estudio se encontró que había niveles significativos de demanda bioquímica de oxígeno, la cual está asociada a la cantidad de materia orgánica presente en agua. Los sólidos disueltos totales estuvieron en niveles de 1620 a 1950, la demanda química de oxígeno mostró niveles de 681 hasta 1075. Otros parámetros que fueron analizados y que muestran la presencia de contaminantes en aguas del río Tijuana fueron, amonía cuyos niveles alcanzaron los 47.9 mg/L, pocas proporciones de fenoles, niveles de 0.01 hasta 0.18, detergentes en le rango de 6.30 como nivel mínimo hasta 37.3 como máximo, así como la presencia de grasas y aceites, cuyos niveles mínimos fueron de 11 mg/l y los máximos hasta 665. Con respecto a metales tóxicos, se evaluaron cadmio, cromo, cobre, plomo níquel y zinc. De los metales se encontró en mayor proporción el níquel con niveles de 0.01 hasta 1.98 mg/L. En menor proporción se encontraron los niveles y presencia de cobre, plomo, zinc y cromo (Trava y Ganster, 1986).

En 1990 se llevó a cabo un programa de monitoreo como parte del programa de caracterización de las aguas que se tratarán en la Planta Internacional, con el fin de evaluar la calidad del agua. El objetivo principal fue diagnosticar la calidad del agua que aporta el

rio Tijuana y las descargas que se generan en la ciudad para conocer la carga de contaminantes, así como los volúmenes de agua que son vertidos sin tratamiento al río Tijuana. Los datos serían utilizados principalmente para conocer la capacidad que deberá soportar la Planta Internacional de Tratamiento. Las muestras se tomaron en la estación de bombeo No. 1 en Tijuana (PB1) y de escurrimientos del río Tijuana en la zona cercana al cruce con la línea internacional. El programa se llevó a cabo por treinta días y se determinó que la carga de contaminantes es sobre un volumen estimado de 10 millones de galones por día, es decir, 438 litros por segundo. Entre los resultados de calidad de agua más relevantes se encontró que, los niveles de plomo y cianuro son elevados con una carga estimada de 40 kg/día de plomo y de 150 kg/día para cianuro. Sin embargo no se encontraron concentraciones detectables de mercurio, selenio, arsénico, o cadmio. Otros constituyentes del agua como demanda química de oxígeno y bioquímica mostraron niveles importantes pero no alarmantes, así mismo, se encontraron niveles de sólidos suspendidos que fueron incrementándose en el tiempo. Para 1995 otro estudio similar se llevó a cabo. En dicho estudio, se vieron incrementados los niveles de demanda bioquímica de oxígeno, disminuyeron un poco los de demanda química de oxígeno y se incrementaron sustancialmente los sólidos suspendidos, alcanzando niveles de ocho veces las detectadas en 1990. Respecto de los metales los que se detectaron con mayores proporciones en agua fueron cromo, cobre, plomo y manganeso, así como zinc. Los niveles de otros metales se detectaron en bajas proporciones (IBWC y USEPA, 1996).

4.6 Aportación de contaminantes a través del río Tecate

Otra de las fuentes que se considera aporta contaminantes continuamente al río Tijuana, son los escurrimientos con cargas de contaminantes provenientes del río Tecate. Durante un

estudio de monitoreo de calidad de agua en distintas zonas de Tecate, se encontró que entre los contaminantes principales hay sólidos totales en cantidades importantes (entre 917 y 9520 mg/L), las grasas y aceites también se encuentran en cantidades significativas. Los niveles de grasas y aceites fueron de 2 hasta 103 mg/L. Los niveles de demanda química y bioquímica de oxígeno, estuvieron en niveles para el primer parámetro entre 54 y 1388 mg/L, mientras que para el segundo los niveles fueron de 17 a 246 mg/L. Así mismo, se encontraron niveles de surfactantes y algunos niveles de pH que muestran como algunas descargas al río Tecate afectan la calidad del agua que escurre a través del río Tecate que finalmente llega al río Tijuana por el arroyo El Alamar (Lozano, 1995).

Con el objeto de conocer la evolución de la calidad de agua que se genera en la cuenca del río Tijuana, se llevó a cabo un análisis de la calidad de agua que se trata en la Planta de Tratamiento de San Antonio de los Buenos (PTSAB), también llamada Planta de Punta Bandera (PPB). Aunque la planta no se encuentra en la cuenca, si trata la mayor parte de agua, que proviene de fuentes que generan aguas residuales en la cuenca. El análisis considera datos de calidad de agua para el periodo de 1991 a 1996. Los resultados que se observan de la calidad de agua que entra y sale de la planta, no varía significativamente de los estándares o condiciones promedio que es típico de las aguas residuales. Por ejemplo, para el caso de la demanda química de oxígeno (DQO) los niveles del influente fueron entre 616 a 491 mg/L, de 1991 a 1996, notándose una disminución en dicho nivel a través del tiempo. En la planta para el mismo periodo, los niveles fueron de 247 a 237 mg/L, también con una disminución leve en los niveles de tratamiento. Mediciones realizadas en agua de mar en sitios de descarga, mostraron que hay una variación mínima con respecto a la calidad que se descarga de la planta, es decir, no hay efecto significativo en el trayecto de escurrimiento de la planta al mar.

Los niveles de demanda bioquímica de oxígeno fueron como sigue: en el influente los niveles fueron de 328 a 245 mg/L para el periodo de 1991 a 1996, con una disminución considerable, mientras que en la planta los niveles se mantuvieron cercanos a 100 y 189 mg/L, con variaciones mínimas en la calidad que se midió en la entrada al mar. Los niveles de grasas y aceites estuvieron entre 280 mg/L para 1991, y 51 para 1996, alcanzando 187 y 23 mg/L respectivamente en la descarga de la planta, encontrándose cantidades mayores en algunos casos en muestras medidas en el mar donde son descargadas dichas aguas.

Los sólidos totales también mostraron niveles de disminución entre 1991 y 1996, pasando de 1,668 a 1,444 mg/L en el influente, y de 1,495 a 1,188 mg/L en la descarga con variaciones mínimas en la llegada al océano. Respecto de los niveles de pH para el mismo periodo, los niveles fueron muy estables tanto en el influente como en la descarga y su llegada al mar. El promedio fue entre 7.2 y 7.4 unidades. Los niveles de amonía (37.3 y 29.3 mg/L en el influente), 35.2 y 24.1 en la descarga fueron de igual manera muy consistentes, encontrando solo que para 1995 en muestras de mar, que los niveles alcanzaron 299.8 mg/L, seguramente debido a las aportaciones de otro tipo. Los niveles de surfactantes fueron de 20.4 a 18.5 mg/L en el influente y de 18.7 a 10.7 en la descarga con variaciones mínimas en muestras de mar (CILA, 1997).

Otras zonas que se han sido consideradas como generadora de contaminantes es la zona industrial de Mesa de Otay. Esta zona es la que más industrias albergan como zona industrial, sobre todo de tipo maquilador. En algunos estudios se han encontrado contaminantes presentes en aguas que escurren por zonas sin drenaje, o que son descargadas por falta de control de las mismas industrias. En 1994 en un estudio realizado en descargas que no fueron colectadas por el sistema de drenaje, se encontraron niveles de grasas y aceites, demanda química de oxígeno, detergentes, sólidos sedimentables, y la

presencia de algunos metales como hierro, cromo y plomo, los cuales rebasaron los niveles máximos permisibles por la normatividad vigente (Sepúlveda, 1994)

En otro estudio, realizado con el fin de conocer el potencial de generación de contaminantes por la industria Alco Pacífico en la zona de El Florido, se determinó que la capa de agua freática no había sido contaminada con metales pesados. Sin embargo, algunas muestras de suelo mostraron concentraciones de antimonio, arsénico, cadmio, cobre, plomo, y selenio por arriba de los niveles máximos permisibles. Los parámetros medidos fueron comparados contra los niveles que establece la norma oficial mexicana (NTE-CRP-011/88) (estudio por la firma privada Levine-Fricke, PROFEPA, 1992).

Otra zona que ha llamado la atención por la cantidad de denuncias de los residentes ha sido el Cañón del Padre. En esta zona se ha considerado que las industrias que se encuentran instaladas en la zona industrial de la Mesa de Otay, han descargado intermitentemente por varios años aguas industriales contaminadas a cielo abierto, dejando en grave riesgo a los residentes que accidentalmente se ponen en contacto con dichas aguas. Sin embargo, en muestras que se realizaron en un Laboratorio de San Diego (Quality Assurance Laboratory, mostraron que sólo se encontraron pequeñas cantidades de metales pesados, con lo que se confirmó la presencia de descargas industriales (PROFEPA, 1992). Los residentes por su cuenta en estudios realizados con el propósito de comprobar los niveles de contaminación, han encontrado cantidades de contaminantes diversos en las aguas que escurren por descargas superficialmente.

Aunque existen muchas zonas industriales dispersas por la ciudad, no se han llevado a cabo estudios integrales que demuestren que hay niveles de contaminación por descargas de aguas residuales industriales no tratadas adecuadamente.

4.7 Antecedentes sobre contaminación en la región del sur de California

Con el propósito de analizar el impacto de las aguas sin tratar que provienen de la ciudad de Tijuana y su relación con la contaminación en el océano, se analizan los efectos de la contribución de contaminantes a la región oceánica del sur de California.

En un estudio llevado a cabo con el objeto de conocer la masa de emisión de contaminantes del río Tijuana dentro de la bahía del sur de California. Se evaluaron muestras de canales de escurrimientos en el sur de California para estimar la masa de contaminantes que se acarrea hacia el océano. Los resultados encontrados mostraron que las descargas provenientes del río Tijuana representan el 2% del total medido de escurrimientos a la bahía del sur de California durante 1987, un volumen aproximado de 10.2 millones de metros cúbicos, considerando un año de lluvias, y un 6% del total medido de escurrimientos durante 1988 con un volumen aproximado de 40.2 millones de metros cúbicos, considerando también como año de lluvias.

Las descargas cuantificadas durante estos dos años que se llevó a cabo el estudio, fue en una proporción del 24% y 94% de la serie de tiempo larga de 1950-1988, con un promedio de 42.9 millones de metros cúbicos. Se tomaron 27 muestras durante las tormentas de octubre de 1987, enero de 1988, y abril de 1988. Las descargas de agua durante estos periodos de tiempo fueron de 1 al 15% de la descarga volumétrica anual, representando entre 0.4 a 0.6 millones de metros cúbicos. Entre los resultados de contaminantes se encontró que existe una correlación positiva entre flujo y sólidos suspendidos. Entre los contaminantes tóxicos de mayor importancia para el estudio, se encontraron niveles significativos de zinc, plomo, cobre, cromo, níquel y cadmio. (Cross, Schiff, and Schafer, 1992)

Durante el periodo de 1971 a 1981 los volúmenes descargados a la zona sur del océano en California variaron de 930 hasta 1,080 millones de galones por día con sus respectivas masas de contaminantes. Los volúmenes que aportan las descargas del sur de California para 1993 fueron de 1075 y de 1069 millones de galones por día para 1994.⁸ Datos más generales sobre la contribución de descargas de aguas residuales, que se vierten al océano en la región del sur de California, provienen de Santa Bárbara, Ventura, Los Angeles, Orange y San Diego. Las descargas alcanzan volúmenes de 1,288.15 millones de galones por día (Stephen Birch Aquarium-Museum, SIO-SDSU, 1998).

4.8 Factores que han favorecido la generación de contaminantes por aguas residuales

4.8.1 Crecimiento demográfico en Baja California y Tijuana

De acuerdo con datos de W. Meade la población del Partido Norte de la Baja California para 1836 era de 800 habitantes, la cual se incremento a 1800 veinte años después, es decir, se tuvo una tasa de crecimiento similar hasta la primer década del presente siglo.

Entre 1910 y 1990 el estado de B.C. creció a una tasa anual promedio del 6.4%, mientras el promedio de los estados fronterizos fue del 2.6%, y el promedio nacional del 2.1%. Este ritmo de crecimiento demográfico, ocasionó que la población en el Estado se duplicara cada 11 años, mientras las poblaciones en el ámbito nacional lo hacia cada 33 y en la región fronteriza cada 27 años (Canales, 1995). Estas condiciones demográficas significaron para 1910 una proporción menor a 10.1% respecto del nivel nacional, cambiando radicalmente en 1990 a una proporción del 12 % en el ámbito fronterizo, y mayor al 2% respecto del crecimiento en el país, siendo para entonces una de las entidades fronterizas con mayor ritmo de crecimiento demográfico (Canales, Op cit.)

⁸ 1996 Southern California Coastal Water Research Project Authority. Annual Report 1994-95.

La dinámica de crecimiento demográfico en la región, ha estado basada principalmente en la atracción de población no nativa, es decir, migrante de otros estados de la república. Entre 1930 y 1960, señala Canales, Baja California a diferencia de los demás estados fronterizos, mostró una tasa de inmigración neta superior al ritmo de crecimiento natural de la población. Para la década de los años treinta, casi 60% del crecimiento poblacional es explicado por la migración neta, lo que se incrementó en la siguiente década a 70%, habiendo un cambio súbito en los años cincuenta, pues el crecimiento porcentual decreció a 55%.

Con los datos anteriores, como lo señala Canales, es claro observar que el proceso de poblamiento del Estado ha estado fuertemente sustentado en la población nacida fuera del estado, entre los más importantes expulsores de migrantes se han caracterizado los estados de Sinaloa, Sonora y Jalisco, aunque en tiempos recientes ésta composición va cambiando paulatinamente. Además se marca claramente, como entre 1930 y 1960 se da el mayor crecimiento en el estado, pues, más del 50% de la población residente era originaria de otros estados de la república. Por ejemplo, en 1930 el 44% de los residentes no nativos en el estado provenían de los tres estados señalados anteriormente, y para 1980, aproximadamente el 40% de los residentes declararon como su último lugar de residencia alguno de los tres estados señalados (Canales, 1995, con datos de Canales 1991).

4.8.2 Crecimiento demográfico y desarrollo urbano de la ciudad de Tijuana

La dinámica que caracteriza las zonas fronterizas del norte de México y de Baja California en particular, así como de la ciudad de Tijuana, tiene su origen en aspectos históricos del desarrollo regional, más que por la dinámica del desarrollo nacional. De acuerdo con el análisis que realiza Canales acerca del crecimiento demográfico explosivo que ha

experimentado B.C., este fenómeno, no sólo se debe al crecimiento *per se*, sino a factores que le determinan y que hacen del Estado una zona especial, debido sobre todo a lo que el autor denomina una matriz fundamental del poblamiento moderno.⁹

Dicho fenómeno se agudiza a partir de la segunda mitad del siglo pasado y las primeras décadas del presente. Las características principales de la evolución del poblamiento se fundamenta en un proceso de colonización consistente en un sistema de misiones y presidios que de pronto cambio a uno urbano-moderno, sin pasar por el proceso de intermedio que es característico de la madurez de las regiones en general. El carácter “explosivo” del crecimiento demográfico –dice Canales- tiene sus raíces desencadenantes en los diversos vectores sociales que estructuran y dan forma socioespacial a tal matriz fundacional.¹⁰

El carácter fronterizo de B.C. se ha considerado como uno de los factores principales que dieron origen al tipo de crecimiento explosivo en la región. Esto fue más pronunciado debido al dinamismo de la economía capitalista del sudoeste norteamericano, lo que posibilito su articulación temprana a dicho sistema económico, antes de articularse al sistema socioeconómico nacional. En el ámbito regional, en particular las ciudades de Tijuana y Mexicali, tuvieron mayor incidencia sobre las relaciones de dependencia e intercambio desigual con la economía del sudoeste norteamericano. Como consecuencia de este fenómeno de dependencia o interacción económica, las políticas del gobierno federal han sido tan solo mediaciones de dicha relación, en lugar de haber sido y ser factores determinantes del proceso de poblamiento y desarrollo regional.

⁹ Canales, Alejandro. *El poblamiento de Baja California, 1848-1950*. Frontera Norte, Vol. 7, NUM. 13. 1995

¹⁰ Canales utiliza el concepto de matriz fundacional para conceptualizar los factores que dan origen a la región, así como la explicación del desarrollo del sistema social y político.

La falta –o la virtual ausencia- de un patrón de poblamiento previo sustentado en bases agro-rurales y tradicionales ha llevado a la zona fronteriza del norte de México a tener esquemas de desarrollo con mayor similitud con patrones de las economías desarrolladas y alejarse de los esquemas nacionales. Esta reflexión tiene una lógica natural sobre la conceptualización de madurez de las ciudades, por lo que, debido a dichos factores, fue claro que B.C. y Tijuana en particular, no han madurado paulatinamente sino que, han dado un salto en su madurez debido a factores de desarrollo que no son propios y que por el contrario, han llevado a esta región a desarrollarse de manera vertiginosa y sin tener capacidad de planeación adecuada. Este fenómeno a tenido como consecuencia que ocurra una serie de problemas que se originan por la explosividad de su crecimiento y la falta en la infraestructura de servicios para satisfacer las necesidades más elementales

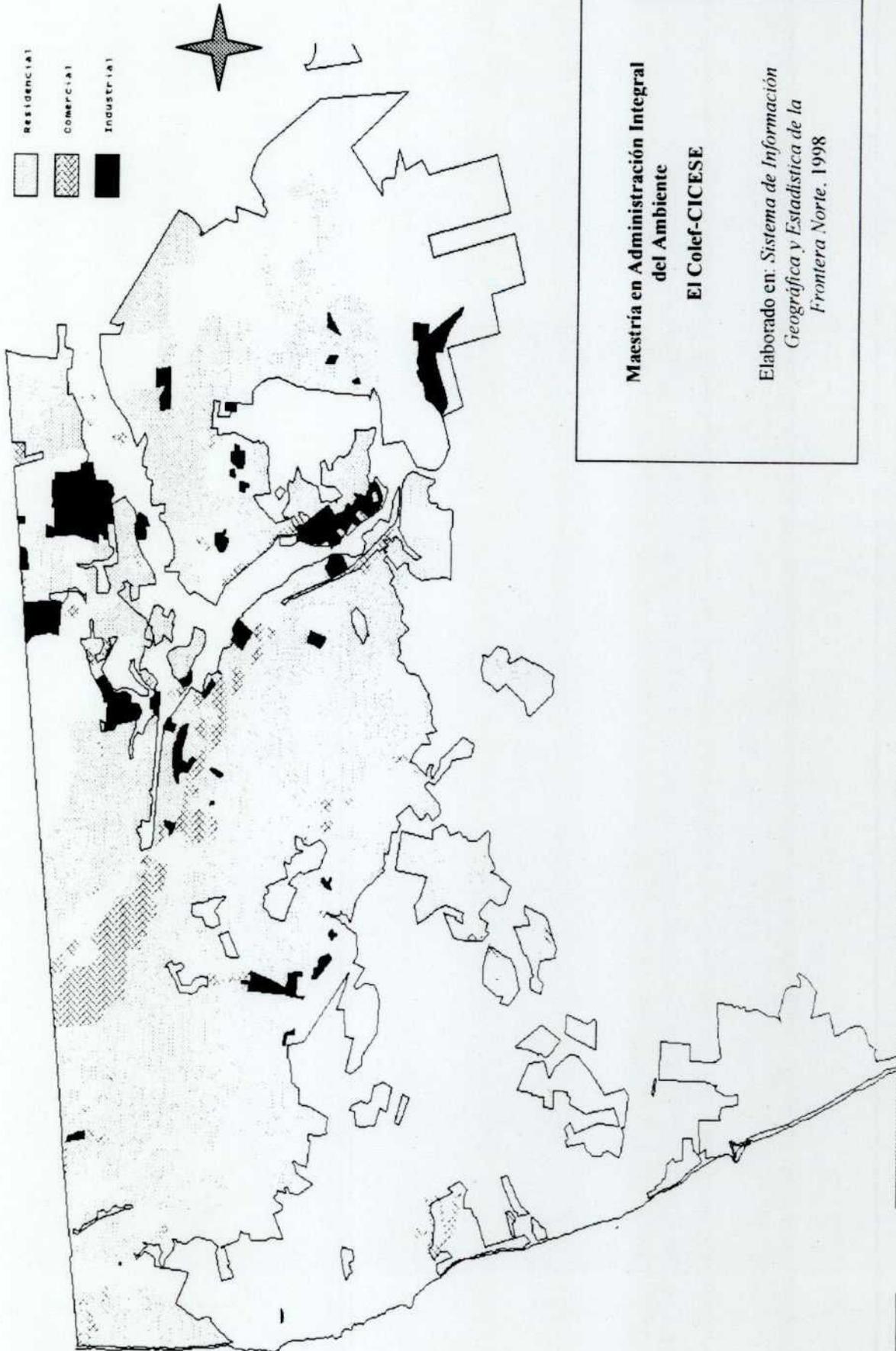
4.8.3 La concentración urbana en Tijuana

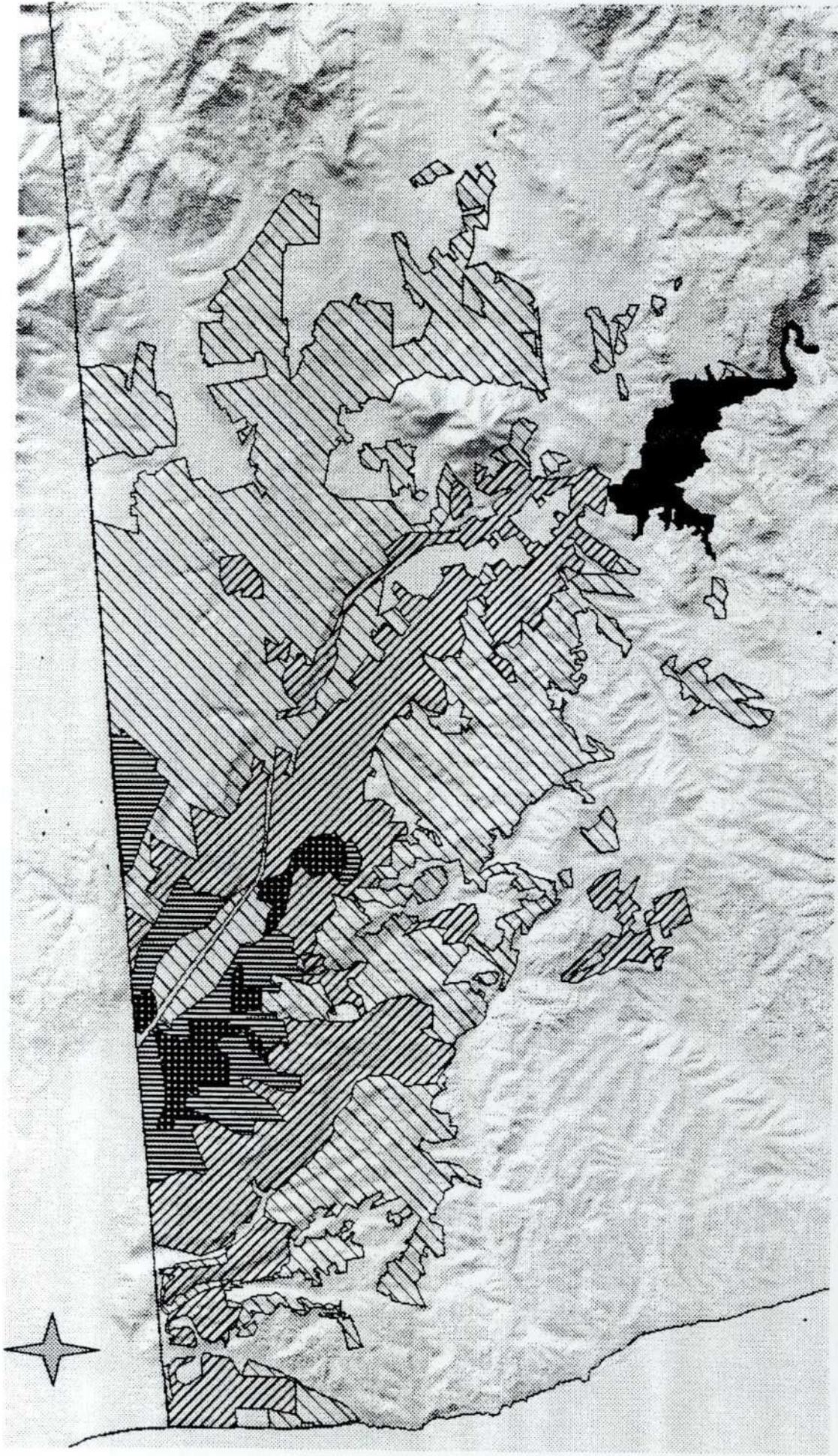
Al igual que el crecimiento demográfico, la concentración urbana se debe sobre todo a la población mayoritariamente migrante. Por un lado, el modelo de desarrollo que ha tenido la zona fronteriza, se ha caracterizado por imitar el modelo capitalista de forma paralela a como ocurre en los Estados Unidos. Sin embargo, la influencia de actividades capitalistas en la zona fronteriza, sobre todo a finales del siglo pasado e inicios del presente, se caracterizaron por un fuerte impulso a las actividades agrícolas. El tipo de actividades que se han desarrollado da origen a la predominancia de actividades de tipo secundario y terciario, de tal manera que muchas de las actividades que ocurrieron sobre todo a inicios del presente siglo, estuvieron basadas en actividad comercial y turística principalmente, quedando a la zaga la actividad de tipo primario, sobre todo a raíz de la expulsión de los capitales externos que ostentaban grandes esfuerzos en actividad agrícolas.

Mientras que la ciudad de Tijuana, la cual tuvo un impulso sustentado en el intercambio de bienes y mercancías, tuvo como primer impacto una urbanización casi similar al desarrollo de la actividad agrícola, y por motivo de la escasez de agua, en los años cincuenta, su dinámica cambió diametralmente, dejando en un nivel mínimo la actividad agrícola y fomentando la actividad secundaria y terciaria. Estas características hicieron de Tijuana, una ciudad que no logró tener un desarrollo agrícola pleno, por el contrario, dicha actividad fue truncada a raíz de la escasez de agua, y fue obligada a urbanizarse y madurar prematuramente. En tiempos recientes donde, tanto dichas actividades diversas como el grado de urbanización, son los pilares del modelo de desarrollo de la ciudad, sin que esto garantice condiciones adecuadas de bienestar para los residentes, por el contrario pueden estar deteriorándose paulatinamente (Tonatiuh Guillén, 1998).

En 1921, señala Canales, la proporción de población urbana en la entidad era ligeramente inferior al promedio nacional, estas condiciones cambiaron sustancialmente para 1930, pues para este año se incrementó hasta el 55% considerando que para ese mismo periodo de tiempo, el promedio nacional se mantenía en menos del 35% de la población total. Dicho proceso se incrementó aún más pues en 1960, alcanzó cifras del 72% y para 1980 llegó al 85%, cifras que en todos los casos superaron a los promedios nacionales.

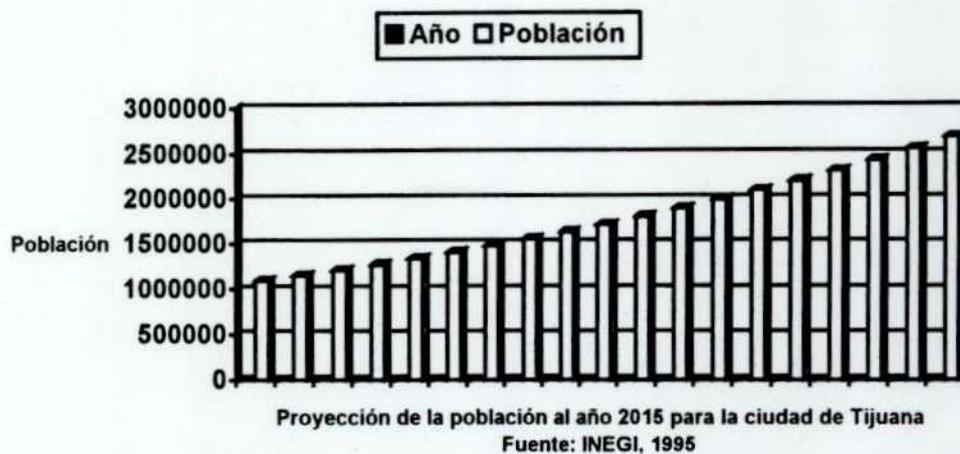
Fig. 9 Mapa de usos de suelo en el municipio de Tijuana, B.C.





Maestría en Administración Integral del Ambiente
 El Colef-CICESE
 1998

Fig 9. Etapas de crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de Tijuana, B.C.
 Fuente: Sistema de Información Geográfica y Estadística de la Frontera Norte. 1998



4.8.4 Expansión urbana y usos de suelo

Como se ha descrito anteriormente, el crecimiento poblacional del estado de Baja California, ha estado supeditado en gran medida a las condiciones geográficas, económicas y políticas propias de la zona fronteriza del norte de México. En el ámbito local, la ciudad de Tijuana al igual que el estado de B.C., ha estado bajo el mismo esquema de influencia de su desarrollo. De manera más directa, la ciudad de Tijuana estuvo ligada directamente a los fenómenos ocurridos en los Estados Unidos, los que han repercutido directamente en el tipo y la forma de su estructura urbana.

La dinámica poblacional y la forma en que se ha utilizado el suelo para el desarrollo urbano e industrial, es sumamente compleja pues por un lado, la lejanía del centro del país ha limitado el consumo y abastecimiento de bienes y servicios nacionales, y por otro, la cercanía con los Estados Unidos ha facilitado el intercambio de mercancías e incluso de costumbres y modos de comportamiento, los cuales en alguna medida, hacen una diferencia de las regiones del norte respecto de aquellas del centro del país.

“La ciudad como entidad en perpetuo movimiento, no tiene una función definitiva y perenne en virtud de que su configuración deriva en gran medida de la definición y

redefinición que la dinámica hace de los espacios, al mismo tiempo que la dinámica demográfica imprime a la producción del espacio urbano una expresión y extensión particular” (Ranfla y Alvarez, 1983).

Estos fenómenos han delimitado la forma y estructura de la ciudad, en primer lugar manifestándose un alargamiento sobre el río Tijuana, como la parte que más fue utilizada a principios de siglo. Los fenómenos bélicos, económicos y políticos que se desarrollan en las primeras décadas del presente siglo, hacen que la ciudad empiece a crecer significativamente respecto del nivel nacional. Posteriormente este acontecimiento de orden económico, junto a las condiciones políticas del país, hacen que se favorezca el desarrollo temprano de la ciudad, tanto en el ámbito poblacional, como urbano, de mercado de usos de suelo, etc.¹¹ Estas condiciones de crecimiento hicieron que la ciudad creciera hacia las zonas no

aptas para asentamientos humanos, manifestándose asimismo la capacidad de las

Cuadro 4.7 Distribución histórica por características del suelo en Tijuana, 1926-1983 y 1994.

Tipo de suelo	1926	1936	1950	1970	1983	1994
A) Apto	100.0	94.85	90.60	84.42	74.83	20.97
B) Condicionado	---	1.62	3.92	6.45	10.42	14.00
C) No apto	---	3.53	5.48	9.13	14.75	16.18
B+C	---	5.15	9.30	15.58	25.17	30.18

Fuente: *Tomado de Ranfla y Alvarez, *Expansion física, formas urbanas y migración en el desarrollo urbano de Tijuana, 1900-1984*, UABC, 1984.

^bPrograma de Desarrollo Urbano Centro de Población Tijuana, 1995.

autoridades para prestar servicios básicos.

Este crecimiento, se ha visto sujeto a una dinámica de crecimiento basada sobre todo por la actividad de la industria manufacturera, la cual para la zona fronteriza ha sido en su

¹¹ Ver documento de Alejandro Canales Cerón, *El poblamiento de Baja California, 1848-1950 en Frontera Norte*, Vol. 7, NÚM. 13, 1995, quien hace una buena interpretación del porque la ciudad no maduro tradicionalmente, sino que da un salto de ciudad en fundación a una ciudad en pleno desarrollo en menos de un siglo.

mayoría de origen extranjero, de tipo maquilador. Por ejemplo, entre 1926 y 1983 la ciudad incremento su superficie de 243 Has. a 10,004.55 Has. (Ranfla y Alvarez, 1983). Dicho incremento a principios del siglo y hasta los años cincuenta, se desarrolló en su mayoría sobre suelos aptos para el uso urbano. Sin embargo, debido a la topografía del suelo en la ciudad, cuando los suelos aptos no son suficientes para un crecimiento ordenado de la ciudad, el desarrollo se inicia en zonas y suelo no adecuados para el desarrollo de asentamientos humanos y menos para usos comerciales o industriales.

Estas condiciones de desarrollo en la zona fronteriza, hicieron que durante los años cincuenta a los setenta, se experimentara uno de los procesos históricos de crecimiento urbano en la ciudad que dieron como resultado un uso de suelo no apto para el desarrollo urbano, que marcó una pauta para los inmigrantes que posteriormente buscaron opciones de bienestar fuera de su lugar de origen. Paralelamente al establecimiento de asentamientos humanos en suelos no aptos para el desarrollo urbano, sobre todo las invasiones se enfrentaron a dos problemas fundamentales, por un lado la irregularidad en la tenencia de la Tierra, y por otro, la dificultad de los gobiernos locales y organismos responsables de suministrar los servicios públicos básicos entre los más indispensables el agua entubada y el drenaje sanitario.

De acuerdo con Ranfla y Alvarez (1983) y en consulta del Plan de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Tijuana del Gobierno del Estado (SAHOPE, 1984), y el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población Tijuana, se identifica un cambio significativo en los usos del suelo para las décadas de mayor crecimiento de la ciudad. Por ejemplo, entre 1926 y 1983 el incremento en la superficie de la ciudad pasó de 243 a 10,004.55 Has. Dicho incremento durante las últimas décadas, ha ocurrido en gran medida en suelos no aptos para el desarrollo urbano. Mientras en 1926 el 100% de la superficie se

consideraba apta para el desarrollo urbano, para 1984 al menos el 25% de la superficie de la ciudad era ocupada por asentamientos urbanos en zonas no aptas para dicho uso (Ranfla y Alvarez, 1983).

La expansión urbana en la ciudad, así como la utilización de suelos no aptos para el desarrollo urbano, constituye un rasgo sistemático propio de los asentamientos irregulares. Dicho rasgo ocurre sobre todo en un periodo de tiempo en la evolución de la ciudad, esto es entre 1950 y 1970, cuando la ciudad manifiesta un gran dinamismo económico y demográfico. A su vez, las acciones de planeación y control urbano estuvieron fuertemente ligadas al sistema de control central de la planeación urbana y el sistema político mexicano, lo cual permitió acciones de líderes, que con la anuencia de los gobiernos estatal y municipal, ocuparon grandes extensiones de tierra que posteriormente se dedicaban a regularizar. Este fenómeno, junto al rápido crecimiento de la ciudad y al alto índice de inmigración, tuvo como consecuencia la dinámica de uso de suelo no adecuados para el desarrollo urbano y su consecuente deficiencia en infraestructura de servicios básicos.

En un análisis realizado mediante una comparación entre la expansión física y del crecimiento poblacional en la ciudad para el mismo periodo de 1926 a 1983, Ranfla y Alvarez encontraron que los índices comparativos de crecimiento proporcional de la superficie, son menores con respecto a los de la población.

Con los datos registrados, se identifica al periodo entre 1950-1979 como el de mayor porcentaje de crecimiento en la ciudad. Por ejemplo el incremento medio anual entre 1940 y 1950 fue del 9.9%, disminuyendo a 8.8% de 1950 a 1960 y alcanzando el 6.9% para la década de los setenta (Fuentes R., 1984). De ahí en adelante fue decreciendo hasta alcanzar un 3% en 1980. Posteriormente se vuelve a incrementar paulatinamente alcanzando niveles del 5 y 5.9% en promedio en la actualidad.

Como es claro observar, es a partir de los años cincuenta cuando se da un incremento sustantivo en la expansión física y el crecimiento demográfico en la ciudad. Con respecto a la superficie disponible para uso urbano durante el periodo de 1926 a 1983 fue evidente como se incrementa el uso de suelo no apto para dicho uso, ver Fig. 9 Mapa de usos de suelo

El Plan de Desarrollo Urbano (1984), registró para la ciudad de Tijuana una superficie aproximada de 22 % de espacios vacíos que pudieron haber sido ocupados para desarrollo urbano, equivalente a 34,562 lotes baldíos con una superficie de 1,489 hectáreas. Dichos espacios eran aptos para el desarrollo urbano y se encontraban en las inmediaciones de las zonas ya urbanizadas. El mismo Plan señala que otro 22.5% de la superficie, era ocupada por asentamientos irregulares, albergando una población del 48%.

El Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población Tijuana, registró que durante el periodo de 1985 a 1991, el 53% del crecimiento urbano de la ciudad ocurrió sobre cerros y cañones, alcanzando casi las 2000 hectáreas. La expectativa para 1993-1994 era que esta superficie se rebasaría considerablemente, sobre todo basándose en que la tasa promedio de crecimiento anual para 1994 fue de 4.9%. Las necesidades de suelo se manifiestan a través del déficit de vivienda, del crecimiento poblacional, de la infraestructura de equipamiento y vialidades, de comercio e industria entre los principales.

De acuerdo con estimaciones del PDUUPT, 1994, debido al crecimiento poblacional las necesidades de suelo a mediano plazo (1996) eran de 1,388.64 Has, más 4,204.78 Has. de déficit acumulado, y para el mediano plazo (1999) las necesidades de suelo se incrementarán a 12,362.85 Has. Las estimaciones a largo plazo, de acuerdo a la tasa de crecimiento de 1994 y considerando que es necesario satisfacer las necesidades de la población, para el año 2013, serán necesarias 20,509.81Has. para uso de suelo y

requerimientos diversos en equipamiento urbano. Durante este periodo de tiempo se registraron las proporciones en servicios de agua de la siguiente manera.

La dinámica del desarrollo urbano mantiene un déficit permanente en la oferta de vivienda, sobre todo de tipo residencial. Para 1996 la Dirección de Catastro registró que diariamente se desarrollan 1.67 hectáreas de tierra, asimismo, la tasa diaria de crecimiento de la ciudad se consideró en 2.25 hectáreas. Estas condiciones de expansión de la mancha urbana, generan un déficit de tierra para vivienda de 9,042 unidades, estimándose que para el año 2000 la proyección será de 42,000 unidades.¹²

Estas condiciones topográficas, como la práctica en los usos de suelo, han dificultado el desarrollo de infraestructura hidráulica y como consecuencia la deficiencia en conducción y tratamiento de las aguas residuales. De igual manera se reconoce que el déficit en infraestructura hidráulica aún es significativo pues, para 1996 la cobertura de agua entubada era de 94% y en alcantarillado sanitario de 64%, cambiando para 1997 a 94.17 y 60.70 respectivamente. Para los primeros meses de 1998, los números registraron cobertura de agua entubada del 95.54% y de 61.31 en cobertura de drenaje sanitario (CESPT, 1998).

¹² COPLADEM Tijuana, 15 Ayuntamiento, Tijuana Today, 1997.

Capítulo 5 Metodología de Trabajo

La metodología que se ha desarrollado para identificar la presencia de contaminantes en el acuífero del río Tijuana, consistió en primer lugar en una revisión de tipo documental y segundo, la medición de contaminantes en muestras de agua de pozos del acuífero.

La revisión documental se realizó con el propósito de revisar los antecedentes sobre el tema, de los eventos acerca de la evolución de la ciudad en relación con el abastecimiento de agua, el desarrollo de infraestructura para el abastecimiento externo del recurso, y de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Se revisó también los estudios relacionados con la presencia de contaminantes en el río Tijuana, tanto en zonas industriales como fuentes de suministro y tratamiento de agua, así como en estudios relacionados con afectación del estuario del río Tijuana en los Estados Unidos.

La consulta documental se realizó sobre la base de información de fuentes de investigación oficiales y/o de instituciones académicas, de trabajos de investigación realizados como proyectos de titulación del nivel licenciatura y maestría. Otras fuentes de información directas, como la consulta a usuarios de agua del acuífero, personas responsables de la planeación de agua en el ámbito local, y personas responsables de la vigilancia del Estuario del río Tijuana en Imperial Beach, CA. Se buscó sobre todo a las personas responsables de la extracción de agua de pozos.

Se realizaron estudios de laboratorio en muestras de agua de pozos como parte del trabajo experimental sobre calidad del agua. Dichos análisis se realizaron con el objeto de identificar las condiciones de calidad de agua del acuífero, haciendo mediciones físicas, así como la identificación de contaminantes característicos por métodos físicos, químicos y bacteriológicos, los cuales permiten identificar la presencia de contaminación por aguas residuales domésticas e industriales.

Se estudió asimismo, la calidad del agua de las fuentes de abastecimiento y de los sistemas de recepción y tratamiento, donde se han utilizando técnicas de laboratorio, muestreo, análisis e interpretación de resultados, que han sido establecidos por las normas oficiales mexicanas (NOM's).

5.1 Selección de los sitios de muestreo

En el acuífero existen dos tipos de pozos someros y profundos. Los primeros son pozos de baja profundidad que se consideran como norias e incluso alumbramientos naturales. En el caso de los pozos profundos, se trata de perforaciones que rebasan los cincuenta metros y pueden alcanzar profundidades hasta 350 metros.

Se procedió mediante la definición de la población de estudio en el presente, para verificar algunos antecedentes de la presencia de contaminantes en el acuífero. La población (P) se ha estimado en alrededor de 100 pozos que son utilizados actualmente, de los cuales la mayoría se utilizan para usos agrícolas, domésticos y llenado de "pipas".

En un estudio reciente que se realizó para la Comisión Nacional del Agua, se menciona que existen registrados 87 pozos por el despacho responsable de hacer el estudio, de los cuales 46 pozos pertenecen a la CESPT, y 43 son particulares. De los pozos censados 26 de ellos están activos, de los que se extrae el 96% del volumen de agua del acuífero, así mismo, se registró que 17 pozos están equipados pero no se encuentran en operación, debido a falta de equipo de bombeo o por encontrarse en alguna reparación. El mismo estudio consideró que de los 26 que se encuentran activos, 3 pertenecen a la CESPT y suministran agua a la red pública en forma directa, 2 pozos trabajan suministrando agua a hoteles, los cuales están concesionados por la CESPT, 1a una lavamática y lavado de autos, 4 pozos suministran

agua a plantas embotelladoras de agua, una con fines agrícolas y el resto 12 se dedica al llenado de carros tanque (pipas de agua para distribución).

Los pozos que se utilizaron para monitorear durante el presente estudio, no corresponden en su mayoría a los pozos que se han utilizado para la extracción de agua para la ciudad. Los pozos seleccionados se encuentran localizados en los límites hidrogeológicos de la capa aluvial del acuífero, por lo cual, el criterio de selección de pozos de muestreo se llevó a cabo tomando como base la localización dentro del área de estudio.

En algunos casos no son pozos profundos, sino norias que afloran el espejo del agua a poca profundidad. Sin embargo, los pozos y norias seleccionadas para llevar a cabo la identificación de parámetros físicos, químicos y biológicos, pueden proporcionar una idea clara de la dinámica que sigue el agua en el acuífero del río Tijuana, así como, facilitar la identificación potencial de las fuentes de contaminación del agua.

La muestra en estudio consistió de 20 pozos, incluso se monitorearon cuatro pozos adicionales como sitios de referencia. En algunos casos dichos pozos se utilizaron como puntos de referencia sobre las condiciones de entrada y salida al acuífero.

Los pozos seleccionados dentro del acuífero del río Tijuana comprende desde la zona centro de la ciudad, la zona del río, el afluente del arroyo el Alamar, afluente del arroyo Matanuco, arroyo El Florido y Cañón del Saez hasta la Presa Rodríguez. Así mismo, algunos pozos y norias se encuentran localizados especialmente en la porción media del acuífero, mostrando además niveles someros de profundidad y en otros, niveles de profundidad considerable. Este criterio permite conocer si los contaminantes son infiltrados de manera superficial o somera, o bien, pueden pasar a través de capas gruesas de formación geológica y afectar zonas de almacenamiento de agua confinadas a niveles profundos.

5.2 Selección de los puntos de muestreo

La selección de los pozos de monitoreo para el presente estudio, se llevó a cabo con base en antecedentes de contaminación y sobre todo, porque el acuífero es la parte receptora de las aguas residuales que no se recolectan ni tratan por el organismo operador de agua en la ciudad. Los pozos de monitoreo corresponden a fuentes de abastecimiento para uso doméstico, comercial y de servicios e incluso, para uso agrícola e industrial. La localización de los pozos se realizó mediante un georreferenciador (GPS) y aparece descrita en el cuadro 5.1 y esquemáticamente representados en la Fig. 10

Cuadro 5.1 Coordenadas geográficas de los pozos de monitoreo en el acuífero del río Tijuana

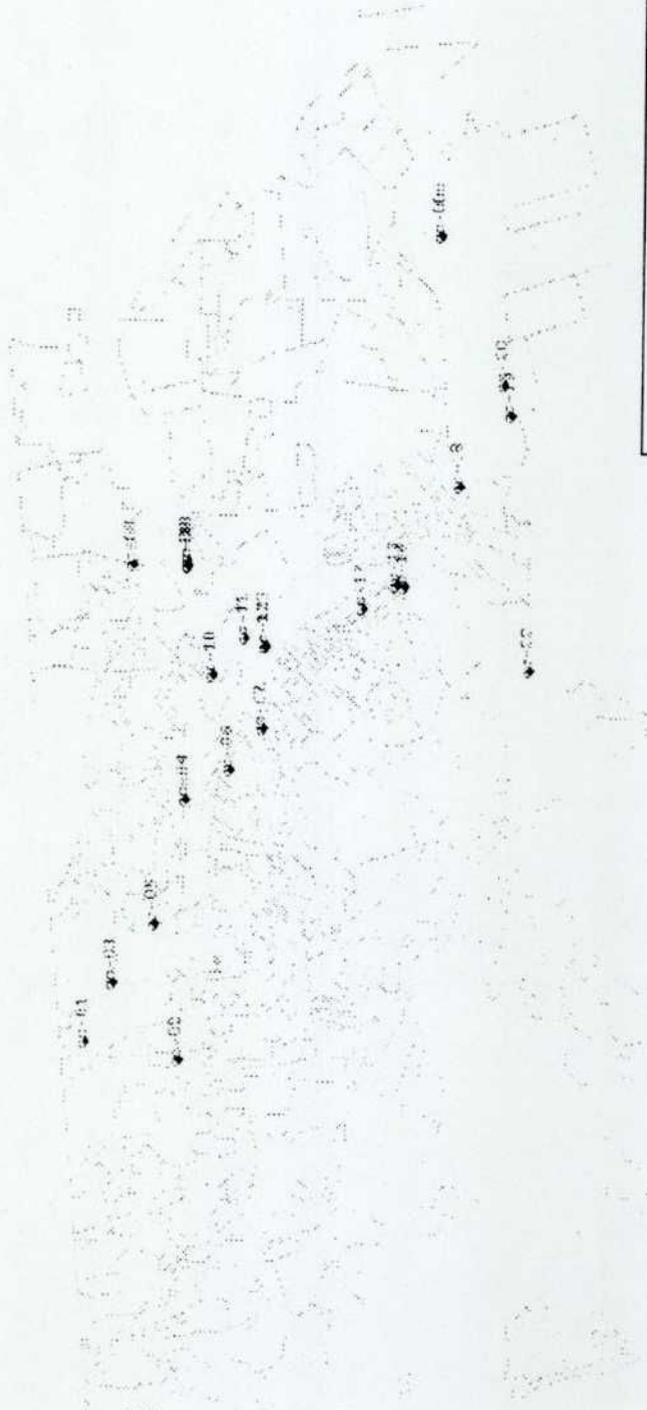
Pozo	Este	Norte	Pozo	Este	Norte
cc-01	11-497-426	35-99-743	cc-13	11-507-147	35-97-420
cc-02	11-497-071	35-97-520	cc-14	No usado	No usado
cc-03	11-498-607	35-99-072	cc-15	11-506-713	35-92-418
cc-04	11-502-344	35-97-436	cc-16	11-506-667	35-92-219
cc-05	11-499-816	35-98-129	cc-17	11-506-215	35-93-173
cc-06	11-502-930	35-96-355	cc-18	11-508-679	35-90-924
cc-07	11-503-782	35-95-556	cc-19	11-510-138	35-89-715
cc-08	11-507-068	35-98-708	cc-20	11-510-770	35-89-912
cc-09	11-507-075	35-97-431	cc-21	11-507-027	35-97-418
cc-10	11-504-881	35-96-807	cc-22	11-504-976	35-89-232
cc-11	11-505-612	35-96-004	cc-000	11-513-730	35-91-437
cc-12	11-505-462	35-95-547	cc-123	11-505-450	35-95-540

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo utilizando GPS, 1998.

5.3 Materiales y métodos

Actualmente en la ciudad se tienen condiciones ambientales que afectan la calidad de vida y ponen en riesgo la salud humana, así como los recursos naturales. En el estudio que se realiza para evaluar los niveles de contaminación del acuífero del río Tijuana, se identifican niveles deficientes de infraestructura del drenaje sanitario, lo cual tiene como consecuencia que un sector de la población y de otras actividades que se desarrollan en la ciudad, descarguen aguas residuales a fosas sépticas, letrinas o pozos de absorción.

Fig. 10. Localización de pozos de monitoreo en el acuífero del río Tijuana.



**Maestría en Administración Integral
del Ambiente**

El Colef-CICESE

Elaborado en: *Sistema de Información
Geográfica y Estadística de la Frontera
Norte El Colef-ORSTOM, 1998*

En el presente estudio pretende encontrar datos calidad del agua de pozos a partir de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos que muestren la evidencia de afectación del acuífero, o en su defecto, de no encontrarse correlación alguna, resaltar la capacidad del acuífero para la asimilación de contaminantes.

5.4 Métodos de monitoreo: toma de muestras de agua para análisis

La toma de muestras de agua de pozo tanto profundos como en norias, se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones de la norma oficial mexicana. En algunos casos para análisis de metales, el muestreo se llevó a cabo en un periodo de dos horas entre la toma de muestra y la entrega a laboratorio. Por lo que la acidificación no se realizó in situ, sino que se llevó a cabo en el laboratorio.

Para los análisis físicos y químicos, las muestras fueron tomadas en envase de plástico de 500 mL, rotuladas y etiquetadas con fecha y hora de muestreo. Las mediciones de temperatura, pH, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, cloro, durezas y alcalinidad se realizaron en el sitio de muestreo posterior a la toma de la muestra. Para el caso de fosfatos, nitratos y sulfatos, se procedió de igual forma que para análisis de metales, es decir, al final del trayecto de muestreo fueron entregadas al laboratorio para su procesamiento.

En el caso de las muestras de agua para los análisis microbiológicos, se tomaron en bolsa de plástico estéril con sello de hermeticidad. Una vez tomada la muestra cuidando de no aportar elementos extraños a la muestra directa de la fuente de suministro, se cerró y se colocó en hielo. Una vez terminado el recorrido de muestreo, se entregó al laboratorio para su procesamiento. En este caso, el laboratorio preparó previamente los materiales de cultivo y trabajo para recibir las muestras luego del proceso de muestreo. Las rutinas de monitoreo

se llevaron a cabo en series de ocho a diez tomas de muestras por periodo de muestreo por semana y por dos semanas.

Análisis físico-químicos; los métodos que se utilizarán corresponden a las siguientes normas oficiales mexicanas, para pH NMX-AA-8, para conductividad eléctrica NMX-AA-93, temperatura toma directa por termómetro. Para sulfatos, fosfatos y nitratos se utilizaron los métodos aprobado por USEPA, mediante la utilización de kits de campo para preparación y lectura en espectrofotómetro.

Análisis microbiológico: técnica del número más probable, norma oficial mexicana NOM-143-SSA1-1995.

Análisis de metales; los métodos que se utilizarán corresponden a las siguientes normas oficiales mexicanas; para metales NMX-AA-51, NMX-AA-44, USEPA-245.1, USEPA-SW846 serie 6010 para metales por método Inductively Coupled Plasma (ICP).

5.5 Tipo de análisis realizados en agua de pozo

La selección de los parámetros a medir se basó en dos criterios. El primero, fue de poder tener información preliminar de la calidad del agua de pozos del acuífero del río Tijuana. Debido a que es importante hacer una identificación de la totalidad de parámetros que pueden afectar la calidad del agua, resulta económicamente costoso realizar un estudio integral en un periodo de tiempo corto. Por esta razón principal, se seleccionaron parámetros físicos, químicos y bacteriológicos básicos. El segundo, fue el tiempo de estudio. Por motivo del periodo de tiempo que se destina al proyecto de investigación, no es posible tomar y analizar un número elevado de muestras. Debido a este factor, el periodo de tiempo se restringió a cuatro meses de estudio, pero no se limitó al número de muestras que permitieran diagnosticar la calidad, su comportamiento y efectos sobre la calidad del agua.

Debido a las actividades que se realizan en la cuenca del río Tijuana, y los efectos por aportaciones externas sobre el acuífero del río Tijuana, es necesario ampliar el espectro de parámetros, así como el tiempo de monitoreo de agua en el acuífero del río Tijuana.

5.6 Métodos análisis

Entre los parámetros seleccionados se realizaron los análisis físico-químicos; pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, cloro libre, durezas, alcalinidad, sulfatos, nitratos y fosfatos. Los análisis de metales pesados en muestras de agua de pozos incluyeron aluminio, bario, cadmio, cobre, cromo total, hierro, níquel, plata, plomo y zinc.

Se realizaron análisis en agua de pozos del acuífero para los siguientes parámetros: Análisis microbiológicos. Se llevaron a cabo análisis en muestras de agua para identificar la presencia de organismos mesofílicos aerobios, coliformes totales, y coliformes fecales.

Los métodos microbiológicos que se utilizaron para analizar las muestras de agua, fueron sobre la base del método microbiológico para estimar la presencia de coliformes fecales en productos alimenticios, agua potable, agua purificada y hielo, por medio del cálculo del número más probable (NMP) y la prueba presuntiva de *E. Coli*, así como para determinar la presencia de *Listeria monocytogenes* en alimentos (véase NOM-143-SSA1-1995).

5.7 Número de muestras analizadas

Para llevar a cabo los análisis físicos y químico se tomaron en total 82 muestras. Para realizar los análisis microbiológicos en agua de pozo de organismos mesofílicos aerobios, coliformes totales y fecales, se tomaron 64 muestras para analizar los tres criterios

descritos. Para evaluar la presencia de metales pesados en agua de pozo se analizaron 36 muestras.

Capítulo 6 Resultados del estudio sobre contaminación del río Tijuana

Los antecedentes sobre calidad de agua del acuífero del río Tijuana, se basan en algunos estudios que se han realizado al respecto en sitios del acuífero del río Tijuana y áreas cercanas al mismo. De manera particular sobresalen los estudios que se han llevado a cabo por la Comisión Nacional del Agua, para actualizar las condiciones del acuífero del río Tijuana durante 1979, 1980 y 1982. Otros estudios posteriores se realizaron en 1995 y 1997. Los resultados encontrados de dichos estudios se comparan en general con los

Cuadro 6.1 Evolución de calidad de agua en el acuífero del río Tijuana

Año	pH	Sol. Dis.	Conduc- tividad	Sulfatos	Durezas	Colif. Fecales No. x 1000
1979	7.3	1250	1855	178	442	n.f.
1980	7.5	1973	2001	230	417	n.f.
1982	7.76	1731	2420	270	568	n.f.
1997	7.3	1655	2411	256	447	1722

Fuente: Elaboración con base en estudios hidrogeológicos realizados en el acuífero del río Tijuana, 1998

resultados del presente estudio. Cabe señalar que los sitios de monitoreo y los parámetros realizados entre los estudios

realizados con anterioridad no tienen similitud con los realizados en el presente estudio.

Los resultados comparados muestran que la calidad del acuífero ha estado cambiando. Sin embargo las modificaciones son más significativas respecto de la salinidad y la contaminación orgánica.

6.1 Estado actual de la calidad del agua del acuífero

El estado actual del acuífero de acuerdo con los resultados obtenidos del presente estudio, muestran que se encuentra contaminado. Las fuentes de contaminación provienen principalmente de aguas residuales con materia orgánica de origen doméstico en primer lugar, y en segundo término se observa la presencia, aunque en una proporción baja, de algunos metales pesados como bario, hierro y zinc. No se realizaron análisis de laboratorio para identificar compuestos orgánicos peligrosos.

Cuadro 6.2 Cuadro de resultados promedio de calidad de agua de pozos del acuífero del río Tijuana durante el periodo marzo-abril 1998

Parámetro (mg/L)	Zinc	Sulfato	Sól. Dis.	pH	Nitratos	Mesófilos	Hierro	Coliformes	Bario
cc01	<0.1	207	1660	7.7	23	48	<0.1	5	<0.1
cc02	<0.1	188	2630	7.7	14	58	<0.1	32	0.1
cc03	<0.1	380	2030	7	9	5000	0.8	34	<0.1
cc04	<0.1	285	2205	7	46	100	0.3	49	<0.1
cc05	<0.1	284	1620	7	103	45	<0.1	0	<0.1
cc06	<0.1	295	3420	6.8	67	16	<0.1	8	0.2
cc07	<0.1	238	2940	6.9	66	96	<0.1	32	0.1
cc08	<0.1	324	1186	7.2	73	33	<0.1	0	0.2
cc09	<0.1	172	1910	7.3	2	480	2	13	<0.1
cc10	<0.1	362	1520	7.6	61	640	<0.1	9	0.1
cc11	<0.1	353	1790	7.5	73	260	<0.1	32	0.14
cc12	<0.1	281	2130	7.5	63	11	<0.1	0	0.1
cc13	<0.1	188	2340	7.5	14	315	<0.1	17	0.1
cc14	<0.1	250	1635	7.5	55	2930	<0.1	5	0.1
cc15	0.21	370	2570	8	84	260	<0.1	22	0.17
Cc16	<0.1	87	1398	8	22	180	0.1	350	<0.1
cc17	<0.1	284	2110	7.3	103	4	<0.1	32	0.13
cc18	<0.1	206	593	7.1	13	14	0.4	32	<0.1
cc19	0.15	163	1940	7.4	18	67	0.12	32	<0.1
cc20	<0.1	212	1480	7.7	70	>10000	0.6	>1600	0.13

Fuente: Elaboración propia a partir de monitoreo realizado en pozos de agua del acuífero del río Tijuana, 1998.

Cuadro 6.3 Cuadro de resultados promedio de calidad de agua de pozos del acuífero del río Tijuana durante el periodo mayo-junio 1998

Parámetro (en mg/L)	pH	Sól. Dis.	Sulfato	Nitratos	Bario	Hierro	Zinc	Mesófilos	Coliformes
cc01	7.6	2120	216	21	<0.1	<0.1	<0.1	4	460
cc02	7.8	2764	209	16	<0.1	<0.1	<0.1	17	0
cc03	7.2	2700	360	11	<0.1	0.5	<0.1	10000*	5
cc04	7	2605	315	37	<0.1	0.38	<0.1	100	49
cc05	7.2	2150	287	86	<0.1	<0.1	<0.1	0	0
cc06	7.1	4170	317	70	0.15	<0.1	<0.1	12	5
cc07	7.1	3100	254	69	0.11	<0.1	<0.1	24	2
cc08	7	1412	343	81	0.1	<0.1	<0.1	180	0
cc09	7.1	2305	180	15	<0.1	0.31	<0.1	1	4
cc10	7.2	2120	358	45	0.1	<0.1	<0.1	116	5
cc11	7.3	2186	323	86	0.12	<0.1	<0.1	23	4
cc12	7.51	2318	195	102	0.3	<0.1	<0.1	29	0
cc13	7.2	2562	205	223	0.21	<0.1	<0.1	50	11
cc14	7.7	2315	263	47	<0.1	<0.1	<0.1	6	0
cc15	7.7	2830	351	35	0.1	<0.1	0.16	1470	5
cc16	7.8	1723	103	32	<0.1	0.1	<0.1	260	2
cc17	7	2431	265	107	0.1	<0.1	<0.1	3	2
cc18	7.2	669	232	43	<0.1	0.36	<0.1	11	0
cc19	7.2	2351	187	36	<0.1	0.21	0.12	9	0
cc20	7.4	1713	260	67	0.12	0.45	<0.1	10000	>1600

Fuente: Elaboración propia a partir de monitoreo realizado en pozos de agua del acuífero del río Tijuana, 1998.

6.2 Calidad de agua en pozos del acuífero del río Tijuana

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis físicos químicos y microbiológicos en agua de pozos del acuífero se observa que:

1. La salinidad medida a partir de los sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica, es mayor en pozos profundos que en aquellos someros. El acuífero tiene un nivel de salinidad de moderado a alto. Los niveles de sólidos disueltos totales varían en zonas de poca influencia del acuífero desde 593 hasta los 4000 mg/L en las zonas centrales del acuífero. Respecto de la conductividad eléctrica, los niveles más bajos son del orden de 844 y se alcanzan valores de hasta 5000 umhos/cm. Los pozos someros disminuyeron los niveles de sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica, con excepción del pozo que se encuentra aguas abajo de la Presa (cc-19), ver Fig. 11 y 12.
1. Los nutrientes que pueden estar disueltos en agua como proceso natural, así como por efecto de actividades antropogénicas tienen poca variación. En los pozos profundos se observó un incremento en sulfatos y nitratos, mientras que en los pozos no profundos disminuyeron en poca proporción. Los fosfatos se mantuvieron casi sin variación alguna. no hay variación significativa tanto en pozos someros como profundos, Fig. 13 y 14.
2. La dureza y alcalinidad del agua de los pozos tiene poca variación tanto en pozos profundos como someros, así mismo a través del tiempo de monitoreo.
3. La contaminación de tipo industrial, medida en este caso a través de metales pesados, muestra que algunos metales, bario, hierro y zinc son los que predominan en los pozos del acuífero. El bario se encuentra presente en la mayoría de los pozos, así como el hierro, mientras el zinc ocurre solo en algunos, Fig. 15 y 16.

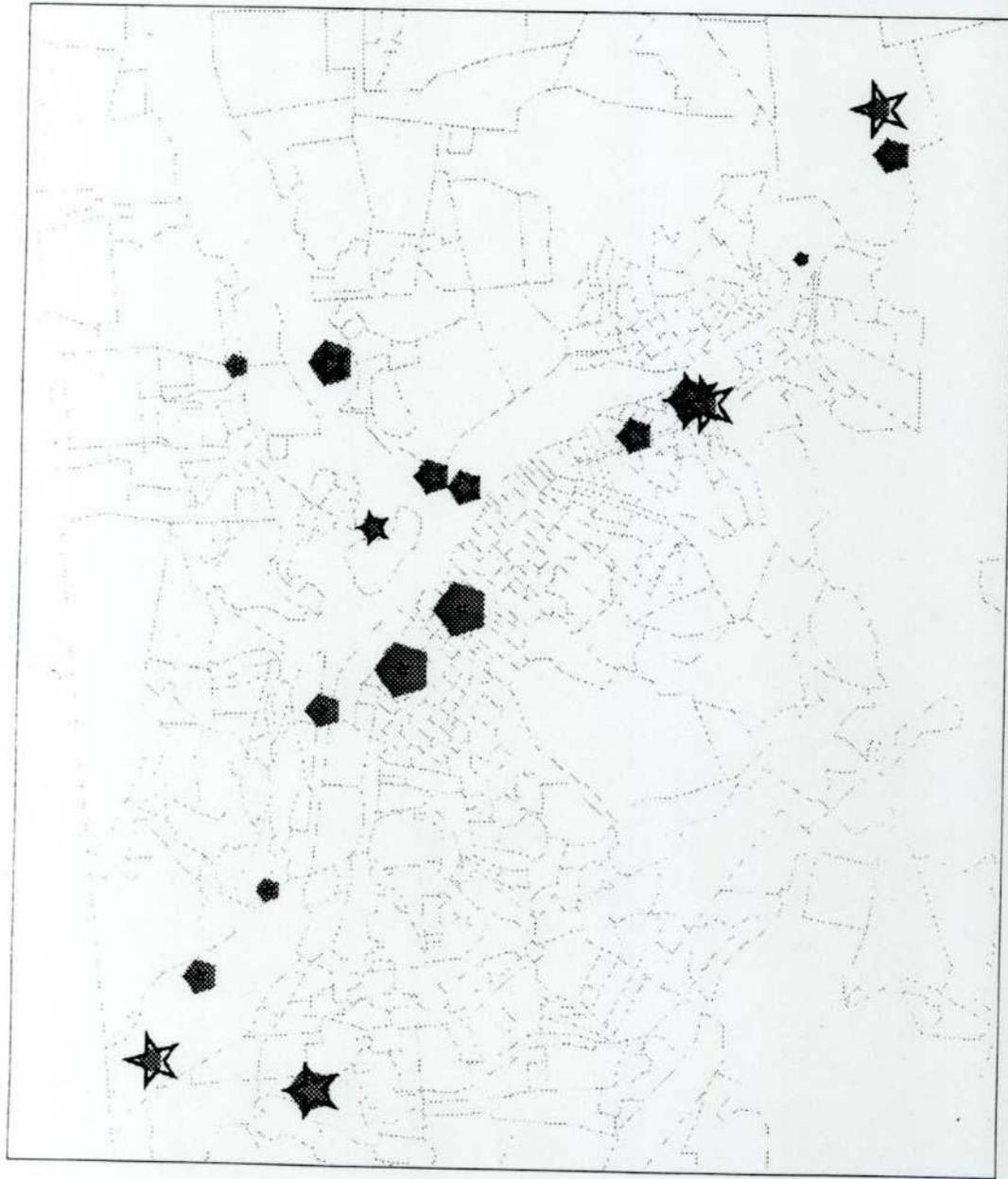
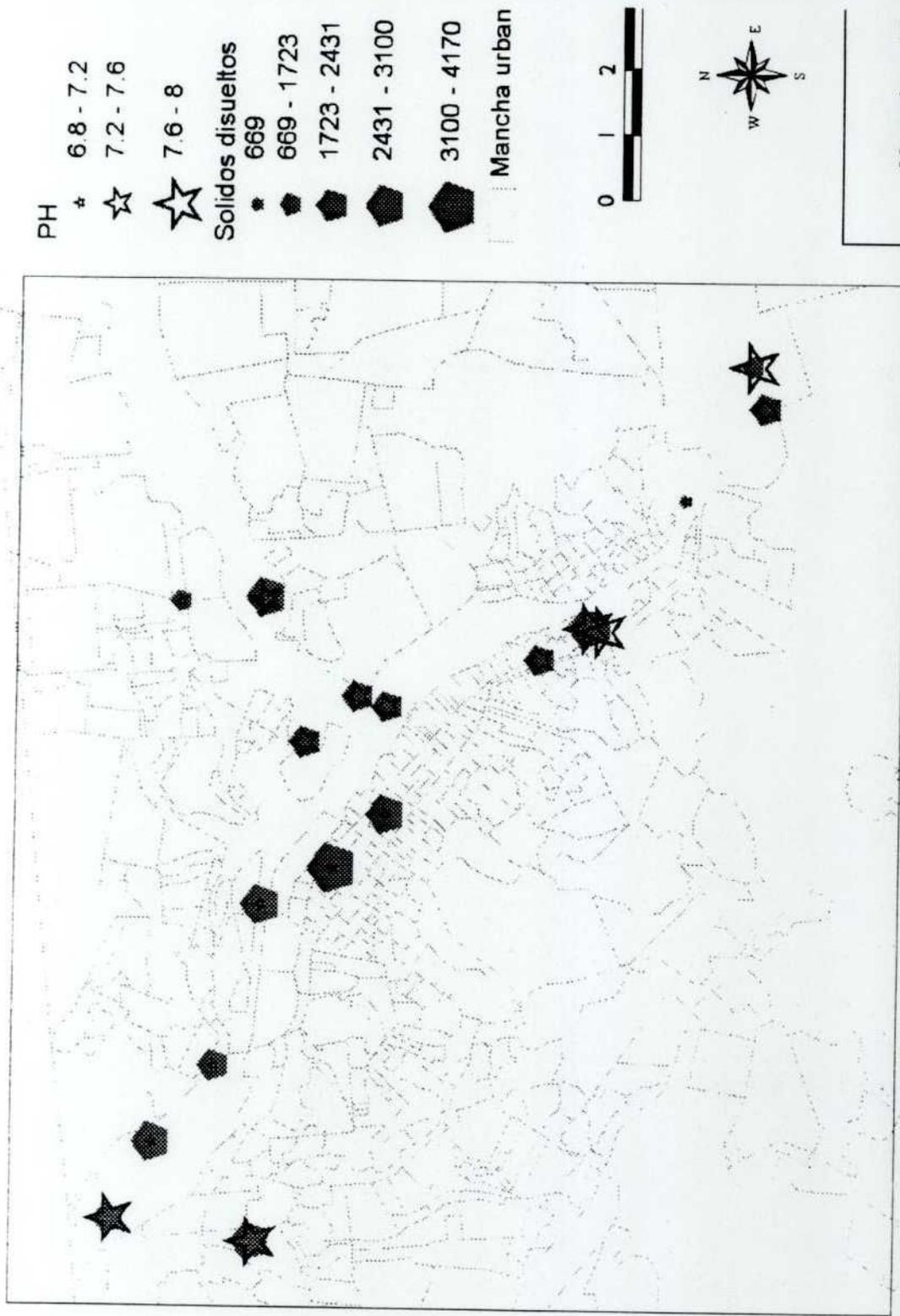


Fig. 11. Concentración de sólidos disueltos totales (mg/L) y pH (unidades) en pozos del acuífero del río Tijuana, marzo-abril 1998.

**Maestría en Administración
 Integral del Ambiente**

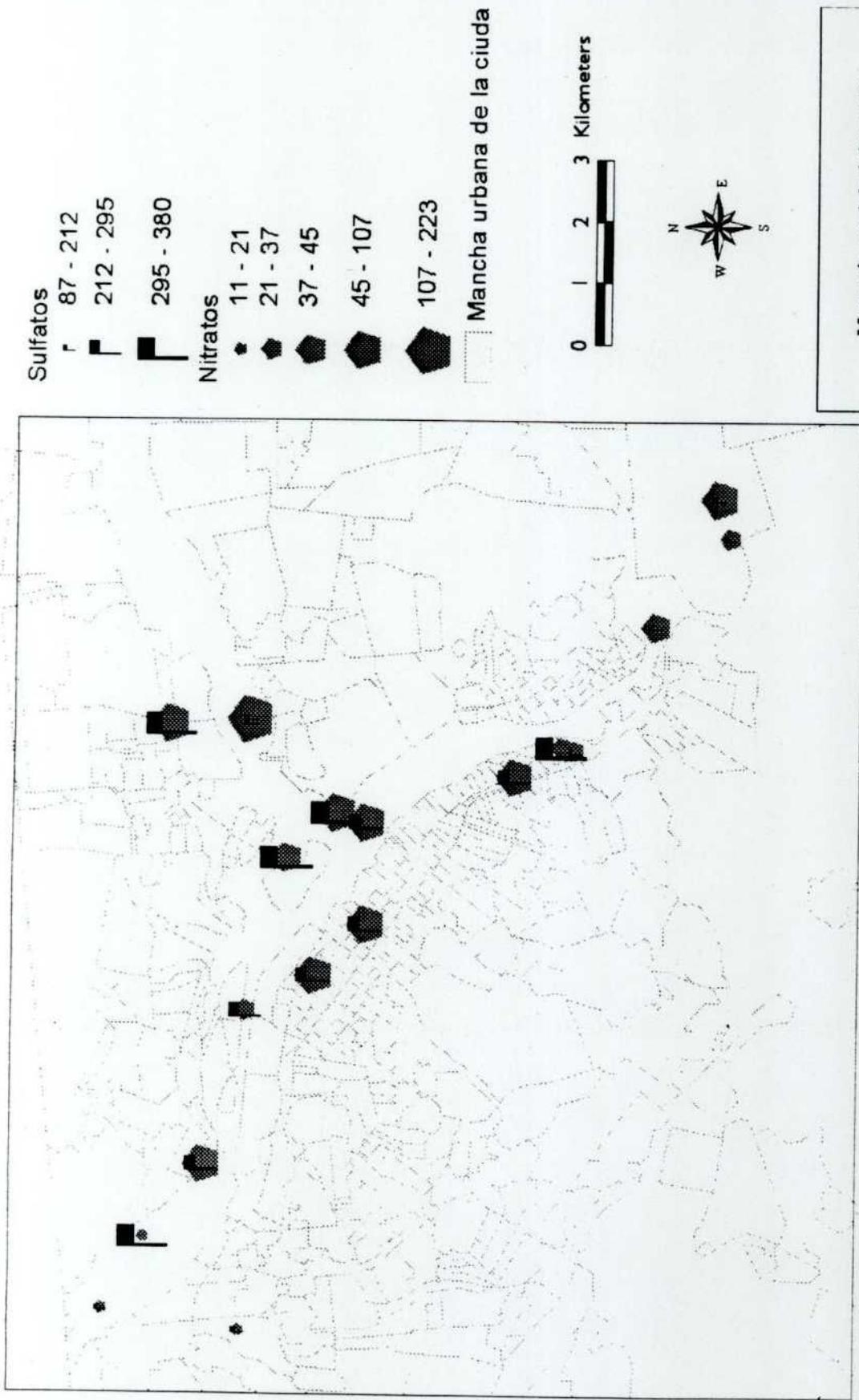
Elaborado en: *Sistema de
 Información Geográfica y
 Estadística de la frontera Norte*
El Colef-ORSTOM, 1998



Maestría en Ad
Integral del

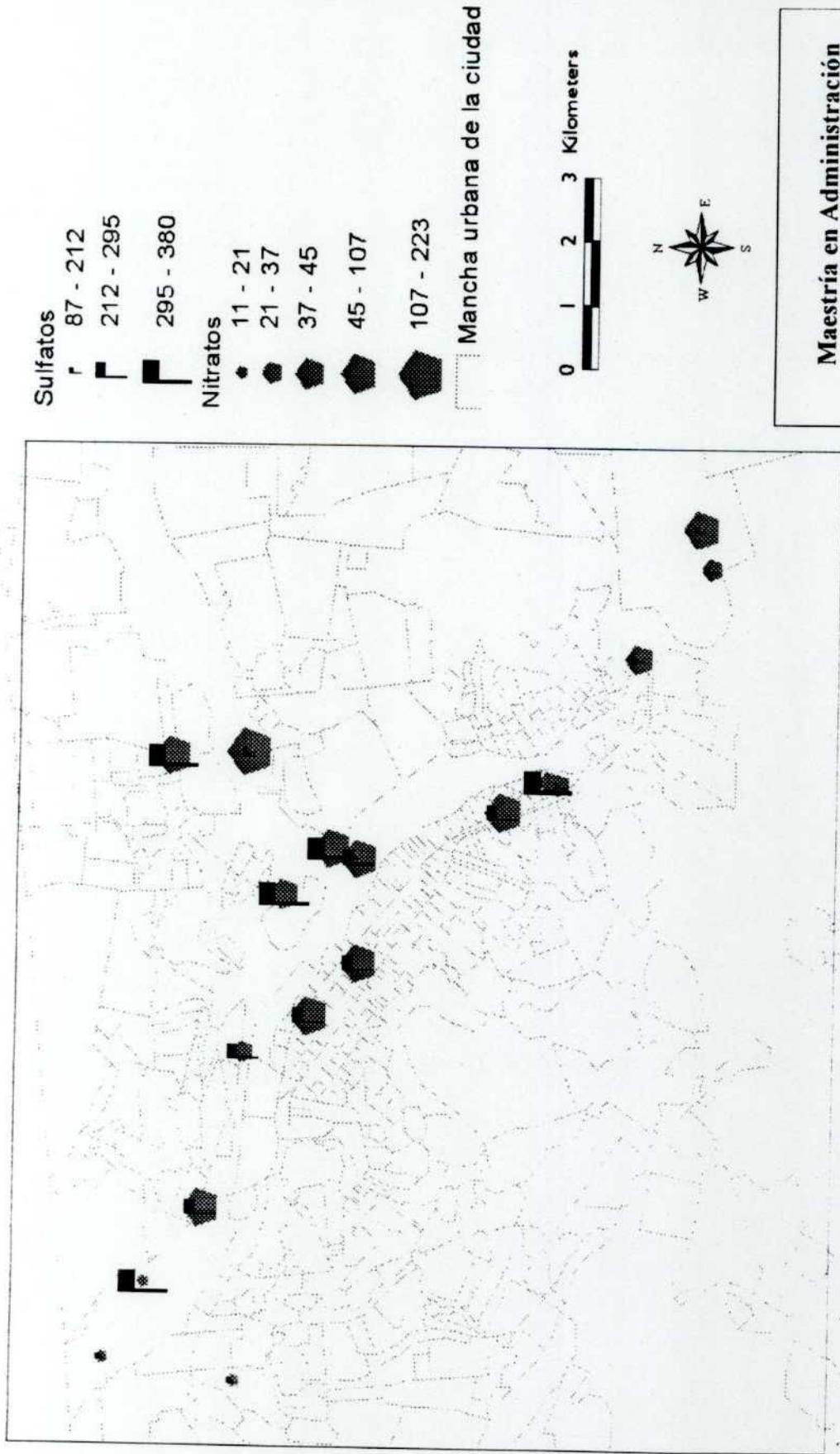
Elaborado en:
Información G
Estadística de la Fr
Colef-ORST

Fig. 12. Concentración de solidos disueltos totales (mg/L) y pH (unidades) en pozos del acuífero del río Tijuana, mayo-junio 1998.



**Maestría en Administración
Integral del Ambiente**
 Elaborado en: Sistema de
 Información Geográfica y
 Estadística de la frontera Norte, El
 Colef-ORSTOM 1998

Fig. 13. Concentración de nitratos (NO_3) y sulfatos (SO_4) mg/L, en pozos del acuífero del río Tijuana, marzo-abril 1998



**Maestría en Administración
Integral del Ambiente**
 Elaborado en: *Sistema de
Información Geográfica y
Estadística de la Frontera
Norte*, 1998

Fig. 14 Concentración de nitratos (NO_3) y sulfatos (SO_3) mg/L, en pozos del acuífero del río Tijuana, mayo-julio 1998.

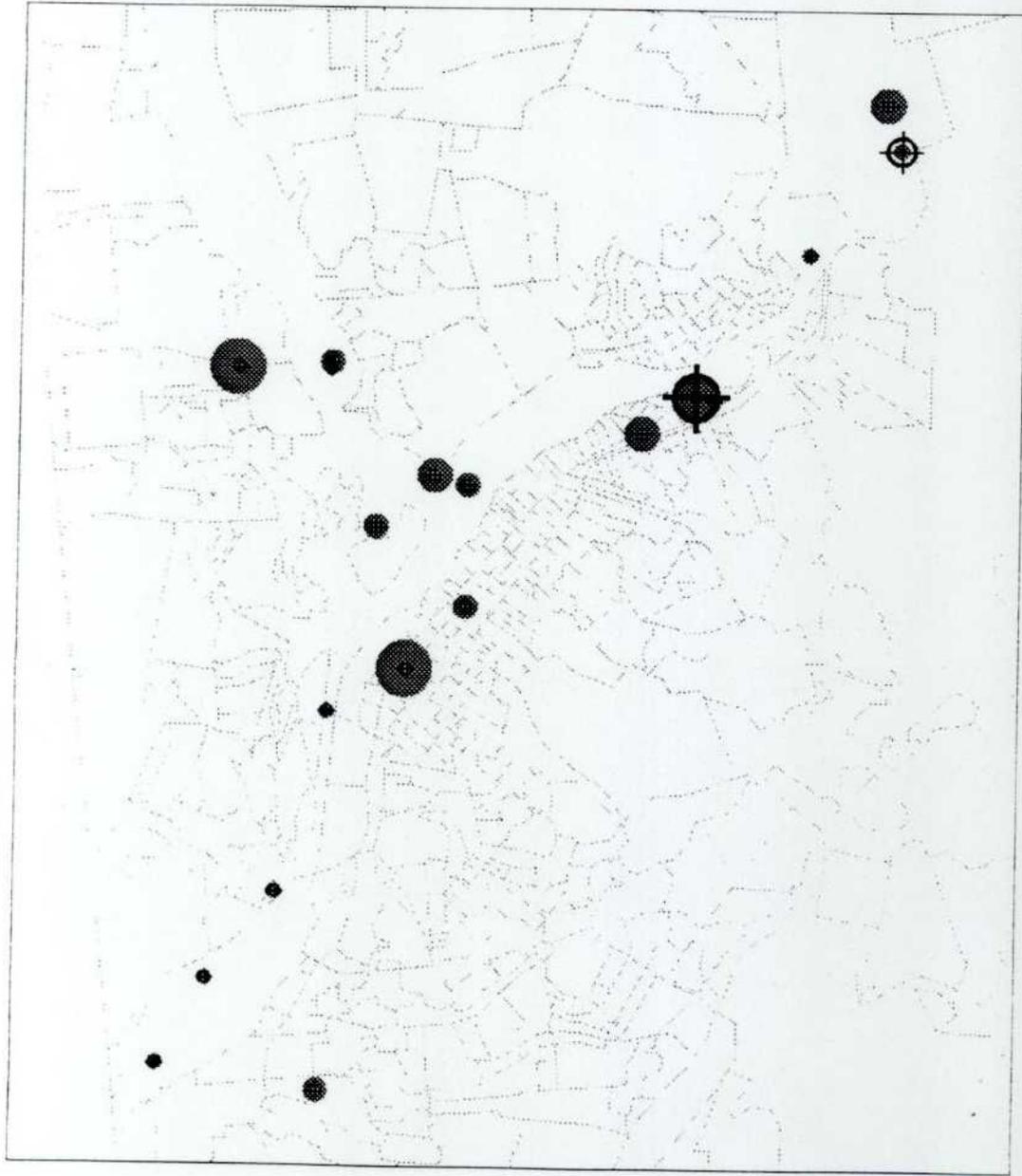


Fig. 15. Concentración de Bario y Zinc (mg/L) en pozos de agua del río Tijuana, marzo-abril 1998

**Maestría en Administración
Integral del Ambiente**

Elaborado en: Sistema de
Información Geográfica y
Estadística El Colef-ORSTOM,
1998.

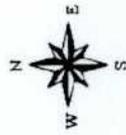
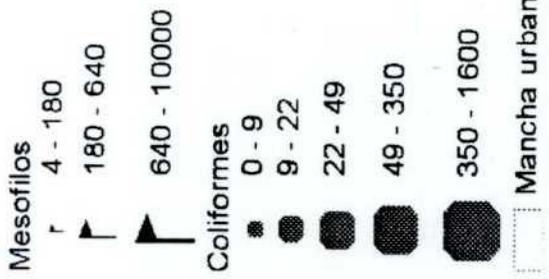
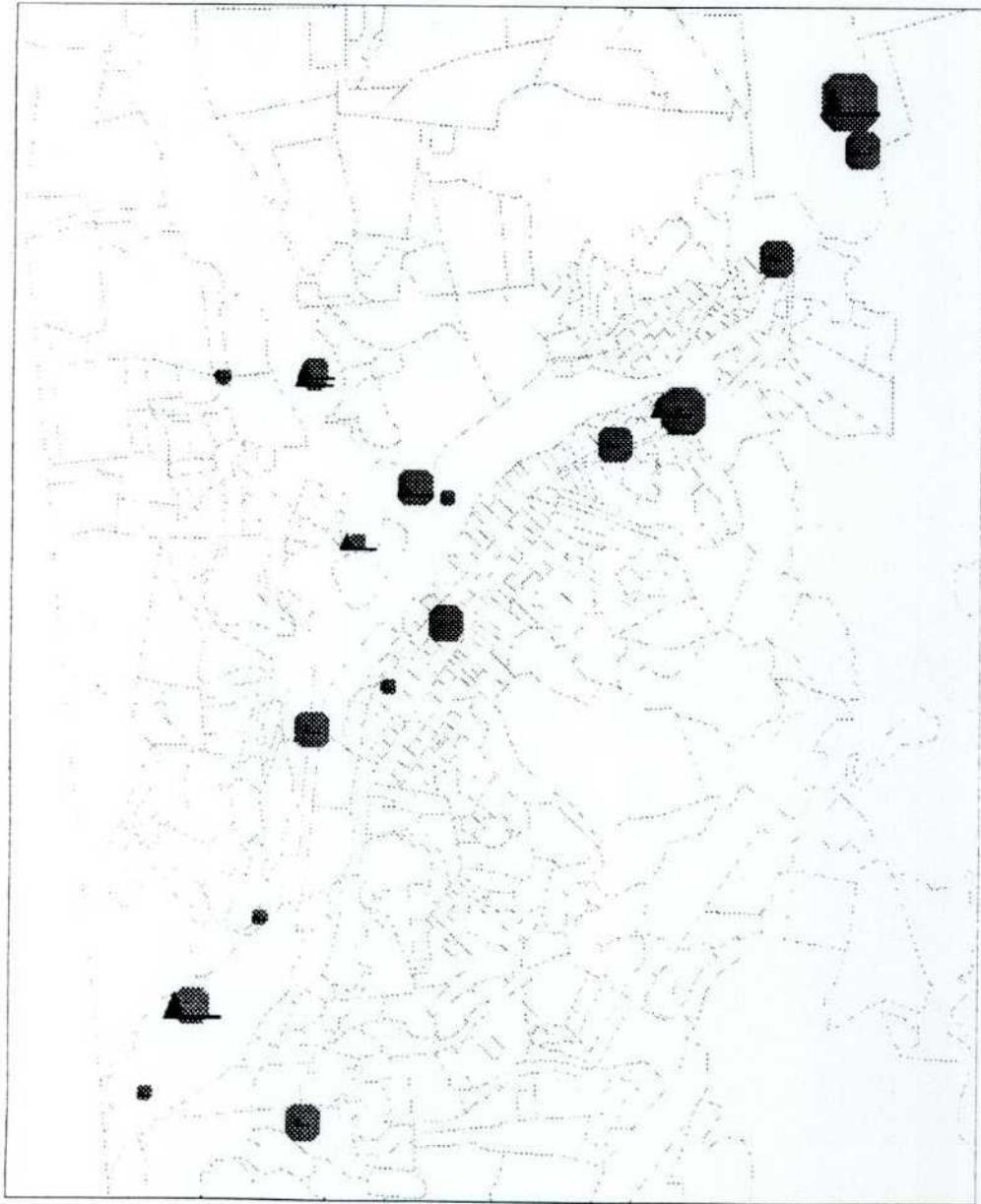
2. La contaminación orgánica, medida a través de la presencia de organismos mesofilicos aerobios y organismos coliformes fecales, muestra que en la mayoría de los pozos, tanto someros como profundos, existen niveles significativos de dichos contaminantes. Estas condiciones de deterioro de la calidad del agua, demuestra que hay contribución importante por descarga de aguas residuales sin tratamiento que son vertidas al acuífero. Salvo en tres pozos cc-05, cc-12 y cc-000, no se encontró presencia de organismos coliformes fecales, Fig. 17 y 18.

Los niveles de microorganismos en pozos profundos son menores que en los pozos someros. Esto tiene explicación debido a la profundidad, lo que parece ser está impedido por la estructura litológica hacia niveles profundos de agua. Este evento es indicativo de que las descargas de aguas residuales, sobre todo de tipo doméstico, se infiltra al subsuelo y es arrastrada a través de las capas del subsuelo para llegar a capas más profundas.

Los nutrientes como fosfatos, nitratos y sulfatos, así como la presencia de metales pesados, permite obtener poca correlación entre la calidad de agua de pozos monitoreados del acuífero y descargas de aguas industriales no tratadas adecuadamente. Sin embargo, la variación debido a la profundidad de los pozos explica que dichos componentes pueden no provenir de aguas residuales domésticas o industriales, sino que es más probable que provenga de la dinámica química de la geología subterránea.

6.3 Discusión de resultados

Debido a los resultados obtenidos en el presente estudio, se observa que la conductividad, está directamente asociada con la salinidad del agua. Se encontró que hay una variación proporcional positiva entre los parámetros fisicoquímicos como durezas, alcalinidad, sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica. La presencia de sodio de los minerales disueltos, indica la presencia de intrusión salina ya sea dentro del mismo manto freático, o



**Maestría en Administración
Integral del Ambiente**

Elaborado en: *Sistema de
Información Geográfica y
Estadística de la Frontera Norte, El
Colef-ORSTOM, 1998*

Fig. 17. Concentración de organismos mesófilos aerobios (UFC/mL) y organismos coliformes totales (NMP/100 mL) en pozos del acuífero del río Tijuana, marzo-abril 1998

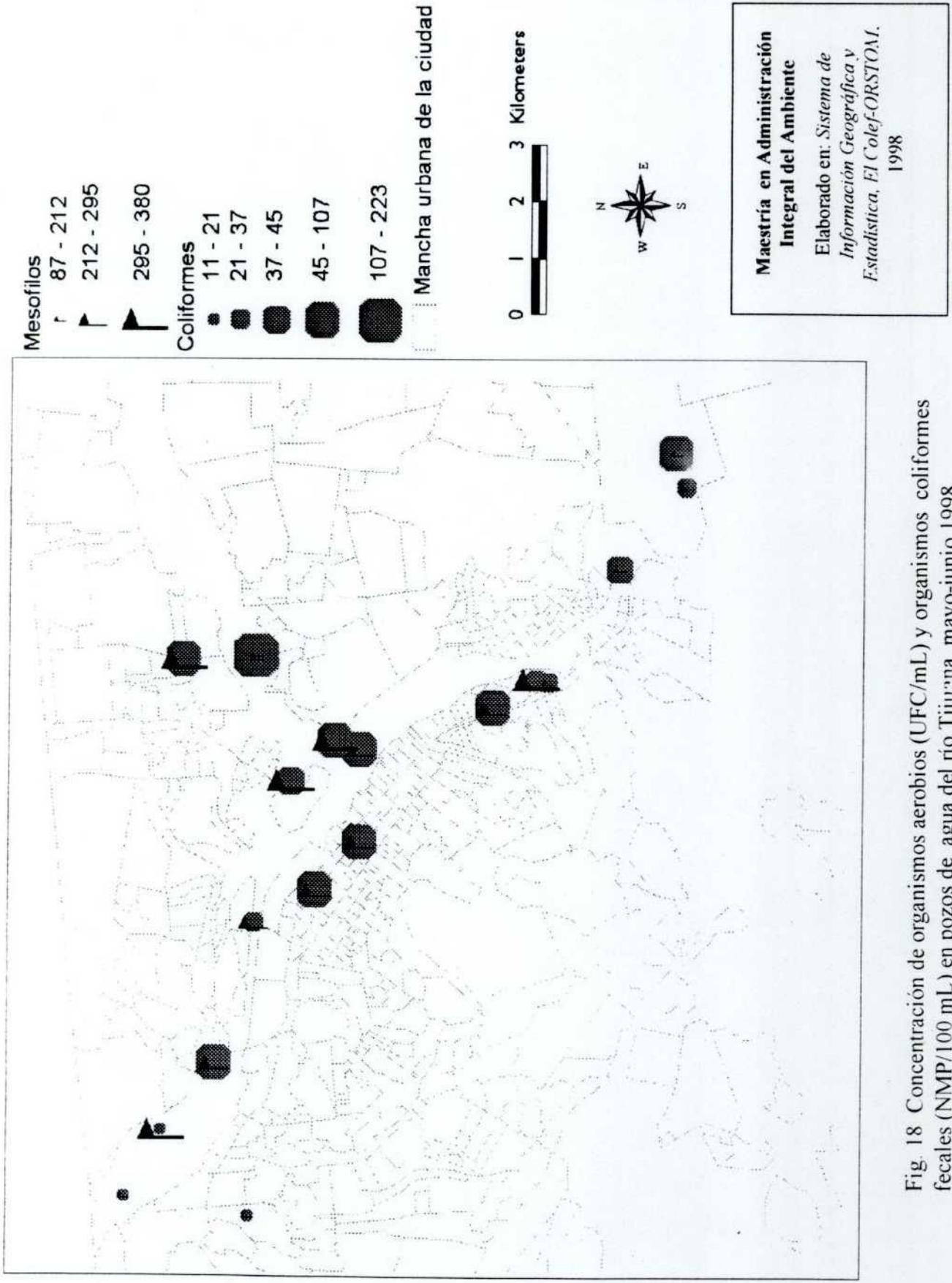


Fig. 18 Concentración de organismos aerobios (UFC/mL) y organismos coliformes fecales (NMP/100 mL) en pozos de agua del río Tijuana, mayo-junio 1998.

bien, por arrastre en agua subterránea vía la extracción de agua de pozo. La acumulación de minerales muestra que está ocurriendo eutrofización y/o salinización.

De acuerdo con resultados al inicio del estudio (marzo-abril 1998) y comparándolos con resultados al final del mismo (mayo-junio 1998), se observa que la conductividad se incrementó. Esto muestra que la falta de lluvias incrementa sustancialmente el nivel de minerales disueltos, así mismo, algunos de éstos pueden estar siendo arrastrados por la corriente subterránea que ocurre en la cuenca debido a la composición geológica de la misma.

6.4 Proyecciones de calidad de agua en el acuífero

Las proyecciones sobre generación de aguas residuales y el porcentaje de eficiencia con que se ha proyectado enfrentar el uso, manejo y disposición de las aguas residuales, muestra que el problema no se resolverá en el mediano plazo.

Existe gran posibilidad de que el acuífero siga siendo contaminado principalmente por agentes orgánicos, provenientes de aguas residuales de tipo doméstico, así como fuentes no identificadas que pueden ser de servicios, comerciales e incluso industriales.

Las estimaciones sobre la cobertura de captación de aguas residuales en la ciudad de Tijuana, muestran que en el mediano y largo plazo, no se tendrá control por lo menos de un veinte por ciento de las aguas residuales que se generan en la ciudad. Adicionalmente a lo anterior, no se contempla en los indicadores de gestión del organismo operador del agua, la CESPT que los volúmenes de agua que son incorporados vía la extracción de agua de pozos, o bien, por importación de agua que no se ha contabilizado se hayan considerado en dichos indicadores. Estas fuentes adicionales que ocurren como consecuencia del uso de agua de pozos, agua purificada y otras fuentes no identificadas, implica de cualquier

manera aún sin cuantificarse, un incremento adicional a los montos proyectados sobre el problema de contaminación.

Cuadro 6.4 Datos de suministro de agua, generación de aguas residuales y aguas residuales sin control en la ciudad de Tijuana (miles de m³), durante el periodo de 1984 al 2005

Año	Suministro de agua	% de cobertura	Aguas residuales generadas	Aguas descargadas a cielo abierto
1984	47,002	58	32,901	9,950
1985	50,000	58	35,500	21,000
1986	53,593	57	38,426	23,044
1987	63,706	--	45,868	10,200
1988	68,131	--	49,054	40,200
1989	64,020	68	46,094	13,560
1990	64,020	72	46,094	14,821
1991	72,848	86	62,649	15,452
1992	78,209	89.1	69,606	16,398
1993	82,308	92.9	76,464	17,029
1994	86,724	88.0 - 91.47r	79,326	17,975
1995	91,139	88.0 - 94.19r	82,025	33,617
1996	95,869 83,532r	90.0 - 94.0r	90,116 53,460r	32,828
1997	100,915 90,012r	91.0 - 94.17r	95,031 54,637r	31,457
1998	106,276 90,396r	92	97,773 55,421r	30,779
1999	111,637	93	103,822	30,842
2000	110,376	94	103,753	30,905
2001	117,629	95	111,747	32,009
2002	126,774	95	120,735	34,216
2003	127,090	95	120,735	34,311
2004	146,011	95	138,710	40,870
2005	158,310	95	150,394	45,916

Fuente: Elaboración propia con base en documentos de COSAE, CNA, CESPT, COPLADEM e indicadores de CESPT 1991-1998.

* Los datos que se muestran corresponden en su mayoría a estimaciones basadas en proyecciones de las dependencias en materia de agua y algunas investigaciones al respecto. Salvo datos de 1991 a 1997 son mediciones más reales del organismo operador del agua, la CESPT.

Los contaminantes industriales pueden estar minimizados debido al volumen que se utiliza por dicho sector, además de contar en los últimos años con mayor infraestructura de drenaje sanitario industrial. Otros factores que pueden contribuir a minimizar el efecto de dichos contaminantes, puede ser la rapidez con que ocurren las corrientes de agua debido a la topografía de la ciudad, lo cual no permite su infiltración a capas profundas, o bien, por buen manejo del drenaje del acuífero. La canalización del río Tijuana y el incremento en los usos de suelo como pavimentación, reduce significativamente la posibilidad de infiltración de agua al acuífero, así como su tratamiento a través del ciclo natural del agua.

6.5 Condiciones de calidad en el acuífero del río Tijuana

Los resultados muestran que el acuífero:

- a) Esta bien en las zonas donde el desarrollo urbano es bajo y la infraestructura hidráulica es adecuada. Otros sitios que no muestran niveles altos de contaminantes son aquellos que se encuentran localizados en sitios donde el desarrollo urbano es bajo o nulo.
- b) Las zonas donde se observan mayores problemas, tienen estrecha relación con las áreas con mayor desarrollo urbano, topografía accidentada y asentamientos humanos recientes. La contaminación por metales pesados, ocurre principalmente en los cauces mayores que aportan agua al acuífero del río Tijuana, como es el caso del arroyo El Alamar y la zona aledaña al Parque Morelos que recibe afluentes de todos los tributarios de la cuenca del río Tijuana. Los puntos más contaminados se encuentran en las zonas donde se unen las corrientes del arroyo el Alamar y el río Tijuana, pozos a la altura del Boulevard Lázaro Cárdenas y el cauce del arroyo El Alamar.

De acuerdo con los resultados obtenidos, sobre todo por contaminación orgánica y de metales en agua, resulta prácticamente imposible recuperar la calidad natural del agua del acuífero. Esto se debe principalmente a que:

- a) El agua del acuífero no puede ser tratada fácilmente, tanto microbiológica como fisicoquímicamente.
- b) El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, ha desarrollado un proceso para control de hierro (Fe) y manganeso (Mn) en aguas de uso urbano. Esta tecnología podría ser una ventaja para poder tratar y reutilizar el agua con niveles bajos de riesgo para la salud.

- c) La presencia de contaminantes orgánicos e industriales en agua del acuífero por periodos prolongados, reduce significativamente la posibilidad de recuperar la calidad ambiental natural del acuífero.

La cantidad de agua que puede suministrar el acuífero es importante para el suministro de un porcentaje de población significativo, la cual ha sido estimada en aproximadamente 14 millones de metros cúbicos por año. Este potencial representa hasta un 20% del consumo actual en la ciudad. Sin embargo debido a la calidad del agua, no se recomienda el uso directo para consumo humano y en su caso, es posible que sean preferibles usos indirectos, tales como riego de áreas verdes, inyección de agua al acuífero para mantener la humedad en zonas vegetadas, etc.

6.6 La gestión del agua en la ciudad

La revisión de los antecedentes sobre el uso, manejo y disposición de aguas residuales en la ciudad de Tijuana, permiten identificar que no es posible tratar el 100% de las aguas residuales generadas. En el mediano y largo plazo no será posible tratar todas las aguas generadas, por lo que los esfuerzos en inversión de infraestructura hidráulica, no son suficientes para reducir el índice de contaminación del acuífero del río Tijuana.

La falta de recursos económicos, la política en materia de aguas y la forma de control del desarrollo urbano, harán que el problema siga estando presente, aunque éste pueda subsanarse considerablemente utilizando medidas estrictas de control en el mediano plazo.

La política de la Comisión Nacional del Agua, la poca participación de la comunidad y la ausencia de control por la autoridad local, no promueve los mecanismos para resolver la problemática sobre contaminación de aguas subterráneas.

De acuerdo con los resultados obtenidos, lo que puede ayudar a beneficiar las condiciones del acuífero son:

- a) Restringir el uso del agua del acuífero para consumo humano y servicios relacionados con actividades antropogénicas.
- b) Realizar campañas para identificar efectos de contaminantes en seres humanos que han estado expuestos por consumo de agua por periodos prolongados. Esto puede conducir a detectar enfermedades ocasionadas por uso de agua contaminada del acuífero
- c) Promover campañas de concientización en la ciudad, con el propósito de reducir la descarga de aguas residuales a pozos y letrinas. Esto puede llevar a reducir significativamente los niveles de contaminación del acuífero, así como a motivar a los usuarios a disponer adecuadamente las aguas servidas, aún cuando no se cuente con drenaje sanitario.

Los resultados del presente estudio, aunque limitados, permiten establecer respuestas a las preguntas originales y la hipótesis planteada. De manera conclusiva se puede asegurar que al menos, la falta de drenaje sanitario ha estado, está y seguirá contaminando el agua y suelo del acuífero. Así mismo, es posible asegurar que otros contaminantes que se generan, pueden estar presentes en el suelo y el agua del acuífero, y que su dinámica y efectos, dependen de la hidrogeología del acuífero de manera integral, lo cual debido a las limitaciones sobre todo de tiempo, no es posible alcanzarlo en el presente estudio.

El papel que desempeña la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana, tiende a controlar el problema, sin embargo su actuación responde a la dinámica económica y reduce preveer mecanismos de preservación de los recursos naturales

El tratamiento de las aguas residuales tanto en la ciudad como en los Estados Unidos, ayuda al control de la contaminación, sin embargo limita el desarrollo de infraestructura propia y alternativas eficientes en el ámbito local. La asimetría de poder entre los dos países, deja en desventaja a México, lo cual no ha permitido llegar a resoluciones diplomática equilibradas, sobre todo en el manejo de agua de tipo subterránea.

El modelo de desarrollo y la política hidráulica en México, sigue imponiendo el tipo de desarrollo económico sobre los aspectos ambientales, lo cual no garantiza resolver el problema de la contaminación de agua en el acuífero del río Tijuana en el mediano y largo plazo.

6.7 Recomendaciones

Debido a las limitantes de tiempo y económicas del presente trabajo, es necesario hacer estudios más amplios para conocer la magnitud del problema sobre la contaminación en el acuífero del río Tijuana. Con este trabajo es posible identificar parte del problema pero no es posible asegurar que los resultados muestran las condiciones permanentes del acuífero. Mediante un análisis más detallado en los sitios de extracción, y la ampliación en el rango de parámetros de análisis de contaminantes, así como un estudio en un periodo de tiempo más amplio, permitirá diagnosticar con certeza el riesgo y efectos potencial a los que se exponen tanto residentes de la ciudad que consumen agua directa o indirectamente. De igual manera se podrán evaluar los efectos y riesgo que son ocasionados sobre los recursos del acuífero, ya sean agua, suelo y flora y fauna.

Bibliografía citada y consultada:

15º Ayuntamiento de Tijuana. Comité de Planeación para el Desarrollo Urbano Municipal, COPLADEM, *Agua y Drenaje*, No. 7, 1998.

15º Ayuntamiento de Tijuana. Comité de Planeación para el Desarrollo Urbano Municipal, COPLADEM, *Características generales del municipio de Tijuana*, No. 1, 1998.

A Study of Chemical Contamination of Marine Fish from Southern California. II. Comprehensive Study. California Environmental Protection Agency, september, 1991.

Abbot, Patrick L. 1989. *Geologic Studies in Baja California*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, U.S.A.

Allen, M. James, Francisco, Christopher, and Halock, Debbie, 1996. *Southern California Coastal Water Research Project, Annual Report 1994-1995*. Southern California Coastal Water Authority.

Alvarez, Luis G.; Godínez Víctor M.; Bravo Ch., Alberto. *Trayectorias de Corrientes y Ejes de Difusión frente a la costa de Tijuana, B.C.*(1985-1986). Informe Técnico OC-89-03. Departamento de Oceanografía Física. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), noviembre, 1989.

Aragón-Arreola, Manuel de Jesús, 1994. *Evaluación de riesgo geológico debido a movimientos de ladera en la ciudad de Tijuana, B.C., México*. Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada.

Canales Cerón, Alejandro, 1995. *El Poblamiento de Baja California. 1848-1950*. En: *Frontera Norte*, Núm. 13, 1995.

Chávez Carrillo, Rodolfo, 1989. *Perspectivas del agua en el desarrollo de Tijuana*. En: *Agua y Desarrollo regional*, Colegio de Economistas de Baja California

Chávez V., Gerardo. "Geomorfología de la cuenca del río Tijuana aplicada al análisis de uso del suelo a nivel regional". Tesis de Maestría en Ciencias. División de Ciencias de la Tierra. Departamento de Geofísica Aplicada. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Julio, 1996.

Clesceri, Lenore S., Greenberg, Arnold E. And Trussell R. Rhodes, 1989. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 17th. Edition, APHA, AWWA, WPCF.

Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana, 1993. *Planeación estratégica del sistema de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Tijuana: Horizonte 1991-2000*.

Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana, 1994. *Agua en Tijuana: Retos y avances*.

Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana. Oficio del 2 de agosto de 1996. *Información referente al sistema de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Tijuana*. 1996.

Comisión nacional del Agua, 1997. *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento*, 3ª. Edición 1997. México, D.F.

Conway, John. *Sewage and Public Health*. The San Diego-Tijuana Region. Planning the International Border Metropolis, Center for U.S. Mexican Studies, University of California. San Diego. pp. 27-31, 1986.

Cuaderno Estadístico Municipal. TIJUANA Estado de Baja California. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1995.

Delgado A. Luis; Hinojosa C., Alejandro; Aragón A., Manuel; Chávez V., Gerardo; Mendoza B., Ramón y Frias C., Victor M. *Estudio de riesgo geológico en Tijuana con base en análisis geomorfológicos y estructurales y la respuesta del terreno en las áreas El Pastejé, El Pato y Cañada Verde*. Departamento de Geología, División de Ciencias de la Tierra, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Junio, 1993.

Detwyler, Thomas R. *Man's Impact on Environment*. 1971.

Comisión Nacional del Agua, 1997. *Diagnóstico actual y propuesta de explotación y tratamiento de los pozos de agua potable de la ciudad de Tijuana, Baja California*. Elaborado por Despacho de Ing. Hector david Ramirez López (documento en revisión).

Dudek & Associates, Inc. *Groundwater Management Plan for the Tijuana River Basin. Summary Report*. Tia Juana Valley County Water District, may 1995.

East Otay Mesa Specific Plan. *Draft Environmental Impact Report (GPA 94-02; Log No. 93-19-6)*. Prepared by Ogden Environmental and Energy Services Co., Inc., for County of San Diego. Department of Planning and Land Use. 1993.

Ganster, Paul, 1998. *Sustainable development in San Diego and Tijuana: A view from San Diego*. The Center for U.S.-Mexican Studies, University of California, San Diego.

Ganster Paul, Sweeder, Alan, Scott Jaames, Dieter-eberwein, Wolf, 1997. *Border and Border Regions in Europe and North America*. Institute for Regional Studies of the Californias, SDSU-IRSC.

Gastil, R. Gordon et. al. *Reconnaissance geology of the State of Baja California*. The Geological Society of Amgical Society of America, Inc., 1975.

Gobierno del Estado de Baja California, 1984. *Plan de Desarrollo Urbano de Centro de Población Tijuana*.

Hach, 1992. *Water Analysis Handbook*. Hach Company.

Hal Brown. *Air Pollution and Problems in the Tijuana-San Diego Air Basin*. Planning the International Border Metropolis, Center for U.S. Mexican Studies, University of California, San Diego. pp. 39-44, 1986.

INEGI-Gobierno del Estado de Baja California, 1995. *Estudio Hidrológico del Estado de Baja California*.

Interchange of pollutants between the atmosphere and the Oceans. Reports and Studies No. 13. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution -GESAMP-. World Meteorological Organization. IMCO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP. 1980.

Jouliá-Lagares, Alejandro, 1988. *Diagnóstico espacial de la mancha urbana en la ciudad de Tijuana*. Cuadernos de Econocmia, Serie 3, No. 6 UABC.

Langis, Rene. *Assesing the Sources and Loadings of Pollutants affecting the Tijuana Estuary: Tijuana River National Estuarine Research Reserve*. NOAA, Office of Ocean and Coastal Resource Management.

Lozano Lara, Mario Alberto, 1995. *Diagnóstico fisicoquimico de la calidad del agua del rio Tecate*. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California.

Méndez Mungaray, Elizabeth, 1992. *Distribución del agua en Tijuana*. En: Ciudades, Reforma Universitaria No. 16, 1992.

Mendoza, L. y J. Acosta, 1995. *Estudio para la identificación y fundamentación de zonas sísmicamente vulnerables en la ciudad de Tijuana*. Tijuana, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

Metry, Amir A., 1975. *Modeling pollutant migration in subsurface environments*. West Chester, Pennsylvania.

SEDESOL, 1994. México. *Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente 1993-1994*. Secretaría de Desarrollo Social-Instituto Nacional de Ecología. SEDESOL.

Miranda R. Fernando; Reyes Coca, Sergio; Espinoza I., José G.; García López, Javier. *Climatología de la Región Noroeste de México (B.C., B.C.S., Son. y Sin.)*. Parte II. Temperatura: Series de tiempo del valor mensual y estadísticas del Año Climatológico. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 1992.

Gobierno del Estado de B.C., 1995. *Plan de Ordenamiento Ecológico del Estado de Baja California*, versión abreviada. Periódico Oficial del Estado de Baja California, No. 42, 8 de septiembre de 1995.

Plan Parcial de Desarrollo Urbano de la Tercera Etapa del Río Tijuana. Promotora del Desarrollo Urbano de Tijuana, Gobierno del Estado de Baja California, 1995.

Pollock, Gerald A., Ph. D. *Risk Assesment of Dioxin Contamination of Fish*. Hazard Evaluation Section. Office of Environmental Health Hazard Assesment, California Department of Health Services. Berkeley, CA., August, 1989.

Presidencia de la República, 1995. *Programa Hidráulico 1995-2000*.

Proyecto Ejecutivo del Distrito de Control de la Contaminación del Agua en Tijuana, B.C. Subsecretaría de Ecología, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación del Agua. SEDUE, 1984.

Quiroga M., Rayén. Hauwermeiren, 1996. *Globalización e insustentabilidad: una mirada desde la economía ecológica*. Instituto de Ecología Política, Santiago de Chile.

Ranfla González, Arturo y Alvarez de la Torre, Guillermo B., 1983. *Expansión física, formas urbanas y migración en el desarrollo urbano de Tijuana 1900-1984*. Cuaderno No. 2 Serie 3. Ciencias Sociales, Universidad Autónoma de Baja California.

Rempel, Rick, 1992. *Hydrogeological Assesment of the Tijuana River Valley*. California Tate Water Resarcnes Control Borrad.

Rivera Granados, Angel (Coord.), 1989. *TIJUANA: monografía municipal*. Centro Estatal de Estudios Municipales. pp. 14-79.

Romo Aguilar, Maria de Lourdes, 1996. *Riesgos naturales y vulnerabilidad social en la zona urbana de Tijuana, B.C.* Tesis de Maestría en Administración Integral del Ambiente. Colegio de la frontera Norte-Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

Salcedo Leos, Bernardo, 1986. *Sewage and Potable Water Systems in Tijuana*. Planning the International Border Metropolis, Center for U.S. Mexican Studies, University of California, San Diego. pp. 33-37.

Sánchez P., Alberto C., 1996. *Ley de Aguas Nacionales, comentada y correlacionada*. Editorial Porrúa, México, 1996.

Sánchez, Roberto A. 1998. *Sustainable Development in Tijuana: A Perspective on Options and Challenges*. The Center for U.S.-Mexican Studies, University of California, San Diego.

Scheid, Gerald A., RECON, 1994. *Biological Impact Analysis for International Wastewater Treatment Facilities and South Bay Ocean Outfall*. Prepared for Environmental Protection Agency, Región IX.

Sepúlveda Marqués, Rubén Guillermo, 1994. *Características fisicoquímicas de aguas residuales de la zona industrial Otay Tijuana en tres descargas no conducidas a la red municipal durante 1992 y 1993*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California.

El Colegio de la Frontera Norte, 1986. *Sinopsis del problema binacional causado por la derrama del drenaje de las ciudades de Tijuana y San Diego*.

South Bay Treatment Plant Predesign Report, 1991. Volume I-Text. Clean Water Program for Greater San Diego.

Sunkel, L. Et al, 1982. *El Subdesarrollo Latinoamericano y Teoría del Desarrollo*.

Temores Peña, Juan, 1995. *Acumulación de metales traza en suelo de la Ciudad Industrial Otay Nueva Tijuana y regiones aledañas*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California.

Tia Juana River Valley Plan and Local Coastal Program Addendum. The City of San Diego, 1981. *Tijuana River National Wildlife Refuge Contaminant Study*. Prepared by U.S. Fish and Wildlife Service Environmental Contaminants Branch, Laguna Niguel, CA., March, 1990.

Trava Manzanilla, José Luis, Román Calleros, Jesús y Bernal R., A. (Comps.), 1991. *Manejo ambientalmente adecuado del agua en la frontera México-Estados Unidos: Situación actual y perspectivas*. El Colegio de la Frontera Norte.

U.S.E.P.A., 1990. *Handbook Groundwater: Volume I: Groundwater contamination*.

US Environmental Protection Agency (Region IX) and International Boundary and Water Commission (US Section). *Final Environmental Impact Statement for the International Boundary and Water Commission, International Wastewater Treatment Plant and Outfall facilities*. Technical Preparation: Regional Environmental Consultants (RECON), 1994.

US Environmental Protection Agency (Region IX) and International Boundary and Water Commission (US Section). *Draft. Supplemental Environmental Impact Statement for the International Boundary and Water Commission, International Wastewater Treatment Plant*. Interim Operation, september, 1996.

US/Mexico Border XXI Program. Draft Framework Document. EPA San Diego Border Office, 1996.

USEPA, 1976. *A Manual of Laws, Regulations, and Institutions for control of groundwater pollution.*

USEPA, 1973. *Identification and Control of Pollution from Salt Water Intrusion.*

USEPA, 1991. Groundwater. Volume I: Groundwater and Contamination. EPA 625/6-90/016^a.

USEPA, 1991. Groundwater. Volume II: Metodology. EPA 625/6-90/016b.

USEPA, 1991. Municipal Wastewater Reuse. Selected Readings on Water Reuse. EPA 430/09-91-022.

USEPA, 1990. Subsurface Contamination Reference Guide. EPA 540/2-90/011.

Wagner, Travis, 1996. *Contaminación: causas y efectos.* Ediciones Gernika, México.

Wright, Richard D.; Hepner, George; Brown, Christopher, 1994. *Geographic Information System for Mexico-United States Border Environmental Research and Management.* Institute for Regional Studies of the Californias.

XIV Ayuntamiento de Tijuana, 1995. *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población Tijuana.*

Zedler, Joy B., 1982. *The Ecology of Southern California Coastal Salt Marshes: A Community Profile.* Fish and Wildlife Service. US Department of the Interior. San Diego State University, San Diego.