



01177  
2ej

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**EVALUACION DE ASBESTOS EN AGUA POTABLE PARA DIEZ CIUDADES  
DE LA REPUBLICA MEXICANA**

**ARTURO CRUZ OJEDA** *TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN*

**T E S I S**

**PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DE LA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN INGENIERIA  
AMBIENTAL**

**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**1992**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# EVALUACION DE ASBESTOS EN AGUA POTABLE PARA DIEZ CIUDADES DE LA REPUBLICA MEXICANA

## CONTENIDO

	PAGINA
Resumen . . . . .	V
1.- Introducción . . . . .	1
1.1.- Objetivo general . . . . .	3
1.2.- Objetivos específicos . . . . .	3
1.3.- Resultados esperados . . . . .	3
1.4.- Alcances y Limitaciones . . . . .	3
2.- Generalidades sobre los asbestos . . . . .	4
2.1.- Composición . . . . .	4
2.2.- Propiedades . . . . .	4
2.3.- Usos . . . . .	5
2.4.- Producción . . . . .	8
3.- Asbestos en Agua Potable . . . . .	10
3.1.- Procedencia del asbestos en el agua . . . . .	10
3.2.- Productos de Asbesto-Cemento (A-C) . . . . .	12
3.2.1.- Fabricación de tuberías A-C . . . . .	13
3.2.2.- Características de la tubería . . . . .	14
3.3.- Efectos en la Salud por ingestión de fibras de Asbesto . . . . .	16
4.- La agresividad del agua como un factor de corrosión de la tubería de asbestos-cemento (A-C) . . . . .	19
4.1.- Mecanismo de corrosión . . . . .	21
4.2.- Inhibidores naturales de corrosión . . . . .	24
4.3.- Materiales sustitutos del asbestos . . . . .	25
5.- Metodología de Evaluación de Asbestos en Agua Potable . . . . .	27
5.1.- Selección de ciudades . . . . .	27
5.2.- Selección de sitios de muestreo . . . . .	27
5.3.- Toma de muestra . . . . .	28

5.3.1.- Frecuencia de muestreo . . . . .	28
5.3.1.1.- Número de muestras para análisis de asbestos . . . . .	29
5.3.1.2.- Número de muestras para análisis fisicoquímicos y parámetros requeridos . . . . .	29
5.3.1.3.- Número de muestras para metales y parámetros requeridos . . . . .	29
5.3.1.4.- Preservación de muestras . . . . .	29
5.4.- Pretratamiento de muestras de agua para análisis de asbestos . . . . .	30
5.5.- Descripción general del método de análisis por Microscopía Electrónica . . . . .	30
<b>6.- Presentación y Evaluación de Resultados . . . . .</b>	<b>37</b>
6.1.- Ciudad de Puebla . . . . .	37
6.1.1.- Aspectos Generales . . . . .	37
6.1.2.- Redes de distribución de agua potable en la ciudad de Puebla . . . . .	38
6.1.3.- Puntos de Muestreo de agua potable para análisis de asbestos . . . . .	39
6.1.4.- Resultados y discusión . . . . .	40
6.2.- Ciudad de Veracruz . . . . .	47
6.2.1.- Aspectos Generales . . . . .	47
6.2.2.- Redes de distribución de agua potable en la ciudad de Veracruz . . . . .	48
6.2.3.- Puntos de Muestreo de agua potable para análisis de asbestos . . . . .	50
6.2.4.- Resultados y discusión . . . . .	50
6.3.- Ciudad de Oaxaca de Juárez . . . . .	57
6.3.1.- Aspectos Generales . . . . .	57
6.3.2.- Redes de distribución de agua potable en la ciudad de Oaxaca de Juárez . . . . .	58
6.3.3.- Puntos de Muestreo de agua potable para análisis de asbestos . . . . .	60
6.3.4.- Resultados y discusión . . . . .	60

6.4.- Ciudad de San Luis Potosí . . . . .	68
6.4.1.- Aspectos Generales . . . . .	68
6.4.2.- Redes de distribución de agua potable en la ciudad de San Luis Potosí . . . . .	69
6.4.3.- Puntos de Muestreo de agua potable para análisis de asbestos . . . . .	71
6.4.4.- Resultados y discusión . . . . .	71
6.5.- Ciudad de Monterrey . . . . .	79
6.5.1.- Aspectos Generales . . . . .	79
6.5.2.- Redes de distribución de agua potable en la ciudad de Monterrey . . . . .	81
6.5.3.- Puntos de Muestreo de agua potable para análisis de asbestos . . . . .	83
6.5.4.- Resultados y discusión . . . . .	83
6.6.- Ciudad de Guadalajara . . . . .	90
6.6.1.- Aspectos Generales . . . . .	90
6.6.2.- Redes de distribución de agua potable en la ciudad de Guadalajara . . . . .	92
6.6.3.- Puntos de Muestreo de agua potable para análisis de asbestos . . . . .	94
6.6.4.- Resultados y discusión . . . . .	94
6.7.- Ciudad Juárez . . . . .	103
6.7.1.- Aspectos Generales . . . . .	103
6.7.2.- Redes de distribución de agua potable en Ciudad Juárez . . . . .	104
6.7.3.- Puntos de Muestreo de agua potable para análisis de asbestos . . . . .	105
6.7.4.- Resultados y discusión . . . . .	105
6.8.- Ciudad de Mexicali . . . . .	113
6.8.1.- Aspectos Generales . . . . .	113
6.8.2.- Redes de distribución de agua potable en la ciudad de Mexicali . . . . .	114
6.8.3.- Puntos de Muestreo de agua potable para análisis de asbestos . . . . .	115
6.8.4.- Resultados y discusión . . . . .	115

<b>6.9.- Ciudad de Mérida . . . . .</b>	<b>123</b>
<b>6.9.1.- Aspectos Generales . . . . .</b>	<b>123</b>
<b>6.9.2.- Redes de distribución de agua           potable en la ciudad de Mérida . . . . .</b>	<b>124</b>
<b>6.9.3.- Puntos de Muestreo de agua potable           para análisis de asbestos . . . . .</b>	<b>127</b>
<b>6.9.4.- Resultados y discusión . . . . .</b>	<b>127</b>
<b>6.10.- Ciudad de Culiacán . . . . .</b>	<b>135</b>
<b>6.10.1.- Aspectos Generales . . . . .</b>	<b>135</b>
<b>6.10.2.- Redes de distribución de agua           potable en la ciudad de Culiacán . . . . .</b>	<b>136</b>
<b>6.10.3.- Puntos de Muestreo de agua potable           para análisis de asbestos . . . . .</b>	<b>138</b>
<b>6.10.4.- Resultados y discusión . . . . .</b>	<b>138</b>
<b>7.- Conclusiones . . . . .</b>	<b>147</b>
<b>8.- Recomendaciones . . . . .</b>	<b>149</b>
<b>9.- Literatura citada . . . . .</b>	<b>151</b>
<b>10.- Índice de tablas . . . . .</b>	<b>157</b>
<b>11.- Índice de figuras . . . . .</b>	<b>161</b>

## RESUMEN

Los asbestos son materiales fibrosos formados por silicatos de magnesio, hierro, calcio, aluminio u otros elementos. Se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza en cantidades muy pequeñas, salvo en algunos lugares donde se encuentran formando grandes yacimientos, como es el caso de Cánada, Estados Unidos, Brasil, y Suiza entre otros países.

Aún cuando la explotación y comercialización de los asbestos ha disminuido últimamente, el consumo mundial actual asciende a más de seis millones de toneladas, utilizando México el 0.59% del total.

Las múltiples características que presentan los asbestos han favorecido su uso en un gran número de productos a base de asbesto, destacando entre éstos la fabricación de tuberías y tinacos de asbesto-cemento (A-C), muy utilizados por los países Latinoamericanos para transportar y almacenar agua potable.

La presencia de fibras de asbesto en el agua fue detectada inicialmente por Cánada, y Estados Unidos, encontrándose concentraciones de hasta 22 millones de fibras por litro (MFL) para el primero y de más de 100 MFL en algunos sitios para el segundo.

La principal vía de entrada de los asbestos al agua es por la degradación severa de las tuberías y tinacos de A-C, otras vías pueden ser la erosión geológica y la contaminación ambiental.

La información técnica que existe actualmente, está relacionada principalmente con el efecto cancerígeno que produce la inhalación de los asbestos. Las investigaciones que existen sobre la ingestión de éstos a través del agua u otro tipo de bebidas todavía no logran demostrar los riesgos que puede causar a la salud. No obstante, Estados Unidos de Norteamérica recomendó desde 1986, el estándar máximo de 7.1 MFL para asbestos en agua potable.

A pesar de lo anterior, existen algunas evidencias que han provocado que varios países desarrollados prohíban o restrinjan la fabricación de productos que usen asbesto, lo cual no ha sucedido aún en los países en vías de desarrollo.

En este estudio, se evaluó la calidad del agua de abastecimiento de diez ciudades de la república mexicana, correlacionando la presencia de fibras de asbesto y el índice de agresividad, además se hizo uso de otras variables de respuesta que pueden favorecer o interferir en el deterioro de las tuberías y tinacos de A-C.

Entre los resultados encontrados para las diez ciudades estudiadas, se observó que más del 90% de las tuberías de conducción y distribución de agua potable son de A-C. En ocho de

Las diez ciudades muestreadas, no se detectaron fibras de asbesto, lo que pone de manifiesto que las regiones donde están asentadas estas ciudades no existen depósitos de asbesto, y que además, la corrosión que presentan las tuberías de A-C, aún no es significativa.

En algunos sitios de los sistemas de suministro de agua de las ciudades de Guadalajara, Jalisco y Culiacán, Sinaloa, se encontraron fibras de asbesto. En la primera se encontró un racimo de fibras que no fue posible cuantificar y en la segunda la concentración encontrada fue de 32,344.5 fibras/L.

La presencia de fibras en el agua en la toma domiciliaria de la colonia Jalisco en Guadalajara, se debe a posibles residuos de A-C que se produjeron durante la instalación reciente de la red de abastecimiento, en tanto que en Culiacán, la procedencia de las fibras en el agua del tanque de rebombeo Pénjamo Alto y en la toma domiciliaria de la colonia La Libertad, es debida al deterioro de la tubería causada más por la antigüedad de ésta que por la ligera agresividad que presenta el agua (índice de agresividad de 11.47 y 11.45 respectivamente).

La concentración de fibras de asbesto encontradas en dos de los doce sitios muestreados en la ciudad de Culiacán, es tan baja que no representa un riesgo para el ser humano, más que se sabe que las fibras de asbesto (del tipo crisotilo) liberadas, tienen una estructura diferente a la matriz original, lo que disminuye un poco sus posibles efectos cancerígenos.

Aunque la concentración encontrada de asbestos en el agua, no representa por sí sola un problema de salud, es conveniente evaluar otras vías de entrada que pueden incrementar el riesgo potencial de contaminación por asbestos, principalmente en aquellas ciudades más densamente pobladas.

Durante el estudio se pudo observar, que la adición de cloro, aumentaba la tendencia del agua hacia la corrosividad. Si el suministro de agua se hace intermitentemente, entonces aumenta este fenómeno. Lo anterior, sugiere que se considere este aspecto, para evitar que con el tiempo las tuberías y tinacos se dañen y se facilite el desprendimiento de fibras.

Por otra parte, sería conveniente agilizar la revisión de la norma mexicana actual para asbestos en agua potable ya que no existe concordancia entre el límite de detección de asbestos por el método de microscopia electrónica de transmisión, el cual detecta 32,344.5 fibras/L y el límite máximo permitido para este parámetro que es de 3000 fibras/L y que es el que aparece en el Diario Oficial de la Federación de Diciembre 13 de 1989.



## 1.- INTRODUCCION

La contaminación de agua potable por asbestos ha sido estudiada recientemente en diferentes países del mundo. Se cuenta principalmente con información de Canadá y Estados Unidos de Norteamérica (EUA).

En Canadá se afirma que las fibras de asbestos presentes en el agua, proceden básicamente del subsuelo y que posiblemente una pequeña cantidad es incorporada por otra vía de entrada, como son las plantas manufactureras de diversos productos que contienen asbestos (tuberías, láminas, tinacos, filtros, empaques, trajes de bombero, pisos, balatas para frenos y embragues, entre muchos otros), el desgaste de casas y edificios impermeabilizados con asbestos y el deterioro de carreteras de asfalto con asbestos, son otros factores que posiblemente contribuyan a incrementar la concentración de fibras de asbestos en el agua. (10, 11, 12)

En E.U.A. se encontró que la presencia de fibras de asbestos en el agua potable se debía a dos razones, una que era de origen natural, y la otra que era causada por la degradación de la tubería de asbestos-cemento sujeto a las características agresivas del agua, lo que provocaba la liberación de fibras, incrementándose éstas con la antigüedad de la tubería de asbestos-cemento (A-C). (13)

Por otra parte, debido al posible riesgo de salud pública que representa la liberación de fibras de asbestos de diversos productos de asbestos-cemento, varios países desarrollados del mundo han llevado a cabo restricciones legales para prohibir, reducir o en su defecto sustituir a corto plazo los asbestos por otros materiales menos riesgosos. Tal es el caso de Australia, Estados Unidos, Finlandia, Canadá, Francia, Alemania, Japón, URSS y Nueva Zelanda entre otros. En tanto, Suecia y Holanda prohibieron el uso del asbestos desde hace varios años. (14)

En países en vías de desarrollo, el uso de productos de asbestos-cemento es muy extenso debido a los diversos beneficios que ofrece, además de su bajo costo y fácil instalación. No obstante lo anterior, en estos países no se han realizado estudios relacionados con la ingestión de asbestos, por lo que se desconoce su procedencia, concentración y efectos sobre la salud humana.

Las tuberías de asbestos-cemento que conducen agua potable en EU, cuentan con alrededor de 40 años de antigüedad, mientras que en Europa las tuberías de este material tienen más de 50 años. (15)

Tanto en E.U.A. como en Canadá se encontraron elevadas concentraciones de fibras de asbestos en el agua de suministro. En Canadá se presentaron valores superiores a los 22 millones de

fibras de asbesto por litro (MFL), y en Estados Unidos se reporta que la mayoría de los sistemas de suministro de agua, no están expuestos a concentraciones arriba de un MFL de asbesto. Sin embargo, en algunos casos se encuentran valores entre 1 y 10 MFL, y en circunstancias muy aisladas, se presentan concentraciones que rebasan los 50 MFL, situaciones que se presentan en algunos lugares de California, Washington, New York, Florida, Kentucky, Pennsylvania y otros estados americanos.

Actualmente no existen evidencias rigurosas que aseguren que la ingestión de fibras de asbesto en el agua de bebida cause problemas de salud pública. No obstante, Estados Unidos recomienda un nivel máximo para asbestos en el agua de 7.1 MFL, esto, para fibras mayores de 10 micras de largo. «3»

Como consecuencia de estas investigaciones, en la Ciudad de México se iniciaron estudios para determinar asbestos en el agua potable, estudio que estuvo a cargo del Departamento del Distrito Federal (DDF). Del trabajo se concluyó que en la red de distribución el valor máximo encontrado era de alrededor de 200,000 fibras por litro, en la zona del Cerro de la Estrella. Además se pudo identificar que de los 248 pozos monitoreados, 241 correspondían a pozos con agua agresiva y 57 con agua no corrosiva. «4»

El presente trabajo se desarrolló en el marco de dichas investigaciones y considerando la necesidad de conocer la situación actual en cuanto al contenido de fibras de asbesto en el agua potable no sólo en la ciudad de México, sino también en el resto del país, o al menos en las ciudades más representativas del mismo.

### **1.1.- Objetivo general:**

- Evaluar la calidad del agua potable de diez ciudades de la república mexicana, correlacionando el número de fibras de asbesto con el índice de agresividad.

### **1.2.- Objetivos específicos:**

- Investigar en la literatura técnica existente, el efecto del asbesto sobre la salud, especialmente cuando se usan tuberías y tinacos fabricados con asbesto-cemento.
- Determinar fibras de asbesto en el agua potable de diferentes ciudades del país.
- Evaluar el índice de agresividad del agua potable en diferentes ciudades del país.

### **1.3.- Resultados esperados:**

- Conocer el contenido de fibras de asbesto en el agua potable del país
- Evaluar la procedencia de los asbestos en el agua potable
- Conocer el mecanismo de incorporación de asbesto hacia el agua potable
- Proponer criterios y políticas en cuanto a calidad del agua potable, mediante la generación de información técnica.

### **1.4.- Alcances y Limitaciones:**

- Dado que el análisis de asbestos por microscopía electrónica es muy caro, y debido a que el recurso económico no es suficiente para monitorear periódicamente el agua potable de todas las entidades del país, se seleccionarán las diez ciudades más importantes de acuerdo al volumen de población.
- Aun cuando la realización de un solo muestreo no proporciona suficiente información para determinar el comportamiento de la tubería de asbesto-cemento, sí facilita el conocimiento del origen y la cantidad de fibras de asbesto del agua de suministro de cada ciudad pero de manera puntual.

## 2.- Generalidades sobre Los Asbestos

El asbesto o amianto es el nombre genérico de ciertos minerales que se encuentran distribuidos en menor o mayor cantidad en todas partes del mundo. El término asbesto es usado preferentemente en América Latina, en África, Asia y Norte de Europa, mientras que el nombre de amianto se usa principalmente en Canadá y en el resto del Continente Europeo. (2,14,20,44)

### 2.1.- Composición

Los asbestos son minerales fibrosos formados por silicatos hidratados combinados en varias proporciones con magnesio, hierro, calcio, aluminio, sodio y otros elementos. Las serpentinas y las anfíboles son los dos grupos más importantes por su valor comercial.

El grupo serpentina está formado por silicatos de magnesio, siendo el crisotilo (asbesto blanco) la variedad más común. Su fórmula es  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ , contiene de 12.5% a 14% de agua de cristalización y sus fibras son sedosas y fuertes, con longitudes de 0.32 a 15.24 cm. Cerca del 95% del asbesto comercial es de esta clase. (2,14)

El grupo de las anfíboles está constituido por silicatos de aluminio, magnesio, sodio, calcio y hierro, con un poco de agua en su composición. La fórmula general que representa este grupo es  $X_2-3Y_2(SiO_4)_2O_{10}(OH)_2$ , donde X y Y representan metales diferentes. Entre las principales variedades destacan la crocidolita (asbesto azul), antofilita, amosita, tremolita y actinolita, esta última de bajo interés comercial. (2,14)

### 2.2.- Propiedades

En la naturaleza muchos de los silicatos que forman los asbestos se encuentran en dos formas: cristalina y fibrosa, estos últimos son los que presentan las propiedades útiles para explotarse económicamente. Las fibras de asbesto son huecas o hilables, presentan alta resistencia a la tensión y gran flexibilidad, son incombustibles, resisten la corrosión y muestran una enorme resistencia a la tracción mecánica. (2)

Los asbestos blancos como el crisotilo son muy flexibles, resisten los álcalis, las altas temperaturas y son resistentes a los esfuerzos de tracción, soportando presiones entre 5600 y 7000 Kg/cm<sup>2</sup>. La característica distintiva de este tipo de fibras es su apariencia tubular o cilíndrica. (42)

Los asbestos azules como la crocidolita (silicato de sodio y hierro) presentan alta resistencia a la tracción, teniendo su valor máximo en el rango de 7000 a 21000 Kg/cm<sup>2</sup>. Presenta fibras duras pero quebradizas, es resistente al calor y a los ácidos, sus fibras tienen longitudes que varían de 2.0 a 75.0 cm.

Los asbestos grises como la antofilita y amosita son silicatos de hierro y magnesio, son menos resistentes a la tracción, variando su valor de 280 a 6300 Kg/cm<sup>2</sup>. Resisten más los ácidos y el calor que el crisotilo. La tabla 1 muestra la composición y las propiedades principales de los asbestos más usados comercialmente. (2,3,10,11) En la tabla 2 se enlistan las variedades de minerales fibrosos y no fibrosos para los dos tipos de asbestos: anfíbola y serpentina.

### 2.3.- Usos

El valor comercial de los asbestos depende del tipo de fibra, de la textura y de su longitud. El tipo crisotilo es más ampliamente usado en la fabricación de diversos productos. El grupo de las anfíbolas, aunque son más numerosas, tienen un uso comercial más reducido. (13)

Las múltiples características que presenta el asbesto han favorecido que en los últimos años su uso se haya extendido ampliamente principalmente en los países en vías de desarrollo, ya que actualmente en los países desarrollados, su uso está siendo limitado en una gran cantidad de productos, esto como consecuencia de las nuevas reglamentaciones que se están adoptando para proteger la salud pública, tanto por exposición ocupacional como por ingestión. (14,15)

Existe gran número de productos fabricados a base de asbesto, todos ellos son utilizados por la población en muchos de sus actividades cotidianas, así, tenemos productos de asbesto-cemento como tinacos, tuberías y láminas, productos de fricción como balatas de frenos y embragues, pisos vinílicos o de asfalto, materiales aislantes de calor y eléctricos, pinturas, impermeabilizantes, fabricación de empaques comunes en la industria automotriz, confección de trajes resistentes al calor como son trajes de bombero, de trabajadores de fundición y de corredores profesionales de autos, construcción de buques, piso de asbesto en los sistemas de aire acondicionado, refrigeradores, hornos, tostadores, lavadoras de ropa y de platos, entre otros muchos productos que llevan asbesto como agente reforzante o como aislante térmico. (2,10,17,40,42,55)

TABLA 1. COMPOSICION QUIMICA Y PROPIEDADES FISICAS DE LAS VARIEDADES COMERCIALES DE ASBESTO

	SERPENTINA		AMFIBOLAS		
COMPOSICION	Crisolito $Mg_3Si_4O_{11} - (OH)_4 \cdot H_2O$ 0	Antofilita $(Mg,Fe)_7Si_8O_{22} (OH)_2$ 0	Amosita b $(Fe,Mg) SiO_3$ 0 $(FeO,MgO) \cdot SiO_2$	Tremolita $Ca_2Mg_5Si_8O_{22} (OH)_2 \cdot 6 H_2O$ 2 CaO.5 MgO.- 8 SiO <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O	Crocidolita $MgFe_3^{xx}Fe_2^{xx}Si_4O_{22}(OH)_2$ 0 Na <sub>2</sub> O.3 FeO.- Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .8 SiO <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O
SiO <sub>2</sub> , %	37 - 44	56 - 58	49 - 53	51 - 62	49 - 53
MgO, %	39 - 44	28 - 34	1 - 7	0 - 30	0 - 3
FeO, %	0.0 - 6.0	3 - 12	34 - 44	1.5 - 5.0	13 - 20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	0.1 - 5.0	---	---	---	17 - 20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	0.2 - 1.5	0.5 - 1.5	2 - 9	1.0 - 4.0	---
H <sub>2</sub> O, %	12.0 - 15.0	1.0 - 6.0	2 - 5	0 - 5.0	2.5 - 4.5
CaO, %	Ind. - 5.0	---	---	0 - 18	---
Na <sub>2</sub> O, %	---	---	---	0 - 9	4.0 - 8.5
CaO + Na <sub>2</sub> O, %	---	---	0.5 - 2.5	---	---
Resistencia a la tracción de la fibra cruda, Kg/cm <sup>2</sup>	5 625 - 7 030	< 280	1 125 - 6 330	70 - 562	7 030 - 21 090
Flexibilidad	Flexible, suave, sedosa	Semiflexible a quebradiza	Bastante flexible a rígida y quebradiza	Semiflexible a rígida y quebradiza	Muy flexible a bastante rígida y quebradiza
Hilatura	buena	Muy mala	Regular a mala	Mala	Regular a mala
Resistencia al calor	Satisfactoria Por debajo de 480 °C	Muy buena	Buena	Bastante buena	Regular a mala
Resistencia a los ácidos	Mala	Buena	Buena	Buena	Buena
Color	Verde, gris a blanco	Pardo amarillento	Pardo amarillento	Blanco	Azul

FUENTE: Davila et al, 1987.

**TABLA 2. VARIEDADES DE MINERALES FIBROSAS Y NO FIBROSAS DE ASBESTOS**

FORMA ASBESTIFORME	FORMA NO ASBESTIFORME
<b>Serpentina</b>	
Crisotilo	Antigorita, Lizardita
<b>Anfibolas</b>	
Asbesto antofilita	Antofilita
Asbesto cummingtonita	Cummingtonita - grunerita
Grunerita (amosita)	
Crocidolita	Riebeckita
Asbestos tremolita	Tremolita
Asbestos actinolita	Actinolita

**FUENTE:** Code of Federal Regulations. Protection of Environment. 1990.

## 2.4.- Producción

Los más importantes productores de asbesto en el mundo son Canadá, Unión Soviética y Africa del Sur, lo siguen en importancia Italia, Brasil, Colombia y Estados Unidos principalmente en los estados de Arizona, California, Georgia, Carolina del Norte, Carolina del Sur y Vermont. (23)

En 1979, la producción mundial de asbesto ascendió a más de 5.5 millones de toneladas. Como resultado de la emisión de reglamentos y la adopción de políticas en cuanto a la reducción del uso de asbesto debido a sus posibles efectos sobre la salud, la producción en 1983 se redujo a 4 millones de toneladas, correspondiendo el 75% a los países socialistas y en vías de desarrollo y el 25% restante a los países industrializados. (24)

No obstante lo anterior, para 1984 Estados Unidos era el principal consumidor de asbestos, con cerca de 226,000 toneladas, procedente en un 90% de crisotilo de Canadá y un 10% de crocidolita y amosita de Africa del Sur. Para 1986, el consumo de Estados Unidos fue de 112,000 toneladas lo que nos indica que el asbesto posiblemente está siendo sustituido por otros materiales. (25)

Según Spurny, en 1989 el consumo mundial de asbestos ascendió a más de 6 millones de toneladas por año. En México se cuenta con algunos yacimientos de asbesto, principalmente en Oaxaca, San Luis Potosí, Tamaulipas y Sonora. Sin embargo, estas minas no son explotables debido al tamaño reducido de las fibras que impide su aprovechamiento. Por este motivo, el asbesto que se usa en el país tiene que ser importado de Canadá en un 90% para crisotilo y un 10% para la crocidolita, amosita y tremolita proveniente de Africa del Sur. (26,27)

Las industrias fabricantes de productos de asbesto están distribuidas en el país, principalmente en el Distrito Federal, en el Estado de México, Monterrey, Guadalajara y en la frontera norte, donde existen maquiladoras que tejen asbesto, principalmente en Ciudad Juárez, Chihuahua. (28,29)

En la tabla 3 se enlistan los volúmenes de importación, los costos y los principales proveedores de asbesto para México, en años anteriores.

La tabla 4 indica los costos debidos a la importación de asbesto y los países de donde procede el mismo.



**TABLA 3. IMPORTACION DE ASBESTO EN MEXICO, COSTOS Y PRINCIPALES PROVEEDORES EN ORDEN DE IMPORTANCIA**

ANO	ASBESTO (Toneladas)	COSTO EN MILLONES DE PESOS	PRINCIPALES PAISES PROVEEDORES
1983	32 862	2 685	Canadá y Estados Unidos
1984	53 565	6 257	Canadá, U.S.A., y Reino Unido
1985	54 869	8 982	Canadá, U.S.A., y Reino Unido
1986	28 339	7 691	Canadá, U.S.A. y Brasil
1987	38 457	25 576	Canadá, U.S.A., y Reino Unido
1988	34 055	40 433	Canadá, U.S.A., Brasil, Reino Unido y Suiza
1989	35 428	43 760	Canadá, U.S.A., Brasil, Reino Unido y Suiza

FUENTE: La Minería en México, 1991.

**TABLA 4. COSTOS DE IMPORTACION DE ASBESTOS EN MEXICO Y PAISES PROVEEDORES PARA EL AÑO 1989.**

PAIS	COSTO EN MILLONES DE PESOS
Canadá	17 657
Brasil	8 019
U.S.A.	5 786
Suiza	5 534
Reino Unido	2 385
Italia	519
Japón	203
Alemania (R.F.A.)	1
Otros países	3 656

FUENTE: La Minería en México, 1991.

### 3.- Asbestos en Agua Potable

Los primeros reportes sobre la presencia de gran número de fibras de asbesto en el agua de suministro y otras bebidas fueron emitidos en Quebec, Canadá en 1971, posteriormente en 1973, varios laboratorios de los Estados Unidos detectaron gran cantidad de fibras de asbesto en el agua potable. Las concentraciones encontradas en 406 ciudades americanas indican que el 80% corresponde a menos de 1 millón de fibras por litro (MFL), un 10% hasta 10 MFL y el 10% restante a más de 10 MFL, como es el caso del área de la Bahía de San Francisco con más de 100 MFL y Everest, Washington con un rango de 37 - 560 MFL, y Dulluth, Minnesota con 1 - 74 MFL. (3,14,23)

El 90% de los suministros de agua en Nueva York contenían concentraciones menores de 1 MFL, en tanto que en los sistemas de Florida, Kentucky y Pennsylvania se han detectado concentraciones de crisotilo de 10 MFL, un caso particular detectado en Woodstock, N.Y., en 1985 mostró concentraciones mayores a las 304 MFL. (42,55)

En Ontario, Canadá, los más altos niveles encontrados de fibras de asbesto fueron en Thunder Bay, Kirkland Lake y Hearst con valores detectados de 3, 3.5 y 22 MFL respectivamente. (17)

Todos los resultados de asbestos fueron obtenidos usando análisis de Microscopía Electrónica de Transmisión. (42)

#### 3.1 Procedencia del asbesto en el agua

La presencia de fibras de asbesto en el agua de suministro se debe posiblemente a varias vías de entrada, una de ellas, la que se considera la principal, es la degradación severa de la tubería de asbesto-cemento, muy usada en la red de distribución de agua potable. Otras factibles rutas de entrada son la erosión geológica y la contaminación ambiental.

Varios factores son los que contribuyen a la liberación de fibras de asbesto de las tuberías y tinacos de asbesto-cemento, entre ellos tenemos al suministro inestable del agua, las características fisicoquímicas del agua, la velocidad y presión del agua a través de la tubería, la presencia de agentes oxidantes como el cloro que se adiciona al agua para desinfectarla y la antigüedad de la tubería que puede facilitar el incremento de fibras de asbesto en el agua. (22,33)

Muchas de las tuberías que existen en los sistemas de abastecimiento de los Estados Unidos, son de procedencia italiana, adquiridas en el año de 1930, otras fueron fabricadas en el país e instaladas en los años 1950 - 1960, esto hace suponer que la edad de la tubería es mayor de 30 años, lo que indica que existe gran posibilidad de que la tubería esté tan deteriorada que se facilite el desmenuzamiento de las fibras de asbesto. (13)

Los asbestos están distribuidos en rocas; ígneas y metamórficas. La roca tipo serpentina es la principal fuente de crisotilo, el cual es el tipo de asbesto más usado en el mundo. El contenido estimado de asbesto en las rocas es de 5 a 6 %. En Canadá el contenido de asbesto en los lechos rocosos es de 10%. La extracción de fibra se realiza generalmente en minas a cielo abierto y en algunos casos se abren túneles siguiendo los depósitos de fibras de asbesto. Prácticamente se considera que el asbesto es un componente común de la corteza terrestre y de las aguas superficiales. (2,14,46)

La erosión natural de las rocas que contienen asbesto constituye la fuente de fibras de asbesto en algunas aguas de suministro, un ejemplo de esto, sucede en el área de San Francisco, California, cerca de Seattle, Washington, en regiones de Nueva York y Kentucky entre muchos otros estados americanos y canadienses.

En el estudio realizado por Hayward, 1984, se indica que la concentración de fibras de asbesto en aguas superficiales muestran variaciones estacionales, aumentando en las épocas siguientes a las etapas de lluvia intensa en las vertientes de las montañas. También se encuentran asbestos en aguas de pozos que se recargan a través de roca serpentina.

En cuanto a la contaminación del agua por asbestos debido a circunstancias ambientales, tenemos que muchas veces la inadecuada eliminación de desechos sólidos en tiraderos a cielo abierto puede ocasionar liberación de fibras de asbesto y contaminar los cuerpos de agua. Un caso de este problema se tiene en el agua del Lago Superior (EU), contaminado por fibras de asbesto de tipo anfíbola, encontrándose que el agua del lago que se usa para suministro de las ciudades de Duluth, Two Harbors y Beaver Bay, Minnesota, contiene 600, 200 y 92 MFL respectivamente. (43)

También el desgaste del material usado para la pavimentación de vías a base de asfalto (contenido de asbesto de 10g/Kg), la utilización de filtros de agua a base de asbesto, el uso de humidificadores tipo nebulizador, la evaporación de residuos con asbesto, la liberación de fibras en el desgaste de los

materiales de fricción, y de las paredes de casas prefabricadas con asbesto-cemento son otras de las muchas rutas de entrada de fibras de asbesto al agua. (14.4.63)

### 3.2.- Productos de Asbesto-Cemento (A-C)

La industria del A-C es de gran importancia en el país, ya que representa el 83% del mercado, con un consumo de 37,700 toneladas. (14) El asbesto-cemento es una mezcla de agua, cemento y fibras de asbesto con la posible adición de sílice. Las fibras de asbesto en el cemento actúan como las varillas de acero en el concreto, sólo que en toda la estructura y de manera uniforme. Esta mezcla de asbesto-cemento-agua presenta las propiedades características del concreto y todas las propiedades del asbesto.

Las notables propiedades de los materiales de asbesto-cemento permiten soportar cargas uniformemente distribuidas o alternadas, esto gracias al refuerzo de las fibras de asbesto. La resistencia mecánica de los productos de A-C está relacionada con la calidad y la cantidad de asbesto que contengan. El contenido de fibras de asbesto en estos productos varía de 6 al 15% y depende de la calidad del producto requerido y del proceso de fabricación. (14)

La gran durabilidad y bajo costo que tienen los productos de A-C son las razones principales que han favorecido su elevada producción y uso extendido. Los principales productos de este tipo son las tuberías, las láminas y los tinacos de asbesto-cemento. La producción en el país asciende a 94 mil Km de tubería instalada, 360 millones de m<sup>2</sup> de láminas para techos de casas habitación y 6 millones de tinacos que dan servicio a más de 30 millones de personas. (14)

El empleo de tuberías de asbesto-cemento para la conducción de agua es muy común en las redes de distribución de agua potable de diferentes países especialmente en aquéllos en vías de desarrollo.

También se tiene conocimiento del uso de gran cantidad de tinacos de asbesto-cemento que sirven como depósitos de agua; éstos son muy útiles en la mayoría de las casas y edificios, debido a que la presión del agua en las tuberías no es constante y en algunos lugares el servicio es interrumpido durante 12 a 24 horas.

### 3.2.1.- Fabricación de tuberías de asbesto-cemento (A-C)

Las materias primas indispensables para la fabricación de tuberías son las siguientes: fibras de asbesto, cemento Portland agua y sílice. Los asbestos más utilizados son el crisotilo, la crocidolita y la amosita, con la mezcla de éstos, se obtienen los resultados requeridos en resistencia a la flexión, a la presión hidráulica y el aplastamiento.

El cemento Portland es un tipo de cemento obtenido de la fusión incipiente de materiales arcillosos y calizas que contengan óxidos de calcio, silicio, aluminio y hierro en cantidades convenientemente calculadas, y sin más adición posterior que yeso sin calcinar y agua, así como otros materiales que no excedan el por ciento del peso total. (62)

El agua es importante porque sirve como medio de conducción y homogenización, e interviene en el proceso fisicoquímico de reacción del cemento, es decir, mejora la afinidad electroquímica del asbesto y el cemento. (2)

El sílice es un material usado en la fabricación de los tubos que son fraguados en autoclave. Este material se conoce también como arena sílica, está compuesto por 96% de dióxido de silicio y 4% de otros materiales. Se obtiene de areniscas, conglomerados y cuarzo. En México los yacimientos más importantes de sílice son los conglomerados, éstos se localizan en los estados de Veracruz, Hidalgo y Aguascalientes. (62)

Las tuberías de asbesto-cemento están compuestas por 85 - 90% de cemento Portland y de 10 a 15% de fibras de asbesto, según la calidad requerida del tubo, es decir, cuando se requiere mayor resistencia mecánica se usan combinaciones de fibras de asbesto. Generalmente en una relación de 4 a 1 para el caso de crisotilo y crocidolita. (12)

La mezcla de las materias primas forma una pulpa de alta consistencia, la cual es procesada para formar una película que luego se enrolla en un mandril de acero perfectamente liso, el ancho de la película dará la longitud del tubo que se va a fabricar. Durante la formación del tubo es necesario mantener una presión adecuada para obtener un tubo con textura homogénea y compacta.

Una vez formado el tubo, se separa del mandril y se procede al precurado, que consiste en una operación de fraguado inicial en donde se somete el tubo a rotación controlando la temperatura y la humedad; con esto se logra el endurecimiento del tubo. El fraguado final es de dos tipos, uno natural y otro en autoclave. El natural consiste en mantener el tubo en un recinto con 10 % de humedad por medio de regaderas o sumergido en grandes tanques de agua el tiempo necesario varía según el diámetro del tubo.

El fraguado en autoclave consiste en someter el tubo a una presión de vapor saturado durante determinado tiempo, a diferencia del tubo fabricado con fraguado natural, el tubo para fraguado en autoclave debe contener sílice, pues la adición de este compuesto es fundamental para la reacción que se produce a esa temperatura, evitando roturas superficiales.

Una vez terminada esta operación al tubo se le hace su cople, se tornea y se somete a pruebas de flexión, de resistencia a presión hidráulica (sometiéndolos a tres veces la presión a la que van a trabajar), de rotura a presión externa y de columna (prueba de humectividad, permeabilidad y porosidad del material). (14.42)

En la fabricación de tinacos, los fabricantes usan su propia formulación, no obstante todos usan moldes y las operaciones son por lo general manuales y por vía húmeda. Se estima que el contenido de asbesto en estos productos es de 360 g/Kg. (14)

### 3.2.2.- Características de la tubería

Las tuberías de asbesto-cemento son usadas ampliamente por las siguientes características: es prácticamente inerte, resistente a la corrosión interna y externa, resiste la acción de las sales y los ácidos del subsuelo, es muy flexible debido al buen ángulo de deflexión de las juntas, lo que le permite resistir mayor los asentamientos irregulares (por ejemplo sismos), no es buen conductor de la electricidad, aunque es resistente a la tuberculización, la antigüedad de la tubería puede favorecerla, debido a la tersa superficie del tubo, presenta elevada y constante capacidad de flujo al tener ligeras pérdidas de presión a lo largo de la línea de conducción.

Otras características de estas tuberías son su bajo peso y su facilidad de manejo e instalación, además de tener gran durabilidad y bajo costo.

Las limitantes que se conocen para no usar tuberías o tinacos de asbesto-cemento son la facilidad de ruptura durante el transporte, colocación e instalación (éste puede ser resuelto si se dan los cuidados necesarios).

Por otra parte, la tubería puede interactuar con aguas con alto contenido de hierro y manganeso formando óxidos de hierro y manganeso, aunque esto no podría considerarse como una limitante si no se rebasan ciertos límites. (47.42)

Las tuberías de asbesto-cemento se clasifican de acuerdo a la presión de trabajo, a su diámetro y a su tipo de curado (tratamiento especial para tuberías de asbesto-cemento), con o sin adición de sílice.

Con respecto a la presión de trabajo, los tubos se clasifican en:

clase A-2.5  
clase A-5  
clase A-7  
clase A-10 y  
clase A-14

como tubos de uso normal. Se pueden fabricar también tubos de otras clases según los requerimientos del comprador. De acuerdo al diámetro, los hay desde 2 hasta 36 pulgadas.

Respecto al curado con o sin adición de sílice, se clasifican en Tipo I y Tipo II. Para esta clasificación se tienen que considerar factores como características químicas del agua distribuida, características químicas del manto de agua sobre el cual se asientan los tubos y la presencia de sulfatos solubles no ácidos, tanto en el exterior como en el interior.

El Tipo I es curado naturalmente y es atacado en menor o mayor grado por los sulfatos. El Tipo II es curado en autoclave, lleva sílice y resiste elevadas concentraciones de sulfatos solubles, hasta 10,000 mg/L. (50.50)

Lo anterior justifica el hecho de que las tuberías de asbesto-cemento se usen extensamente en los países latinoamericanos sobre todo porque esta es una forma de resolver sus problemas en cuanto al servicio de agua potable, y conducción de aguas residuales de una manera segura, económica y duradera. Caso que no sucede con los países desarrollados que tienen la posibilidad económica de efectuar cambios de tubería por lo menos cada 15 años. (50)

### 3.3.- Efectos en la salud por ingestión de fibras de asbesto.

Las principales vías de entrada de las fibras de asbesto al organismo humano son la inhalación y la ingestión. Los riesgos por inhalación de asbestos están bien documentados, especialmente en el ambiente ocupacional, en tanto que los riesgos por la ingestión de fibras de asbesto se están discutiendo en la actualidad. De hecho, existen muchas dudas sobre si el agua potable transportada por tuberías de asbesto-cemento presenta riesgos para la salud por estar contaminada con fibras de asbesto. (44.222)

El potencial cancerígeno del asbesto está relacionado con el tamaño de las fibras, siendo las largas y finas las más peligrosas. Estudios realizados por Weeber et al., en 1989 en el agua potable de Woodstock, N.Y., indican que las fibras de la tubería de asbesto-cemento fueron más largas que las de las fuentes naturales. Las fibras más largas encontradas en el agua de esta tubería deteriorada fueron en algunos casos mayores de 50 micras, en tanto que en las fuentes naturales cercanas se detectaron fibras apenas un poco mayores de 10 micras. El tipo de fibras identificadas en esta localidad fue el crisotilo y la crocidolita. (44) La contaminación del agua por asbestos (concentraciones de 100 a 300 MFL) en este lugar, fue un caso aislado que se solucionó con el cambio de tubería de asbesto-cemento a hierro fundido. (45)

Generalmente en Estados Unidos, el tamaño promedio de la fibra de crisotilo encontrada en el agua de suministro que fluye a través de tubería de asbesto-cemento, es de 4 micras, en tanto que las fibras derivadas de la erosión natural es de 1 micra. Cabe mencionar que en este país la crocidolita no es tan abundante como el crisotilo, y su presencia se debe en su mayoría al deterioro de las tuberías. (46.22.43)

Los estudios epidemiológicos realizados hasta el momento sobre la salud humana, indican que los altos niveles de asbesto encontrados en el agua de Norteamérica no muestran una posible relación con el aumento del cáncer gastrointestinal. Sin embargo, esta posible conexión no debe ser descartada, ya que algunos trabajos realizados con animales revelan la penetración de los asbestos ingeridos hacia las regiones gastrointestinales.

Por otra parte, Conforti et al., en 1981 reportaron haber encontrado relaciones significativas entre el contenido de crisotilo del agua potable y los casos de cáncer de páncreas, estómago, tracto digestivo y esófago en un ámbito de 13 a 58 MFL. A este respecto, los autores sugieren continuar las



Investigaciones para verificar si otros factores tales como la edad, el sexo, el contacto ocupacional con el asbesto y el hábito de fumar, contribuyen al desarrollo de estas enfermedades.

Runado a lo anterior, es posible que el aumento de cáncer en algunas ciudades de Estados Unidos tenga conexión con las altas concentraciones de asbesto en el agua potable de ciudades como San Francisco, Kentucky, Two Harbors, Duluth y Everett, entre otras, que presentan en el agua concentraciones superiores a los 50 MFL. (43)

No obstante, en otros estudios realizados en Canadá, se demostró que la administración intravenosa de asbesto en ratas y ratones en altas concentraciones de crisotilo producían poco efecto sobre el promedio de sobrevivencia. Las dosis empleadas fueron de  $1.6 \times 10^{10}$  fibras /Kg en un periodo de 4 semanas. En este lapso de tiempo, ningún efecto cancerígeno fue observado en ratas, por otra parte, aunque los ratones sobrevivieron bien, pudo observarse carcinogenicidad posiblemente relacionada con la dosis, el tiempo de ingestión y el sexo del animal. Como resultado de este trabajo, se sugirió efectuar más pruebas sobre animales empleando dosis medianamente altas como  $8 \times 10^6$  fibras /Kg. (17, 22)

En estudios realizados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), revelan un ligero aumento en el riesgo de pólipos (tumores blandos) intestinales benignos en ratas que fueron alimentadas con asbestos. Como resultado de estas investigaciones surgió el estándar recomendado para asbestos en agua potable que es de 7.1 MFL, esto, para fibras de más de 10 micras de largo. (23, 24)

Sin embargo, los estudios realizados en Canadá que mostraron que no existe ninguna asociación entre la ingestión de agua con asbesto y las enfermedades cancerígenas, condujeron a la conclusión de que no es necesario establecer un nivel estándar para asbestos en el agua potable, máxime que no existe información epidemiológica completa. (27)

Los efectos biológicos de varios asbestos parecen relacionarse con sus propiedades físicas y cristalográficas, ensayos sobre citotoxicidad y mutagenicidad en cultivos celulares con tres tipos de asbestos (amosita, crocidolita y crisotilo), no produjeron mutaciones en los cultivos de células epiteliales de hígado de rata.

La citotoxicidad del crisotilo puede relacionarse con el contenido de magnesio. Varios efectos de este mineral se cree que son el resultado de la fuerte carga positiva que este catión introduce sobre la superficie de la fibra.

En el caso de anfíbolos como la amosita y la crocidolita, la citotoxicidad es menor que la del crisotilo; estos minerales también absorben sustancias biológicas de fluidos y tejidos "in vivo".

Craighead et al., en 1980, mencionaron que "in vitro" los ácidos y las bases afectan las propiedades superficiales de las fibras de asbesto, de tal manera que la membrana plasmática de la célula es alterada.

Existe un mayor riesgo potencial de salud para las fibras de asbesto tipo anfíbola que para las serpentinas como el crisotilo, esto parecería ventajoso para las tuberías de asbesto-cemento que transportan agua potable, sin embargo, no deja de ser un riesgo que necesita ser probado. (46)

Los criterios de calidad de agua en organismos de diferentes países en lo relativo al asbesto en agua potable se enlistan en la tabla núm. 5.

TABLA 5. CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA PARA ASBESTOS EN AGUA POTABLE.

INSTITUCION O PAIS	LIMITE PERMISIBLE DE ASBESTO EN AGUA POTABLE
OMS, 1984	No determinado
EPH, 1986	7.1 MFL con longitud mayor a 10 micras
CANADA, 1987	Los datos indican que no es necesario definir un criterio numérico
MEXICO, 1989	3000 fibras /L*

\* Dato no representativo

FUENTES: CEPIS, 1988 y DIARIO OFICIAL, MEXICO, Dic. 1989.

#### 4.- La agresividad del agua como factor de corrosión de la tubería de asbesto-cemento.

Antiguamente se creía que la tubería de asbesto-cemento por ser de origen mineral no sufría el fenómeno de la corrosión, característico de las tuberías metálicas cuando son expuestas a diferentes medios sin ninguna protección. Sin embargo, en la actualidad es conocido el hecho de que las tuberías de asbesto-cemento se comportan en forma semejante a otros tipos de tubería, una excepción es la tubería de PVC. (B.42)

En el año de 1974, La American Water Works Association (AWWA) atendió los primeros problemas relativos a la presencia de fibras de asbesto en el agua de suministro, estas fibras fueron liberadas de las paredes de las tuberías de asbesto-cemento. El origen de las fibras fue principalmente el fuerte deterioro de las tuberías causado por las condiciones agresivas del agua que circulaba a través de ese conducto. Con el propósito de controlar la calidad del agua que pasa por esas tuberías, la AWWA estableció el criterio del índice de agresividad del agua (IA), aplicado a los diferentes tipos de tuberías de asbesto-cemento.

El IA se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$IA = pH + \log (\text{Alc. total} \times \text{Dur. Ca})$$

donde:

pH = es el grado de acidez o alcalinidad del agua  
Alc. total = alcalinidad total en mg/L como  $\text{CaCO}_3$   
Dur. Ca = Dureza de Calcio en mg/L como  $\text{CaCO}_3$

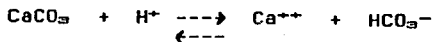
De acuerdo a este índice, las aguas con valores de IA menores e iguales a 10 se consideran muy agresivas para tuberías en servicio. Las aguas con valores de IA entre 10.0 y 11.9 son aguas moderadamente agresivas para tuberías tipo II. Las aguas con valores de IA mayores o iguales a 12, son aguas no agresivas para tuberías tipo I y II.

Millete et al. (1980), manejaron estos criterios en forma simplificada, es decir, las aguas con valores de IA menores de 10 son muy agresivas y las aguas con valores de IA mayores de 12 son aguas no agresivas. Con base en lo anterior, el autor

menciona que el 16% de los suministros de agua potable en los Estados Unidos poseen aguas muy agresivas, lo que puede causar la liberación de fibras de asbesto.

Otros índices de corrosividad muy empleados en la práctica para determinar la tendencia de un agua a la corrosión o a la incrustación, son los índices de estabilidad de Ryznar y de Langelier, ambos determinan el pH al cual el agua está saturada con  $\text{CaCO}_3$  para un contenido dado de calcio y alcalinidad. (21)

La ecuación fundamental que expresa lo anterior es



en el equilibrio químico no se disolverá ni se depositará carbonato de calcio en el interior del tubo.

Cuando el pH del agua está por debajo del valor de equilibrio, no se forman capas protectoras de  $\text{CaCO}_3$ , y por tanto habrá libre interacción de la tubería con el agua. Las aguas de este tipo se caracterizan por bajos contenidos de dureza y alcalinidad, y altos contenidos de  $\text{CO}_2$  libre. También pertenecen a este tipo las aguas tratadas por coagulación o ablandadas por intercambio iónico, o bien, aquéllas que son desmineralizadas.

En caso de que el pH esté por encima del valor de equilibrio, se formarán depósitos de carbonato de calcio en las tuberías, lo que disminuirá la capacidad de las mismas, y en ocasiones (si las aguas son excesivamente alcalinas), puede producirse el fenómeno de la tuberculización, que consiste en ir disminuyendo las paredes del tubo hasta llegar a su rotura.

Es sabido que el punto de equilibrio varía con la temperatura y por lo tanto no es posible alcanzar un balance perfecto al mismo tiempo para los sistemas de aguas fría y caliente. Además, la ecuación de equilibrio requiere la introducción de constantes de equilibrio, las cuales también varían con la temperatura y contenido de sustancias disueltas.

El valor de pH asociado con el equilibrio de carbonato de calcio se denomina pH de saturación (pHs) y puede calcularse mediante tablas y nomogramas, o bien, puede determinarse por pruebas de laboratorio.

La corrosividad del agua muchas veces se calcula con base en el índice de saturación de carbonato de calcio (IS). Este criterio fue desarrollado por Langelier para determinar de manera más rápida la estabilidad química del agua. Este índice de saturación se expresa como

$$IS = pH - pH_s$$

Cuando el IS es igual a cero, el agua está en equilibrio, si el IS es mayor que cero el agua está sobresaturada de carbonato de calcio y por tanto hay precipitación de este compuesto y escasez de bióxido de carbono. Un valor de IS menor que cero indicará que el agua no está saturada con carbonato de calcio o que tiene exceso de  $CO_2$ , lo que tenderá a disolver las capas o depósitos existentes de  $CaCO_3$ . (21.42)

#### 4.1.- Mecanismo de corrosión de la tubería de asbesto-cemento

Aun cuando el asbesto está íntimamente unido a la estructura del cemento en las tuberías de asbesto-cemento y uniformemente distribuido en toda su masa, el tiempo, las características fisicoquímicas del agua y la velocidad de flujo de ésta intervienen en la modificación de la estructura de la tubería, provocando además la liberación de fibras de asbesto de la tubería hacia el agua que pasa a través de ella.

El fenómeno natural provocado por el contacto del agua con la tubería de asbesto-cemento y otro material metálico en un determinado lapso de tiempo es llamado corrosión. "4" Este sucede en dos formas: por lixiviación (disolución de los compuestos solubles del cemento) y por absorción. La lixiviación del cemento hacia el agua es independiente de la calidad del agua en muchas aguas naturales, a menos que el agua sea extremadamente dura, muy ácida o muy alcalina.

El asbesto, al igual que el concreto tiene la propiedad de absorber líquidos, es decir, es muy poroso, esta propiedad se incrementa por la lixiviación. Los primeros materiales lixiviados son los óxidos de calcio, los silicatos y los aluminatos. (4.41.47) La velocidad de lixiviación es controlada por las leyes de difusión de Fick. La lixiviación del asbesto-cemento expuesto al agua ocurre continuamente y de manera lenta por largos períodos de tiempo. En tuberías que transportan agua, la lixiviación es indudable al aumentar la alcalinidad, el pH y el contenido de calcio. Si el pH del agua es neutro, la lixiviación es lenta y si el pH es muy alto la lixiviación se torna extremadamente lenta.

Spurny (1989) menciona que el asbesto-crisotilo no es completamente inerte a fluidos ácidos y biológicos, además también indica que el magnesio es el principal material lixiviado. Como resultado de este proceso, las características químicas y superficiales de las fibras de asbesto se alteran sustancialmente, de manera tal que se considera que estas fibras son menos cancerígenas que las fibras originales. (24-57)

El crisotilo tiene una marcada hidrofiliad, mientras que la amosita presenta cierta hidrofobicidad. Esta característica también la presenta el cemento Portland, lo que facilita la lixiviación de las paredes de la tubería de asbesto-cemento, la velocidad de lixiviación en tuberías sin recubrimiento puede calcularse mediante la fórmula:

$$R_{L} = 50 \times 10^{-6} \frac{P_{L}}{\rho_{1}} \cdot \frac{\Delta C'}{t}$$

donde:

$R_{L}$  = velocidad de lixiviación en pulgadas de sólido por año, después de T años.

$P_{L}$  = porosidad promedio después de T años, de una capa a través de la cual la lixiviación toma lugar.

$\rho_{1}$  = gravedad específica del sólido disuelto o la densidad en gr/cm<sup>3</sup>.

$\Delta C'$  = reducción en la concentración en ppm de soluto a través del espesor t en pulgadas, y

t = espesor en pulgadas de la capa a través de la cual se lleva a cabo la lixiviación.

La lixiviación de las tuberías de asbesto-cemento sometidas a concentraciones de ácido sulfúrico de 1,600 ppm durante 20 días produjeron más del 12% de lixiviados que las tuberías de concreto, y después de 37 días la cantidad fue mayor del 25%. Con soluciones diluidas, se redujo notablemente la lixiviación, con soluciones del 1% de sulfato de sodio, la cantidad lixiviada en los primeros días fue de cerca del 17% o mayor para las tuberías de asbesto-cemento, que para las de concreto.

Cuando las tuberías de asbesto-cemento están en contacto con ácidos fuertes o soluciones de sulfatos, los gradientes de concentración se elevan por los iones hidrógeno y sulfato, los cuales promueven la difusión de estos iones hacia el interior de los poros del cemento hidratado, donde las reacciones se llevan a cabo para removerlos. Los iones hidrógeno reaccionan con algunos de los hidroxilos del óxido de calcio libre y los sulfatos pueden precipitar como sulfato de calcio o sulfoaluminato de calcio. El

efecto neto es el incremento del gradiente de concentración de los constituyentes disueltos del cemento hidratado y el aumento de la velocidad de lixiviación.

Las altas concentraciones de sulfatos de las aguas en contacto con el cemento hidratado no solamente aumentan la velocidad de corrosión del cemento, sino que también pueden desintegrarlo y por tanto, esto favorecerá la liberación de fibras de asbesto que inicialmente estaban fuertemente unidas a la matriz de asbesto-cemento. (6,24) Durante la hidratación del cemento, los sulfatos se combinan con aluminio y óxido de calcio formando sulfoaluminato de calcio. Si después de la fijación hay una apreciable cantidad de aluminato tricálcico en el cemento hidratado (más del 5%), el cemento no tendrá alta resistencia a los sulfatos. Por otro lado, también existe evidencia de que el óxido de calcio hidratado libre en el cemento hidratado es el factor predominante en la determinación de la resistencia a los sulfatos.

La absorción de agua con sustancias tales como los sulfatos, los cuales reaccionan con los materiales solubles en los poros del cemento, dañan el cemento hidratado. La velocidad de corrosión en este caso dependerá de la cantidad y carácter de los materiales solubles en el cemento hidratado, de la porosidad de la tubería de asbesto-cemento y de la composición del agua que está en contacto con las paredes del tubo.

En la tabla 6 se muestra la clasificación de aguas de acuerdo a su composición.

TABLA 6. CLASIFICACION DEL AGUA DE ACUERDO A SU COMPOSICION

TIPO DE AGUA	PRINCIPALES COMPONENTES
INCRUSTANTE	Elevadas concentraciones de $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ , presencia de sulfatos, Fe, Mn y durezas mayores de 200 mg/l
CORROSIVA	Aguas con baja mineralización presencia de $\text{Cl}^-$ , $\text{CO}_2$ , agentes oxidantes disueltos como $\text{O}_2$ y cloro residual
SALOBRE	$\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{F}^-$ y otras sustancias.

En el estudio realizado por S. ISSA (1990) en tuberías de asbesto cemento que conducen aguas dulces y salobres, se indica que las tuberías desarrollan roturas longitudinales dentro de un periodo de 1 a 10 años. Estas roturas o agrietamientos son causadas por factores tales como el contenido de humedad, las condiciones de almacenamiento y la reacción química de la mezcla asbesto-cemento. Esta investigación mostró que el contenido de humedad es el principal factor que ocasiona el rompimiento o agrietamiento de la tubería. La absorción física del agua hacia los poros del cemento, puede reducirse mediante el recubrimiento de las tuberías con un material impermeable y flexible para conservar bajo el contenido de humedad y mantener en buen servicio la tubería de asbesto-cemento.

#### 4.2.- Inhibidores naturales de corrosión

La capa protectora natural que se forma en las tuberías está relacionada con el equilibrio del  $\text{CaCO}_3$  y el  $\text{CO}_2$  presente en las aguas potables. Las aguas duras tienden a depositar películas protectoras de carbonato de calcio sobre la tubería, en tanto que las aguas de mediana dureza forman capas escasamente adheridas, produciéndose la corrosión de la tubería en forma irregular. (21)

Buletlow (1980), señala que en tuberías que transportan agua con contenidos de hierro entre 0.1 y 0.15 mg/L se presenta formación de una capa protectora que evita el deterioro de la tubería. A la fecha se desconoce el fenómeno químico que tiene lugar, pero se sabe que el hierro disuelto en el agua precipita y forma películas protectoras aun en aguas muy agresivas. También el manganeso del agua actúa como un agente protector natural de la tubería debido a su baja solubilidad.

Un agua que contiene de 0.1 a 1.0 mg/L de Fe y alrededor de 40 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  favorece la formación de un precipitado de hidróxido férrico, representado por la fórmula  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Este compuesto es uno de varios que pueden formar capas protectoras en la tubería.

Algunos agentes oxidantes como el  $\text{Cl}_2$  (acuoso),  $\text{HOCl}$  y el  $\text{OCl}^-$ , pueden oxidar fácilmente al hierro y formar compuestos insolubles, igualmente el manganeso puede oxidarse y formar el  $\text{MnO}_2$  debido a la cloración del agua o por ozonización. (57) No obstante que el Fe y el Mn tienen tendencia a proteger la tubería al formar películas protectoras, su aplicación está restringida por las normas de calidad del agua potable.



Otro elemento que ha sido estudiado como agente protector de la corrosión de tuberías es el Zinc en forma de compuestos como ortofosfatos, cloruros y sulfatos. La formación de una capa grisácea sobre la superficie de la tubería (posiblemente hidroxicarbonato de Zinc que es de los más insolubles), evitará la liberación de fibras de asbesto. La utilización de ortofosfatos puede estimular el crecimiento de algas en la tubería, lo que no sería deseable.

En muchas aguas naturales con contenidos de 50 a 100 mg/L de Zinc o más, existe tendencia a la formación de compuestos insolubles que precipitan y forman capas protectoras básicamente de carbonato de zinc, en un rango de pH de 7.5 a 8.5 y a temperaturas normales o más bajas. (3)

El óxido de silicio, llamado comúnmente sílica, también puede combinarse con diferentes metales y formar capas protectoras. Este compuesto actúa de dos maneras, como agente secuestrante o como agente precipitador, esto dependerá de las condiciones de solubilidad y concentración.

Schock (1981), menciona que el hierro y el manganeso pueden ser precipitados mediante el uso de silicato de sodio. El silicato actúa algunas veces como agente coprecipitador, otras como formador de delgadas películas protectoras de la corrosión y en algunas otras ocasiones, como agente secuestrante del ión férrico en solución. El mecanismo de reacción de la sílica frente a las tuberías de asbesto-cemento aun no está completamente estudiado.

#### 4.3.- Materiales sustitutos del asbesto

En la actualidad en muchos países se ha prohibido, restringido o retirado del mercado varios productos fabricados a base de asbesto debido a los problemas de salud que se han generado por la exposición del hombre a los asbestos por varias vías de entrada. Aunque los riesgos por ingestión de fibras de asbesto procedentes de tuberías y tinacos de asbesto-cemento están siendo todavía discutidos, estas medidas se han extendido también a este tipo de productos.

Los países que han implantado disposiciones para limitar el uso del asbesto son: Australia, Estados Unidos, Finlandia, Canadá, Francia, Alemania, Japón, La Unión Soviética y Nueva Zelanda entre otros. Holanda y Suecia han prohibido su utilización en tanto que Alemania, Canadá y otros países desarrollados están realizando investigaciones para reemplazar los productos de asbesto-cemento por otros materiales naturales o sintéticos que tengan características de funcionamiento semejantes pero que sean menos riesgosos. (4,5,6)

Lemaire et al (1989), estudiaron la actividad biológica de varios materiales sustitutos, entre éstos la attapulgita, un silicato de aluminio y magensio propuesto para sustituir a los asbestos en los productos de fricción, en adhesivos, selladores, pinturas y otras aplicaciones farmacéuticas. La xonolita, un silicato de calcio fibroso que sirve como aislador de temperatura y el fiberfrax, un silicato aluminato que puede sustituir al crisotilo en la producción de papel fino, como aditivo en los epóxidos, en el moldeo de componentes de inyección entre otros usos, son otros materiales propuestos también como sustitutos del asbesto. El estudio del efecto fibrogénico de estos sustitutos se realizó en animales, resultando que los tres materiales (attapulgita, xonolita y fiberfrax) no pueden ser considerados como biológicamente inertes, ya que su exposición en ratas generó deterioro de tejidos celulares, principalmente de pulmones. Por lo tanto, su uso también debe ser controlado al igual que los asbestos, además de continuarse las investigaciones sobre los posibles efectos sobre el organismo humano. (43)

Otros materiales de origen natural que han sido propuestos para sustituir al asbesto son la fibra de coco, el bagazo de caña de azúcar y restos de cáscaras de plátano; su utilización dependerá de factores de calidad y bajo costo del producto fabricado.

En Brasil, la Compañía Swiss Etenut de origen suizo y belga, ha eliminado los asbestos de sus productos de asbesto-cemento, sustituyéndolos por fibras de plantas que crecen localmente. (44)

En cuanto a la sustitución de tuberías y tinacos de asbesto-cemento para transportar y almacenar agua, se están utilizando como principales sustitutos para las tuberías, el PVC, el hierro fundido (duración estimada de 50 años), concreto reforzado (duración estimada de 25 a 50 años), Lockjoint y Extropac, y para los tinacos, la fibra de vidrio. (14,50,42)

En la mayoría de los casos es posible disponer de tuberías de diversos materiales. Sin embargo, muchas de ellas no pueden ser usadas porque sus costos de adquisición, transporte e instalación son muy elevados, además, en algunos de ellos la corrosión es muy frecuente si no se le da a la tubería un recubrimiento especial. (50) En otros casos, no todos los diámetros existentes en las tuberías de asbesto-cemento están disponibles en tuberías sustitutas, y si lo están, los costos no son competitivos con las tuberías de A-C, de manera que todos estos inconvenientes limitan su uso en gran medida. (47)

Actualmente en Estados Unidos la tubería de A-C está siendo sustituida por tubería de PVC. En México, aunque la mayoría de las tuberías de conducción y distribución son de asbesto-cemento, ya se están usando tuberías de PVC y de acero Lockjoint y Extropac. (50)

## 5.- METODOLOGIA DE EVALUACION DE ASBESTO EN AGUA POTABLE

Con el propósito de evaluar el contenido de fibras de asbesto en el agua potable de diversas ciudades de la República Mexicana, que usan tuberías de asbesto-cemento, inicialmente se propuso seleccionar 15 ciudades con mayor índice de agresividad en el agua de sus sistemas de abastecimiento, posteriormente se optó por aplicar una técnica de sobreposición, la cual incluye el índice de agresividad, el contenido de sulfatos y el volumen poblacional.

Una vez procesada la información, los datos de calidad de agua de interés para el proyecto, se trasladarán a una cartografía y se sobrepondrán, esto para visualizar e identificar fácilmente las ciudades con mayor riesgo de que sus aguas presenten agresividad significativa que permita la liberación de fibras de asbesto de las tuberías, además de que de esta manera se logrará mayor cobertura.

### 5.1.- Selección de ciudades

Debido a la insuficiente información con que se cuenta actualmente respecto a calidad del agua de suministro en ciudades, y en vista de la necesidad de iniciar el muestreo, se seleccionaron 10 ciudades en base al volumen de población, considerando aquellas ciudades con poblaciones mayores de 500,000 habitantes.

Una excepción la constituyen las ciudades de Oaxaca y Veracruz, considerando que para la primera se tiene noticia que en su subsuelo existe abundancia de fibras de asbesto y para la segunda se tiene gran variabilidad en su calidad de agua.

La Tabla 7 y la Figura 1 muestran respectivamente, las ciudades seleccionadas y la distribución de las mismas.

### 5.2.- Selección de sitios de muestreo

Una vez seleccionadas las ciudades, se tomará el siguiente criterio para seleccionar los sitios de muestreo para cada ciudad: Mediante previa investigación, se tomarán los cinco principales sistemas de abastecimiento de agua potable que utilicen tuberías de asbesto-cemento y que se tenga noticia de que el agua presenta algo de agresividad.

El agua que transportan los sistemas de abastecimiento seleccionados será analizada en el sitio de muestreo para calcular su índice de agresividad. De acuerdo a los resultados que se obtengan en campo, se seleccionarán de los cinco, tres sistemas de abastecimiento, los que presenten agua mayormente agresiva.

### 5.3.- Toma de muestra

Una vez seleccionados los tres sistemas de abastecimiento de agua potable de acuerdo a la agresividad del agua que transportan, se procederá a tomar tres muestras de agua por sistema, una en el origen del sistema, otra después de la planta de tratamiento, si la hay, y otra luego que el agua haya recorrido una determinada longitud a través de la tubería. El fundamento de este criterio está basado en determinar si la fuente de fibras de asbesto es de origen natural (por erosión geológica), o si es generado por la agresividad del agua que corroe la tubería de asbesto-cemento, provocando la liberación de fibras, además de determinar con cuánto contribuye la planta de tratamiento en la eliminación de fibras del agua de suministro.

Cuando la fuente de abastecimiento de agua potable sea de origen superficial, se procederá en forma semejante a lo indicado con anterioridad, con la diferencia de que es más probable la existencia de una planta potabilizadora.

La Figura 2 indica los sitios de muestreo y los parámetros requeridos para el proyecto, tanto para agua subterránea como superficial.

Las muestras de agua para análisis fisicoquímicos y de asbestos se coleccionarán en recipientes limpios de polietileno de tres litros de capacidad, dejando primeramente fluir el agua el tiempo necesario para obtener una muestra representativa. Para las muestras de agua de metales pesados, se recolectarán en recipientes limpios de polietileno de un litro. (44.63)

#### 5.3.1.- Frecuencia de muestreo

El muestreo de agua para análisis de asbestos debería realizarse al menos con cinco repeticiones para cada ciudad, sin embargo, debido al elevado costo que representa cada análisis, se optó por realizar un solo muestreo que consiste en tomar tres sistemas con tres muestras para cada uno, en cada ciudad. Los resultados que se obtengan no serán muy representativos, no obstante, nos proporcionarán una idea general del contenido de fibras de asbesto en el agua de suministro, lo que permitirá tomar decisiones más reales.

En la tabla 8, se indica el programa de muestreo en ciudades para análisis de fibras de asbestos.

#### 5.3.1.1.- Número de muestras para análisis de asbestos

Considerando 10 ciudades, tres sistemas de abastecimiento de agua por ciudad y tres muestras por sistema, se tendrán un total de 90 muestras. Este número de muestras puede variar si la fuente de abastecimiento no esta sujeta a potabilización, o si los índices de agresividad del agua determinados en campo no representan variación significativa.

#### 5.3.1.2.- Número de muestras para análisis fisicoquímicos y parámetros requeridos

En total son 90 muestras, cada una requerirá de 6 parámetros (pH, Alcalinidad Total, Dureza de Calcio, Sólidos Disueltos Totales, Cloruros y Sulfatos), mismos que serán de gran utilidad para determinar la agresividad del agua, y evaluar la tendencia a la corrosividad que tiene el agua hacia la tubería. El número de análisis totales es de 540.

#### 5.3.1.3.- Número de muestras para metales y parámetros requeridos

En total son 90 muestras, cada una requerirá de tres parámetros, e incluyen Fe, Mn y Si, haciéndu un total de 270 análisis. En la tabla número 9 se muestran los valores máxios permisibles de cada parámetro requerido, para agua potable.

#### 5.3.1.4.- Preservación de Las muestras

De acuerdo a la investigación bibliográfica revisada, se tiene que existen tres formas de preservar las muestras de agua para análisis de asbestos: 1) recolectar la muestra de agua y conservarla a 4°C, 2) recolectar la muestra de agua y adicionarle cloruro mercúrico y conservarla a 4°C, y 3) recolectar la muestra sin aplicar ninguna técnica de preservación. (5.29.44.43)

La selección del tipo de preservación, dependerá del método de análisis usado y de la experiencia del analista, que para nuestro caso según recomendaciones del personal del Instituto de Física de la UNAM, no es necesaria la preservación. (54)

Las muestras de agua para análisis fisicoquímicos y de metales pesados, se conservan frías a 4°C, hasta que el análisis sea realizado. (57)

#### 5.4.- Pretratamiento de La muestra de agua para análisis de asbestos

Varias técnicas son empleadas para preparar las muestras antes del análisis de asbestos por Microscopía Electrónica de Trasmisión (MET). Todas ellas requieren de pasar la muestra a través de un filtro de membrana. El procedimiento posterior varía según el método empleado, así, para este estudio el pretratamiento consiste en filtrar un litro de agua a través de un filtro Millipore, usando una membrana de 47mm. de diámetro y 0.45 micras de poro. Es recomendable realizar la filtración dentro de las primeras 24 horas de colección de las muestras, para evitar coagulación espontánea. «33»

La membrana es secada a 45°C, durante dos horas, luego se cortan círculos de 3mm. de diámetro y se colocan cuidadosamente en forma invertida sobre una rejilla recubierta de carbón (rejillas proporcionadas por el Instituto de Física de La UNAM).

Posteriormente se colocan con cuidado en cajas petri muy limpias y se disuelve la membrana con acetona de alta pureza, teniendo mucho cuidado de no mover la rejilla, este último proceso se repite cuando menos cuatro veces con la finalidad de alcanzar buena disolución de la membrana y facilitar la observación en el Microscopio Electrónico de Trasmisión. «44»

#### 5.5.- Descripción general del método de análisis por Microscopía Electrónica de Trasmisión (MET)

Los residuos que quedan sobre la rejilla son observados en un microscopio electrónico de transmisión modelo JEOL 100 cx. La observación se realiza con un aumento de 17000x, lo que permite ver fibrillas muy pequeñas de dimensiones típicas de 0.025 micras. Este aumento es apropiado porque para obtener los patrones de difracción electrónica de crisotilo y anfíbolos solo se requiere efectuar pequeños ajustes. Los dos tipos de asbestos mencionados pueden ser observados a simple vista en la pantalla fluorescente del microscopio.

La identificación y conteo de fibras de asbesto en las rejillas se realiza de la manera siguiente: se observan al menos 20 orificios por rejilla y de cada orificio se examinan 36 campos de visión, lo que hace un total de 720 campos observados por rejilla.

Cuando se localiza una fibra en un campo, se compara con su patrón de difracción para determinar si es asbesto, si lo es, se contabiliza y se continúa la observación de los campos restantes.

El número total de fibras de asbesto encontradas en todos los campos se divide entre los 20 orificios, con lo cual se obtiene el promedio de fibras por orificio en la rejilla.

La cantidad de fibras de asbesto por litro se calcula considerando la siguiente expresión:

$$\text{Fibras de asbesto/L} = \frac{(n)(A_f)(1000\text{ml})}{(A_o)(\text{ml muestra filtrada})}$$

donde:

- n = promedio de fibras por agujero
- A<sub>f</sub> = área del filtro Millipore usado = 962 mm<sup>2</sup>
- A<sub>o</sub> = área del orificio de una rejilla de cobre = 0.006675 mm<sup>2</sup>

Sustituyendo los valores de A<sub>f</sub> y A<sub>o</sub>, y efectuando las operaciones, la fórmula anterior queda así:

$$\text{Fibras de asbesto /L} = \frac{n \times 1.44 \times 10^6}{(\text{ml muestra filtrada})}$$

Cuando existe duda en cuanto a la fibra identificada, se hace uso del espectro de difracción de rayos X de la muestra utilizando el espectro de fluorescencia de rayos X que está incorporado al MET, y así se verifica con precisión que la fibra observada es de asbesto. «54»

**TABLA 7. SELECCION DE CIUDADES PARA MUESTREO DE ASBESTOS EN AGUA POTABLE, DE ACUERDO AL VOLUMEN DE POBLACION Y SU PARTICIPACION RELATIVA EN EL TOTAL NACIONAL.**

<b>ESTADO</b>	<b>CIUDAD</b>	<b>POBLACION (# DE HABITANTES)</b>
JALISCO	GUADALAJARA	1,628,617
NUEVO LEON	MONTERREY	1,064,197
PUEBLA	PUEBLA	1,054,921
CHIHUAHUA	CD. JUAREZ	797,679
B. C. N.	MEXICALI	602,390
SINALOA	CULIACAN	602,114
YUCATAN	MERIDA	557,340
SAN LUIS POTOSI	SAN LUIS POTOSI	525,819
VERACRUZ	VERACRUZ	327,522
OAXACA	OAXACA DE JUAREZ	212,943

**FUENTE:** XI Censo General de Población y Vivienda, 1990, INEGI, cifras preliminares.



**TABLA 8. PROGRAMA DE MUESTREO DE AGUA PARA ANALISIS DE ASBESTOS EN CIUDADES. NUMERO DE PARAMETROS REQUERIDOS Y NECESIDADES DEL ESTUDIO.**

CIUDAD	JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE			
	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
PUEBLA	X																			
GUADALAJARA					X															
MONTERREY						X														
ORAXACA							X													
SAN LUIS POTOSI									X											
CD. JUAREZ										X										
MEXICALI													X							
MERIDA														X						
VERACRUZ															X					
CULIACAN																X				

X = Salida a ciudad, el primer día de la semana

De cada ciudad se tomarán nueve muestras para análisis de asbestos, nueve para fisicoquímicos y nueve para metales pesados. Los parámetros requeridos para cada muestra son: pH, Alc.Total, DCa, SDT, Sulfatos, Cloruros, Fe, Mn y Si.

Muestras Totales: 180

Análisis totales: 810 (NO INCLUYE ANALISIS DE ASBESTOS)

NECESIDADES: VIATICOS PARA ESTANCIA DE 4 DIAS

CAMIONETA EN BUEN ESTADO

GASOLINA Y ACEITE

VIAJES (BOLETOS DE AVION)

GASTOS POR COMPROBAR (COMPRA DE MATERIALES, PEAJES)

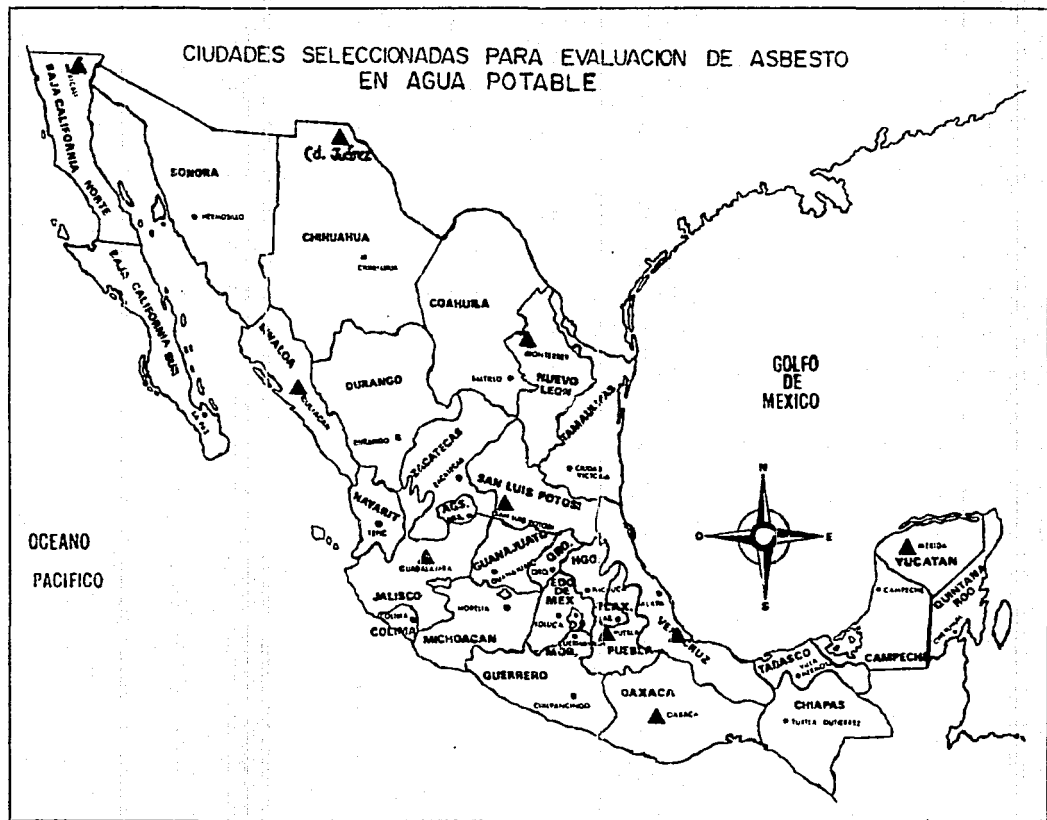


Figura No.1 Localización de las ciudades seleccionadas para evaluación de asbestos en agua potable en el país.

**FIGURA 2.- SITIOS DE MUESTREO Y PARAMETROS REQUERIDOS PARA EL PROYECTO.**

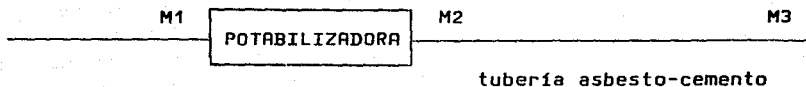
**Caso 1.- AGUA SUBTERRANEA CON DESINFECCION.**



**Caso 2.- SISTEMA DE ABASTECIMIENTO SIN DESINFECCION**



**Caso 3.- AGUA SUPERFICIAL CON PLANTA POTABILIZADORA**



Para cada muestra M1, M2 y M3 se requiere análisis de los siguientes parámetros.

FISICOQUIMICOS		METALES	ASBESTOS EN
pH	Cloruros	Fe	TODOS LOS
Alc total	SDT	Mn	
Dureza de Ca			CASOS
Sulfatos			
Si			

**TABLA 9. VALORES MAXIMOS PERMISIBLES PARA AGUA POTABLE  
(PARAMETROS REQUERIDOS PARA EL PROYECTO)**

PARAMETRO	LIMITE PERMISIBLE SEGUN NORMA MEXICANA 1989
pH	5.0 - 9.0
Temperatura	Condiciones normales $\pm$ 2.5 °C
Alcalinidad Total	400 mg/L como CaCO <sub>3</sub>
Dureza de Calcio	175 mg/L como CaCO <sub>3</sub>
Sulfatos	500 mg/L
Cloruros	250 mg/L
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	500 mg/L
Hierro	0.3 mg/L
Manganeso	0.1 mg/L
Silicio	-
Asbestos	3000 fibras /L (*)

(\*) La Norma indica que el valor ha sido extrapolado mediante el empleo de un modelo matemático, por lo que en revisiones posteriores podrá ser modificado a valores menos estrictos.

## 6. Presentación y Evaluación de Resultados

### 6.1.- CIUDAD DE PUEBLA

#### 6.1.1.- Aspectos Generales

La ciudad de Puebla está localizada a 98° 12.5' de longitud y 19° 2.5' de latitud, a una altura sobre el nivel del mar de 2,150 m. Ocupa una superficie aproximada de 600 Km<sup>2</sup>. Fue fundada en 1531 y en ella se asientan los poderes del estado; es una de las ciudades más pobladas del país, pues según los datos preliminares del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), cuenta con 1'054,921 habitantes (1991). Sin embargo este dato se considera subestimado, ya que el Sistema Operador de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Puebla (SOAPAP) abastece de agua potable a un número mayor de habitantes (1'800,000).

Cuenta con un importante centro industrial y comercial en el cual se concentra una gran diversidad de industrias, entre las que destacan la de vehículos automotores, la textil, la alimentaria, la petroquímica y la del cemento. Además cuenta con centros de enseñanza superior, museos, balnearios de aguas sulfurosas y majestuosos monumentos de arquitectura colonial, como el templo de San Francisco de estilo gótico barroco; la Biblioteca Palafoxiana, la Casa del Deán, la Catedral y otras Iglesias. «37»

A la ciudad de Puebla convergen amplias vías de comunicación destacando carreteras Federales y Estatales, vías de ferrocarril y aeropuerto nacional, lo cual favorece el desarrollo económico y social de sus habitantes. La ciudad se encuentra asentada dentro de la subprovincia de lagos y volcanes del Anáhuac, una de las catorce que integran el eje neovolcánico, característico de rocas volcánicas de todos tipos, acumulados en innumerables y sucesivos episodios volcánicos iniciados a mediados del Terciario (unos 35 millones de años atrás) y continuados hasta el presente. «38»

El clima predominante es templado, sus temperaturas varían de 18°C en los valles y llanuras a 12°C en terrenos más elevados; algo similar ocurre con las precipitaciones, las cuales se distribuyen en franjas de norte a sur y van de mayor a menor. «39»

Un factor de vital importancia que ha contribuido al desarrollo socioeconómico de la ciudad de Puebla, lo constituye el recurso hídrico. Las aguas superficiales en la ciudad están constituidas por dos ríos principales: el Atoyac y el Alseseca. Aunque ambos reciben aguas residuales de la ciudad, el primero es de mayor importancia ya que recibe además aguas fluviales de la ciudad y del Estado de Tlaxcala a través del río Zahuapan. «42»

En cuanto al agua subterránea, en la ciudad convergen importantes redes de flujo originadas en el volcán Iztacihuatl y La Malintzi. Así también, la gran recarga generada por la cuenca hidrológica del río Atoyac, en donde se encuentra ubicada la ciudad, constituye la fuente de reserva de agua subterránea, siendo ésta relativamente abundante, lo que la hace factible de explotar en cantidades adecuadas y de forma permanente. (36.52)

Puebla se encuentra ubicada sobre suelos de tipo Cambisol, caracterizados por tener propiedades ligeramente ácidas o ligeramente alcalinas. A orillas de la ciudad, se encuentra ubicada una importante obra hidráulica, la Presa Manuel Avila Camacho, con capacidad de 405 millones de m<sup>3</sup>; el agua de esta presa se utiliza en el Distrito de Riego Núm. 30, "Valsequillo". (22)

#### 6.1.2.- Redes de Distribución de Agua Potable en La Ciudad.

El agua extraída del subsuelo es la fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad. Existen alrededor de 150 pozos en operación, 92 son operados por el Sistema Operador de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Puebla (SOAPAP) y los 58 restantes operan independientemente.

Los pozos se encuentran ubicados principalmente en la periferia de la ciudad, cuentan con profundidades mayores de 100 m, son explotados de 12 a 14 horas y en algunos casos hasta 16 horas. En la zona centro de la ciudad, aun cuando existe un nivel estático de alrededor de 16 m, el agua no es utilizada debido a la gran cantidad de sulfatos que presenta (más de 500 mg/L).

El SOAPAP maneja cuatro sistemas de abastecimiento de agua potable (ver tabla 10), estos sistemas están formados por una batería de pozos los cuales descargan a líneas de conducción y distribución a través de tuberías de asbesto-cemento de diámetros que van de 6 a 36 pulgadas, iniciando con tuberías de gran diámetro en la conducción y con diámetros pequeños en la distribución. La tubería instalada se considera que es de tipos 1 y 2, con diferentes clases, según la presión requerida, siendo su antigüedad de más de 50 años.

La mayoría de la red de agua potable de la ciudad está constituida por tubería de asbesto-cemento, sólo la zona centro de la ciudad cuenta con tubería de hierro fundido y en algunos casos -en las colonias de las orillas-, se tiene tubería de PVC.

**TABLA 10. SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA CIUDAD DE PUEBLA**

<b>NOMBRE</b>	<b>NUM. POZOS</b>	<b>GASTO INSTANTANEO MEDIO MENSUAL (L/seg)</b>
Sistema Constancia	16	673.74
Sistema Loreto	33	623.21
Sistema San Baltazar	29	551.70
Sistema San Rafael	14	295.77
Pozos independientes	58	-----
<b>Total</b>	<b>92</b>	<b>2144.42</b>

FUENTE: SOAPAF 1991

Los sistemas de abastecimiento de la ciudad son operados en forma similar de la manera siguiente: El agua extraída de los pozos que forman el sistema es conducida hacia una línea central, la cual conduce el agua hacia un tanque desarenador de gran capacidad. El agua aquí es clorada y bombeada hacia un tanque de regulación, y posteriormente es rebombada hacia otro tanque de almacenamiento donde, si es necesario, se vuelve a clorar. Finalmente, se rebomba otra vez para enviarla hacia las casas habitación. Cabe mencionar que los tanques de regulación, los rebombos y los desarenadores están contruidos de concreto reforzado y están localizados convenientemente en los alrededores de la ciudad.

El enorme crecimiento que ha tenido lugar en la ciudad en los últimos años ha originado una ligera escasez de agua potable, lo que ha provocado que el abastecimiento de agua se vea suspendido en algunas colonias por uno o dos días a diferentes horas. Lo anterior da como resultado que los domicilios y comercios cuenten con tanques de almacenamiento de agua que, según se pudo observar, en su mayoría son de asbesto-cemento.

**6.1.3.- Puntos de muestreo de agua potable para análisis de asbestos en la ciudad de Puebla.**

De acuerdo a la metodología de muestreo planteada, y considerando las características particulares de la red de abastecimiento de agua potable de la ciudad, se seleccionaron 9 muestras representativas para la realización de análisis fisicoquímicos, metales por absorción atómica y fibras de asbesto por microscopía electrónica.

Las muestras proceden de la red de conducción y distribución de agua potable e incluyen también muestras de agua de tomas domiciliarias. (Fig. 3).

#### 6.1.4.- Resultados y discusión

Los resultados de los análisis realizados en campo y en laboratorio se presentan en las tablas 11 y 12. De acuerdo a los datos obtenidos para los nueve sitios muestreados, se tiene que el agua de suministro de la ciudad de Puebla presenta gran variabilidad en sus características de calidad debido a que posiblemente procede de diferentes acuíferos, lo cual explica la gran diferencia en los valores encontrados para los parámetros analizados.

El pH del agua de la ciudad presenta valores tanto ácidos como alcalinos, lo que puede tener un efecto negativo o positivo sobre las redes de abastecimiento de agua. Los datos de laboratorio indican que la muestra domiciliaria (3), procedente del Sistema San Baltazar, presenta las más altas concentraciones de Alcalinidad total, Dureza de Calcio, Cloruros, Sulfatos, SDT, Hierro y Silicio. Los límites permisibles que se rebasan para agua potable son los parámetros de Alcalinidad total, Dureza de Calcio y SDT. Por otro lado, la muestra domiciliaria cinco, que usa agua del Sistema Constanica, es la que tiene las más bajas concentraciones para todos los parámetros analizados, estando éstos dentro de los límites permisibles para agua potable (ver tabla 9).

La formación de capas protectoras de carbonato de calcio u otros elementos en las tuberías de conducción y distribución, se debe a que el agua de la ciudad presenta concentraciones apreciables de Alcalinidad Total, Dureza de Calcio y SDT. A corto plazo esto será benéfico, ya que evitará la corrosión de los conductos de agua. Sin embargo, con el tiempo, se puede alterar el régimen hidráulico del sistema de abastecimiento, lo que provocará problemas como reducción del diámetro, aumento de presión y posible rompimiento de las tuberías.

El hierro y el manganeso sólo fueron detectados en dos muestras, una domiciliaria (3) y otra en el rebombeo Constanica (4). La primera presenta concentraciones de Hierro de 0.09 mg/L y Manganeso de 0.07 mg/L. En la segunda, la concentración de estos elementos fue de 0.04 y 0.30 mg/L respectivamente.

De las concentraciones encontradas para éstos parámetros, sólo el Manganeso en el rebombeo Constanica rebasó en un 300% el límite permisible para agua potable (0.1 mg/L).



Como la muestra domiciliaria de la 37 poniente, Las Animas (agua que proviene del Sistema Constanacia) no se detectó Hierro y Manganeso, entonces es muy probable que durante la distribución del agua, éstos encontraran condiciones que favorecieron su precipitación, quedando retenidos en las paredes de las tuberías.

El Silicio encontrado en el agua de suministro procede normalmente de las arenas que arrastra el agua de pozo, las cuales se retienen en los desarenadores de algunos sistemas de abastecimiento de la ciudad. Las muestras de Prados de Agua Azul, Rebombeco Constanacia y Salida del Tanque Loreto, presentaron las más altas concentraciones, con 22.6, 21.5 y 21.3 mg/L respectivamente. La muestra domiciliaria de Prados de Agua Azul presentó el valor más alto, lo que hace suponer que las arenas no se separan eficientemente y que además los cambios de presión del agua pueden intervenir en la reducción o aumento de las mismas al formarse depósitos o al ser movilizadas éstas con los cambios de velocidad del agua circulante.

Aun cuando los índices de agresividad determinados en campo y en el Laboratorio no coincidieron totalmente (como se observa en la tabla 14), se determinó que el agua de la ciudad presenta diferentes niveles de corrosión hacia las tuberías, lo que inicialmente nos permitió suponer que era posible encontrar fibras de asbesto en ella. Sin embargo, no se determinaron valores superiores al límite detectable del método de Microscopía Electrónica de Transmisión (MET), ni aun en el caso de la muestra procedente del Sistema Constanacia (5) que presentó un agua mucho muy agresiva para las tuberías.

La ausencia de fibras de asbesto en el agua de la ciudad, indica que no existe una fuente natural de asbestos en el subsuelo. La agresividad de esta agua no ha causado todavía desprendimiento de fibras de asbesto de las tuberías ni de los tinacos particulares utilizados para almacenar agua.

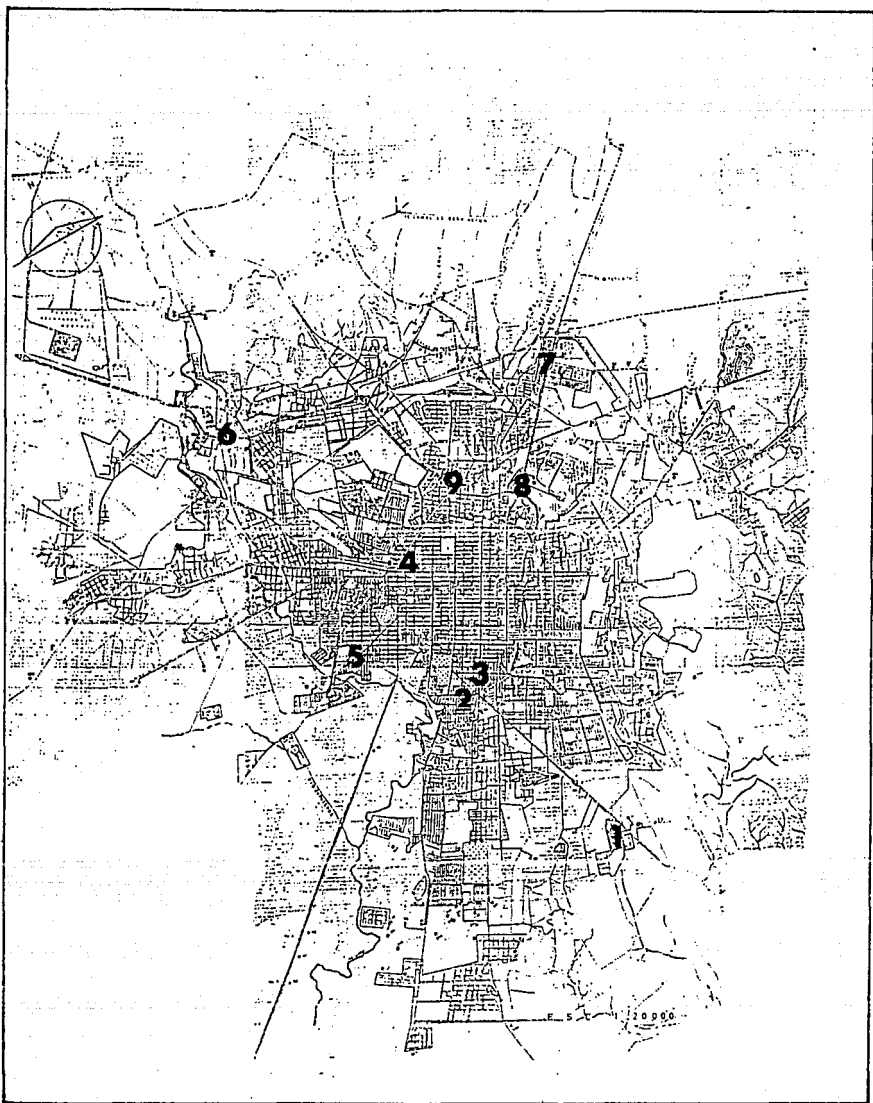


Fig. 3 PLANO DE LA RED DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE PUEBLA Y PUNTOS DE MUESTREO.

**TABLA 11. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN CAMPO EN LA CIUDAD DE PUEBLA, PUE.**

**FECHA DE MUESTREO Y ANALISIS: 22 Y 23 DE JULIO DE 1991**

<b>NO. DE MUESTRA</b>	<b>DESCRIPCION SITIO DE MUESTREO</b>	<b>pH</b>	<b>ALC.T. (mg/L)</b>	<b>DUR Ca (mg/L)</b>	<b>I.A.</b>
1	Sistema San Baltazar Arboledas San Ignacio	6.65	487.20	62.10	11.13
2	Pozo Independiente (Alfa II)	7.60	554.40	260.30	12.75
3	Prados Agua Azul (Dom.)	7.36	679.00	619.20	12.98
4	Rebombeo Constancia, 24 Pte. y 23 Norte	6.89	708.75	277.87	12.18
5	Animas, 37 Pte. (Dom. del Sist. Constancia)	6.14	60.00	8.05	8.82
6	Desarenador Sist. Constancia	6.88	286.36	212.90	11.66
7	Desarenador Sist. Loreto	7.59	133.26	94.65	11.69
8	Salida Tanque Loreto Sist. Loreto	7.47	130.45	61.13	11.37
9	Santa María, 38 y 40 Pte. con 5 de Mayo (Dom.)	7.63	119.70	65.08	11.52

**I.A. = Indice de Agresividad**

TABLA 12. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA PARA LA CIUDAD DE PUEBLA, PUE.

FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 26 DE JULIO DE 1991  
 FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 15 DE AGOSTO DE 1991

NO. DE MUESTRA	pH	ALC.T. (mg/L)	DUR Ca (mg/L)	CL <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	SDT (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Si (mg/L)	I.A.
1	6.9	415.8	327	35.2	57.70	624.5	0.04	0.03	16.7	12.03
2	7.7	493.5	414	57.2	260.50	1096.0	0.04	0.03	17.7	13.01
3	8.1	611.1	422	61.2	388.30	1439.5	0.09	0.07	22.6	13.51
4	7.6	590.1	307	32.8	155.80	953.5	0.04	0.30	21.5	12.86
5	6.1	33.6	12	2.0	2.50	55.5	0.04	0.03	2.1	8.71
6	7.5	281.4	217	34.7	135.40	631.5	0.04	0.03	18.3	12.29
7	7.9	102.9	59	2.7	6.10	192.5	0.04	0.03	16.5	11.68
8	7.8	111.3	71	5.4	12.80	223.0	0.04	0.03	21.3	11.70
9	8.1	113.4	71	5.9	12.50	227.0	0.04	0.03	16.2	12.01

I.A. = Indice de Agresividad

**TABLA 13. RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE LA PRESENCIA DE FIBRAS DE ASBESTO EN MUESTRAS DE AGUA DE SUMINISTRO DE LA CIUDAD DE PUEBLA, PUE.**

**METODO DE ANALISIS: MICROSCOPIA ELECTRONICA DE TRANSMISION  
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 21-AGOSTO-91  
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 14-OCTUBRE-91**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>RESULTADOS</b>
1	N.D.
2	N.D.
3	N.D.
4	N.D.
5	N.D.
6	N.D.
7	N.D.
8	N.D.
9	N.D.

**N.D. = No detectable = menor de 32,344.5 fibras/L, que es el límite de detección del microscopio electrónico de transmisión, cuando se usan rejillas G3000**

**TABLA 14. COMPARACION DE INDICES DE AGRESIVIDAD (I.A.)  
DETERMINADOS EN CAMPO Y EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA  
CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA PUEBLA, PUE.**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>I.A. (Campo)</b>	<b>I.A. (Laboratorio)</b>
1	11.13	12.03
2	12.75	13.01
3	12.98	13.51
4	12.18	12.86
5	8.82	8.71
6	11.66	12.23
7	11.69	11.68
8	11.37	11.70
9	11.52	12.01

## 6.2.- CIUDAD DE VERACRUZ

### 6.2.1.- Aspectos Generales

La ciudad de Veracruz está localizada en las coordenadas 96°16' de longitud oeste y 19°08' y 19°16' de latitud norte; se encuentra a una altura sobre el nivel del mar que va de los 4 a 5 m. Cuenta con un área superficial de 241 Km<sup>2</sup>, está limitada al norte por el municipio de la Antigua, al Sur por el municipio Medellín de Bravo y Boca del Río, al este por el Golfo de México, al oeste por el municipio de Manlio Fabio Altamirano y al Noroeste por el municipio de Paso de Ovejas.

Veracruz fué fundada en el año de 1519 por Hernán Cortés, con el nombre y la categoría de "Villa Rica de la Veracruz", es actualmente el asentamiento con mayor número de habitantes del estado. Según datos preliminares del INEGI (1991), la ciudad cuenta con 327,522 habitantes, valor que es considerado subestimado, dado que el SAPA abastece de agua potable a un mayor número de habitantes.

La importancia de esta ciudad radica en sus recursos pesqueros; en ella se localiza uno de los puertos más importantes del país, en el cual se realiza un intenso tráfico de carga, asimismo, se encuentran establecidas industrias de importancia como la Siderúrgica, la de la Construcción y la de reparación de embarcaciones.

Cuenta con una gran infraestructura en cuanto a vías de comunicación, como carreteras, líneas férreas, un aeropuerto internacional denominado "General Heriberto Lara", y un puerto de gran importancia a nivel nacional por el gran movimiento de carga que en él se realiza. Participa en el comercio internacional como escala de numerosas líneas marítimas con las que México tiene relaciones. A través de este puerto se transporta principalmente azúcar, miel, maíz, trigo, chatarra, papel, petróleo y sus derivados, cemento, sal y otros productos.

Fisiográficamente, la ciudad se encuentra ubicada en la subprovincia de la llanura costera veracruzana, caracterizada por rocas del jurásico superior al cuaternario (reciente). El clima predominante es el tropical (cálido subhúmedo), con temperatura media anual de 25.3°C y una precipitación media anual de 1,669.2 mm. (37)

Los tipos de suelos que predominan son: El regosol (no presenta capas distintas), el feozen (tiene capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrientes), y el luvisol (presenta acumulación de arcilla en el subsuelo, es moderadamente ácida).

La vegetación característica de la ciudad y sus alrededores es de tipo palma y sabana, destacando en las orillas la selva baja caducifolia secundaria. «»»

El recurso hidráulico que ha favorecido el desarrollo socioeconómico de la ciudad comprende tanto agua superficial como agua subterránea. La fuente de abastecimiento superficial más importante corresponde al río Jamapa, el cual nace en las faldas del Pico de Orizaba. También la ciudad hace uso de numerosos pozos, lo que hace que el acuífero cercano a la ciudad se encuentra sobreexplotado.

#### 6.2.2.- Redes de distribución de agua potable en la ciudad de Veracruz.

La fuente de abastecimiento de agua potable en la ciudad está constituida por aguas superficiales y subterráneas. El río Jamapa es la principal fuente de agua superficial, parte de su cauce es utilizado para abastecer a la población veracruzana previo tratamiento químico del agua.

La ciudad cuenta con dos plantas potabilizadoras, una antigua (Planta 1), con capacidad de 330 m<sup>3</sup>/seg y otra nueva (Planta 2), con capacidad de 1500 m<sup>3</sup>/seg. Ambas son operadas por el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado (SAPA) de la ciudad. La planta nueva está ubicada en el poblado de Tejar, a 13 km de la ciudad, el proceso de potabilización que se sigue de manera general es el siguiente: El agua es bombeada del río Jamapa, luego se aerea y se clora, posteriormente se le adiciona sulfato de aluminio en forma sólida o en solución, según sea el caso. Cuando se requiere se utiliza hidróxido de sodio como agente alcalinizante. El agua con los reactivos químicos es conducida a un floculador-sedimentador, y una vez clarificada se filtra mediante un lecho filtrante de arena silíceo y grava de diferentes tamaños.

El agua ya filtrada es clorada y almacenada en tanques de concreto, para luego ser bombeada y distribuida a tanques de regulación localizados en lugares estratégicos de la ciudad. El sistema de control de la planta es automático y se lleva un estricto control de calidad del agua cruda y tratada.



La planta antigua -ubicada junto a la planta nueva-, sigue un proceso convencional utilizando el mismo tipo de reactivos químicos, con la diferencia de que el agua tratada es combinada en su origen con agua de tres pozos localizados en los alrededores de la planta.

En lo que respecta al agua subterránea, la ciudad cuenta con alrededor de 46 pozos, los cuales también son operados por el SAPA. La profundidad de los pozos varía de los 32 m a los 120 m, están distribuidos principalmente hacia el norte y sur de la ciudad y operan por lo general las 24 horas del día.

El agua extraída de ellos es potabilizada solamente mediante cloración, luego es enviada a tanques de regulación donde se verifica si el agua está suficientemente clorada, si no es así, se vuelve a clorar. Entre los principales tanques de almacenamiento y regulación que existen en la ciudad, destacan el tanque Pocitos y Rivera, Morro y Pearson, con capacidad de 10,000 m<sup>3</sup> para los dos primeros y de 7,800 m<sup>3</sup> para el último.

El tanque Pocitos y Rivera recibe agua procedente de las plantas potabilizadoras, la tubería de conducción de la planta al tanque es de Extrupac y de hierro; abastece a la zona norte y centro de la ciudad, mediante una red de distribución de tuberías de asbesto-cemento y hierro en la zona centro de la ciudad.

El tanque Morro recibe agua de la planta potabilizadora nueva a través de líneas de conducción de asbesto-cemento, Extrupac y PVC. Abastece a zona sur de la ciudad mediante una red de distribución de tuberías de asbesto-cemento.

El tanque Pearson, recibe agua de las plantas potabilizadoras y de las baterías de pozos de Tembladeras y de el Coyol. La línea de conducción es de tubería de asbesto-cemento y Extrupac, abastece la zona centro y a diferentes colonias y unidades habitacionales.

Se estima que más del 80% de la red de conducción y distribución de agua potable de la ciudad es de tubería de asbesto-cemento de tipos 1 y 2 de diferentes clases, según las necesidades de presión hidráulica que se tengan. El porcentaje restante corresponde a tuberías de diferentes tipos como ya se mencionó con anterioridad. Es conocido que en la zona central de la ciudad, la más antigua, existe tubería de hierro fundido.

Las principales líneas de conducción de agua potable de la ciudad son: la de El Tejar, la de Tembladeras y la del Coyol; a través de ellas fluyen gastos de 330, 630 y 300 L/seg respectivamente. Los diámetros de las tuberías varían de 36" a 1" dependiendo de si la línea es de conducción o de distribución. La edad de la tubería de asbesto-cemento se estima en más de 60 años.

En la actualidad, aunque en la ciudad no existe escasez de agua potable, la mayoría de los domicilios cuentan con tinacos de asbesto-cemento para almacenar su agua. No obstante lo anterior, se piensa que en un futuro cercano, la ciudad alcanzará un enorme desarrollo socioeconómico, lo que demandará mayores volúmenes de agua, por lo que se requerirá un aprovechamiento eficiente del recurso hidráulico de la región.

#### 6.2.3.- Puntos de muestreo de agua potable para análisis de asbestos en la ciudad de Veracruz.

Con base en la metodología básica de muestreo y de acuerdo a las características particulares de la ciudad, se tomaron nueve muestras representativas de la red de agua potable. Las muestras incluyen aguas superficiales, aguas subterráneas, líneas de conducción y tomas domiciliarias. (Fig. 4).

#### 6.2.4.- Resultados y Discusión

Los resultados de los análisis de campo y de laboratorio se presentan en las tablas 15 y 16. Los valores de pH, Alcalinidad y Dureza de Calcio obtenidos para las nueve muestras de agua de la ciudad muestran que el agua es ligeramente alcalina y su contenido de Calcio en forma de Carbonato, es moderado, lo que indica que se trata de un agua un poco blanda. Esto puede originar con el tiempo problemas de corrosión en las tuberías.

La concentración de Cloruros, Sulfatos y SDT en la fuente de agua superficial es de 12.7, 9.8 y 184.5 mg/L respectivamente, estos valores son más bajos que en la fuente de agua subterránea, en donde se tienen valores en el orden indicado de 41.6, 2.71 y 483.5 mg/L. Esta variación posiblemente se deba a la existencia de alguna conexión del acuífero con el agua de mar. Además, se puede observar que la concentración más alta de Cloruros y Sulfatos se encontró en la muestra domiciliaria (9) con valores de 54.3 y 30.4 mg/L respectivamente. Esto puede deberse a una leve infiltración de aguas salobres hacia la tubería o por la contaminación de aguas subterráneas y superficiales.

Sin embargo, las bajas concentraciones encontradas para estos parámetros no representan un riesgo de deterioro de las tuberías, más aún que se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma de calidad para agua potable (ver tabla 9).

La fuente principal de Hierro en el agua de la ciudad es de origen superficial, y tiene una concentración inicial de 0.76 mg/L, valor que es reducido en la planta potabilizadora nueva hasta alcanzar una concentración de 0.45 mg/L, resultado que es superior al límite permisible de 0.3 mg/L. No obstante lo anterior, en las líneas de distribución la concentración es menor y se encuentra dentro de norma. Esta reducción se debe posiblemente a la precipitación del Hierro en las tuberías, lo que favorecerá la formación de capas protectoras.

En cuanto al Manganeso, el agua de suministro presenta concentraciones inferiores al límite permisible de 0.1 mg/L para agua potable, constituyendo la excepción las muestras provenientes de la entrada del Tanque Morro y del Pozo 20 del Sistema Templaderas (5 y 6), que rebasan en 160% y 30% el límite antedicho.

Por lo que toca al Silicio, la concentración más alta fue de 19.7 mg/L que corresponde a la muestra de (6) cuyo origen es subterráneo y que nos indica que la arenosidad del agua extraída es transportada en las líneas de conducción y distribución, y parte de esta arenosidad sedimenta en las tuberías formando depósitos que protegen a éstas de la corrosión.

Los índices de agresividad determinados en campo y en el laboratorio indican que se tiene un agua moderadamente agresiva con tendencia a la no agresividad, por lo que la probabilidad de encontrar fibras de asbesto en el agua es menor. De hecho, los resultados de la tabla 17, indican que no se detectaron fibras de asbesto en ninguna de las muestras, por lo que se puede decir que no existe una fuente natural de asbestos en la ciudad y que el agua superficial utilizada como fuente de suministro no constituye una fuente de asbestos. Aunado a lo anterior, es posible que el deterioro de la tubería sea muy lento por la formación de capas protectoras que han evitado hasta ahora el desprendimiento de fibras de asbesto de las tuberías.

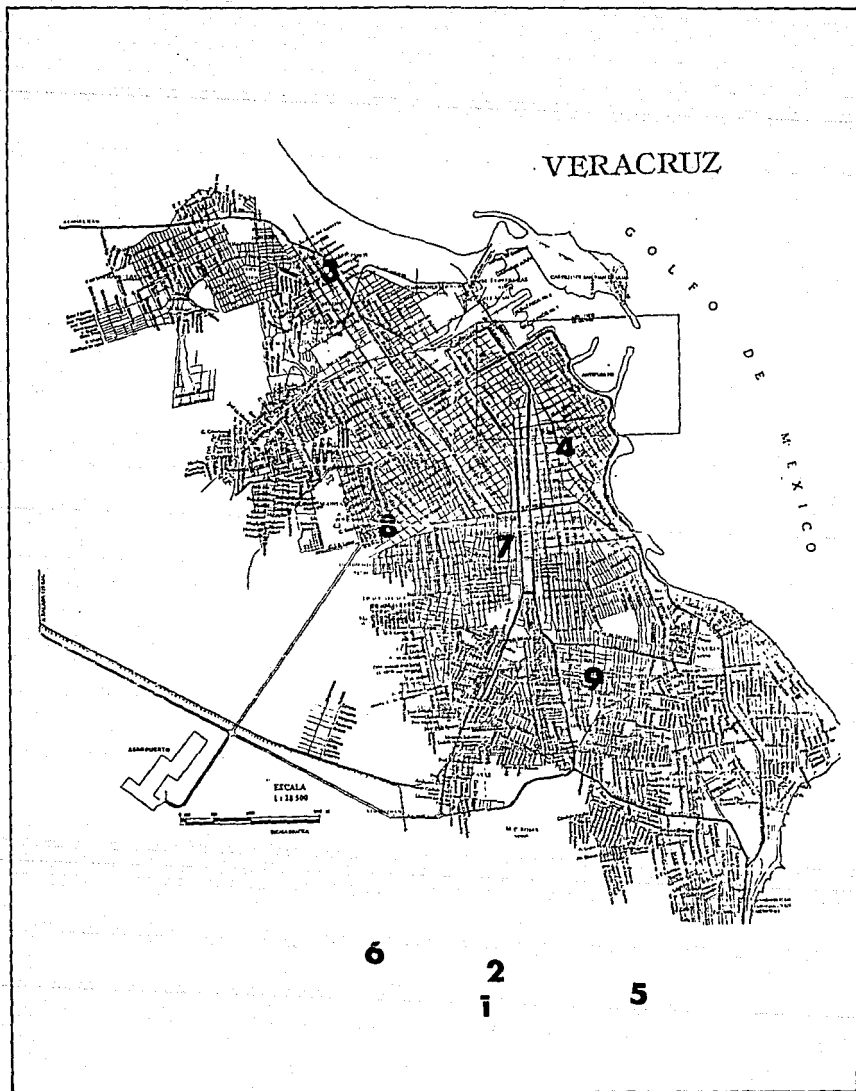


Fig. 4 PLANO DE LA CIUDAD DE VERACRUZ Y SITIOS DE MUESTREO.

**TABLA 15. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN CAMPO EN LA CIUDAD DE VERACRUZ, VER.**

**FECHA DE MUESTREO Y ANALISIS: 1 Y 2 DE AGOSTO DE 1991**

<b>NO. DE MUESTRA</b>	<b>DESCRIPCION SITIO DE MUESTREO</b>	<b>pH</b>	<b>ALC.T. (mg/L)</b>	<b>DUR Ca (mg/L)</b>	<b>I.A.</b>
1	Agua Cruda Potabilizadora	7.51	128.10	45.36	11.27
2	Agua Tratada Potabilizadora	7.54	111.30	49.30	11.28
3	Santo Domingo y Enriquez Z. Norte (Dom.)	7.51	231.00	104.51	11.89
4	Azueta-Iturbide (Dom.) Centro	7.49	235.20	127.19	11.97
5	Entrada Tanque Morro	6.96	88.20	47.33	10.58
6	Pozo 20 Sistema Templaderas	7.20	317.10	186.35	11.97
7	Entrada Tanque Pirso	7.45	228.90	133.11	11.93
8	Entrada Pocitos (de Potabilizadora)	7.07	77.70	43.38	10.59
9	Sistema Morro (Dom.)	7.53	210.00	46.34	11.52

**I.A. = Indice de Agresividad**

TABLA 16. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA PARA LA CIUDAD DE VERACRUZ, VER.

FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 5 DE AGOSTO DE 1991  
 FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 15 DE AGOSTO DE 1991

NO. DE MUESTRA	pH	ALC.T. (mg/L)	DUR Ca (mg/L)	CL <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	SDT (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Si (mg/L)	I.A.
1	7.75	88.2	41	12.7	9.80	184.5	0.76	0.10	11.2	11.30
2	8.00	80.9	45	18.6	8.40	197.5	0.45	0.06	11.5	11.56
3	7.60	175.4	106	27.4	8.40	327.5	0.21	0.03	16.4	11.87
4	7.90	195.3	118	48.9	20.90	384.0	0.17	0.26	15.7	12.26
5	6.85	71.4	51	13.2	18.60	180.5	0.21	0.04	9.8	10.41
6	8.00	283.5	134	41.6	27.10	483.5	0.09	0.13	19.7	12.58
7	7.90	197.4	118	46.5	20.80	407.5	0.15	0.07	16.5	12.27
8	7.90	73.5	59	13.0	28.20	197.5	0.16	0.05	8.7	11.54
9	7.65	191.1	138	54.3	30.40	411.5	0.11	0.07	14.9	12.07

I.A. = Índice de Agresividad

**TABLA 17. RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE LA PRESENCIA DE FIBRAS DE ASBESTO EN MUESTRAS DE AGUA DE SUMINISTRO DE LA CIUDAD DE VERACRUZ, VER.**

**METODO DE ANALISIS: MICROSCOPIA ELECTRONICA DE TRANSMISION  
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 21-AGOSTO-91  
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 14-OCTUBRE-91**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>RESULTADOS</b>
1	N.D.
2	N.D.
3	N.D.
4	N.D.
5	N.D.
6	N.D.
7	N.D.
8	N.D.
9	N.D.

**N.D. = No detectable = menor de 32,344.5 fibras/L, que es el límite de detección del microscopio electrónico de transmisión, cuando se usan rejillas G300.**

**TABLA 18. COMPARACION DE INDICES DE AGRESIVIDAD (I.A.)  
DETERMINADOS EN CAMPO Y EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA  
CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA VERACRUZ, VER.**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>I.A. (Campo)</b>	<b>I.A. (Laboratorio)</b>
1	11.27	11.30
2	11.28	11.56
3	11.89	11.87
4	11.97	12.26
5	11.58	10.41
6	11.37	12.58
7	11.93	12.27
8	10.59	11.54
9	11.52	12.07



## 6.3.- CIUDAD DE OAXACA DE JUAREZ

### 6.3.1.- Aspectos Generales

La ciudad de Oaxaca de Juárez está situada en las coordenadas 17°04' de latitud norte y 96°43' de longitud oeste, se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 1558 m. Fué fundada en 1528 con el nombre de Antequera y en 1872 recibió el nombre de Oaxaca de Juárez, pero por lo común se le conoce como Oaxaca simplemente. La arquitectura colonial de esta ciudad, sus museos e iglesias y sus famosas ruinas arqueológicas localizadas en sus alrededores, además de sus hermosas artesanías elaboradas a mano por diversos grupos indígenas, hacen de esta localidad un gran centro turístico.

Oaxaca es una de las ciudades mejor comunicadas del estado, cuenta con carreteras, líneas de ferrocarril y un aeropuerto internacional que da servicio a aeronaves de mediano alcance. Posee también una infraestructura turística muy concentrada, lo que ha favorecido su desarrollo económico y social, teniendo actualmente según datos preliminares del INEGI (1991), una población de 212,943 habitantes, dato que se considera inexacto, ya que el organismo operador del agua potable de la ciudad abastece a una población mayor de 279,000 habitantes.

Fisiográficamente la ciudad se encuentra asentada en una región sísmica de la Sierra Madre del Sur, sobre depósitos aluviales recientes, rocas metamórficas y sedimentarias antiguas. El clima que prevalece en la ciudad es semiseco-semicálido, la temperatura media anual varía entre 20.1° y 20.6°C; la precipitación alcanza valores entre 590 a 680 mm, siendo junio el mes más húmedo.

La ciudad se ha establecido sobre suelos de alta productividad agropecuaria. Los suelos predominantes son los feozem háplicos, en los cuales no se tiene problemas para obras de ingeniería civil. Los vertisoles crómicos localizados hacia el sur y caracterizados por ser suelos arcillosos expandibles, y los de tipo regosol extendidos al norte y suroeste de la ciudad y limitados por roca, permiten el asentamiento humano.

En lo que respecta al recurso hidráulico, la ciudad cuenta con fuentes superficiales y subterráneas. Los ríos Atoyac y Salado constituyen las corrientes superficiales más importantes, teniendo un volumen medio anual de 93 y 78.4 millones de m<sup>3</sup> respectivamente. En cuanto al agua subterránea, el acuífero del Valle de Zimatlán es el que satisface las demandas de la población, teniendo una recarga anual de 40 millones de m<sup>3</sup> y una extracción de 10 millones de m<sup>3</sup>, lo que favorece la extracción de agua para diversos usos. (31)

El tipo de vegetación existente en los alrededores de la ciudad varía según las condiciones físicas; así, al noroeste existen áreas con selva baja caducifolia, al sureste prevalece también este último tipo de vegetación, además de algunos bosques de pino, y en las áreas restantes como no es posible el desarrollo de la agricultura, la ganadería está extensamente favorecida.

### 6.3.2.- Redes de distribución de agua potable en la ciudad de Oaxaca de Juárez.

La fuente de agua potable de la ciudad está formada por aguas superficiales y subterráneas, ambas están localizadas en el interior del valle y son manejadas por el organismo operador Administración Directa de Obras y Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Oaxaca (ADOSAPACO), cuya función se inició en el año de 1944.

Las aguas superficiales están constituidas por tres manantiales que afloran de los cerros cercanos. El San Agustín-Vista Hermosa localizado al noroeste de la ciudad, cerca del margen del Río Atoyac, proporciona un gasto de 155 L/seg (lps), el agua es conducida por tuberías de hierro fundido y tuberías de asbesto-cemento, utiliza tuberías de 14" y hace un recorrido de alrededor de 14 Km hasta la planta potabilizadora del Cerro del Fortín. A esta planta sólo le llegan 99 lps, esto es debido a que durante el trayecto existen escurrimientos e infiltraciones, además de diversas derivaciones y otras captaciones.

El manantial San Felipe del Agua está localizado al norte de la ciudad, tiene un gasto de 37 lps y el agua es conducida a través de tubería de asbesto-cemento de 8" de diámetro. Otro manantial importante es el Huayapan, localizado al noroeste de la ciudad cerca del cauce del río Salado, tiene un gasto de 8 lps, y el agua es transportada mediante tuberías de hierro fundido y asbesto-cemento con diámetros de 5, 6 y 8 pulgadas: la línea de conducción descarga a la red de distribución de la ciudad.

Por lo que toca al agua subterránea, se tienen 29 pozos de captación y 3 galerías filtrantes, dando un gasto de 405 lps; la profundidad promedio de los pozos es de 20 m y están localizados en áreas cercanas a los cauces de los ríos Atoyac y Salado. Por facilidad en el manejo, las captaciones se dividieron en cuatro zonas: la margen izquierda del río Atoyac, la margen derecha del mismo río, la zona sur (aeropuerto) y la zona oriente (Santa Cruz Amilpa).

En la margen izquierda del río Atoyac se cuenta con 9 pozos y una galería filtrante, proporcionando un gasto de 131 lps. El agua extraída es bombeada a un cárcamo donde la mayoría es distribuida, y el restante de 34.2 lps llega a la potabilizadora del Cerro del Fortín. La conducción se inicia en el pozo Pueblo Nuevo, utilizando tubería de asbesto-cemento con diámetros de 14, 15 y 18 pulgadas.

La margen derecha del río Atoyac cuenta con 8 pozos con un gasto promedio de 88 lps. La conducción del agua se inicia en el pozo Arenal a la planta Cerro del Fortín, mediante tuberías de asbesto-cemento de 10 y 11 pulgadas.

En la zona sur están localizados 7 pozos con un gasto promedio de 123 lps, el agua es distribuida durante su recorrido y sólo una derivación de los pozos 15 y 14 es enviada a la planta potabilizadora de San Antonio de la Cal.

La zona oriente cuenta con 5 pozos y una galería filtrante; esta última opera sólo 8 horas para evitar el abatimiento de su nivel. El agua es conducida a un tanque denominado Sierra Juárez a través de tubería de asbesto-cemento de 10, 14 y 20 pulgadas, del tanque se envía entonces a la potabilizadora de San Antonio de la Cal.

En la ciudad existen tres plantas potabilizadoras: Fortín I, Fortín II y San Antonio de la Cal. Las dos primeras abastecen a alrededor del 40% de la población, y la tercera alrededor del 20%; el 30% restante es proporcionado por pozos de captación directa.

La potabilización del agua en las plantas se lleva a cabo de la manera siguiente: en Fortín I y en San Antonio de la Cal, se hace uso de permanganato de potasio y hexametáfosfato de sodio para reducir la concentración de hierro y manganeso. Los procesos de tratamiento en ambas plantas incluyen mezclado, aereación de químicos, sedimentación, filtración, cloración y almacenamiento. La planta Fortín I tiene una capacidad de 300 lps, el gasto que le llega es de 222.78 lps y corresponde a agua procedente del manantial Vistahermosa, de la margen derecha del río Atoyac y del rebombeo del Tecnológico, proporcionando éstos 99, 89 y 34 lps respectivamente. El agua ya potabilizada es distribuida a la red mediante bombeo y rebombeo y por gravedad.

La planta potabilizadora San Antonio de la Cal (planta desferrizadora) tiene capacidad de 450 lps, el agua que le llega tiene un gasto de 45 lps. La fuente de captación son pozos de la zona oriente y derivaciones de la zona sur. El agua ya tratada es bombeada a la red de distribución de colonias y fraccionamientos cercanos.

La planta potabilizadora Fortín II es utilizada para tratar los excedentes de la planta Fortín I o cuando existe sobrecarga de la misma. El proceso de potabilización de esta planta es semejante a la de Fortín I, con la diferencia de que utiliza sulfato de aluminio como agente coagulante.

La distribución y regulación del agua potable de la ciudad se lleva a cabo mediante líneas de tuberías de asbesto-cemento, hierro fundido, PVC (en la periferia de la ciudad) y Extrupac en algunas colonias. Los diámetros de las tuberías van de 24 a 3 pulgadas. Asimismo, se cuenta con 12 tanques para almacenar y regular la distribución, los cuales están localizados en diferentes puntos de la ciudad.

La ciudad de Oaxaca cuenta con un caudal de 600 lps y la población demanda 885 lps, lo que genera un déficit de 285 lps. Cabe mencionar que la dotación de agua en 1987 para cada persona era de 199 l/hab/día y para el año 2000 se estima que la población alcanzará los 500,000 habitantes y se tendrá que preparar una dotación de 300 l/hab/día. «»

#### 6.3.3.- Puntos de muestreo de agua potable para análisis de asbestos en la ciudad de Oaxaca.

De acuerdo a la metodología de muestreo y tomando en cuenta las condiciones particulares del sistema de agua potable de la ciudad, se seleccionaron 10 muestras de agua representativas, las muestras incluyen captaciones superficiales y subterráneas, influentes y efluentes de plantas potabilizadoras y tomas domiciliarias. (Fig. 5).

#### 6.3.4.- Resultados y Discusión.

Los resultados de los análisis realizados en campo y en el laboratorio se presentan en las tablas 19 y 20. De los resultados analíticos obtenidos para las diez muestras de agua analizadas, se tiene que el agua de suministro de la ciudad presenta valores de pH superiores de 7, lo que nos indica que se trata de un agua alcalina.

Los parámetros Alcalinidad total y Dureza de Calcio del agua superficial presentaron concentraciones apreciables, siendo los valores más altos de 331.8 y 631 mg/L respectivamente para la muestra tres que toma agua de la Planta Potabilizadora San Antonio. En el agua subterránea se encontró que las concentraciones más altas en el orden mencionado fueron de 93.45 y 142 mg/L, en la muestra procedente del Acueducto SARH (6).

Estas concentraciones indican que el agua de la ciudad de origen subterráneo es moderadamente dura, mientras que el agua superficial es un agua francamente dura. Lo anterior puede evitar que existan problemas de corrosión en las tuberías de A-C. No obstante, los elevados valores encontrados de Dureza de Calcio pueden influir en la formación de capas protectoras de gran espesor que en vez de beneficiar a la tubería pueden provocar impedimento al libre flujo del agua y causar por ello otro tipo de problemas.

En lo que respecta a los Cloruros y Sulfatos, las bajas concentraciones encontradas no tienen efecto sobre las tuberías de A-C, más aún que no rebasan los límites permisibles para agua potable que son 250 y 500 mg/L respectivamente.

En cuanto a los Sólidos Disueltos Totales (SDT), las muestras procedentes de Sierra Juárez (3), Acueducto SARH (6) y Entrada (9) y Salida (10) de la Planta San Antonio, rebasan el límite permisible de 500 mg/L para agua potable, por lo que con el tiempo, estas concentraciones pueden generar algún efecto adverso sobre los conductos de agua, además de impartir un sabor desagradable a ésta por el alto contenido de minerales disueltos.

Las concentraciones de Hierro y Manganeso encontradas en el agua de suministro muestran que el Hierro se presenta en concentraciones inferiores al límite permisible de 0.3 mg/L, en tanto que el Manganeso se encuentra en la mayoría de las muestras en concentraciones superiores al límite permisible de 0.1 mg/L. Tal es el caso de las muestras domiciliarias uno y dos procedentes de la combinación de agua de las Plantas Fortín I y II y, la toma domiciliaria tres originada de una mezcla de batería de pozos con la galería filtrante "Santa Cruz", así como las muestras de la salida de la Planta Fortín I (8) y entrada y salida de la Planta San Antonio (9) y (10), en donde los valores más altos correspondieron a las muestras de la toma domiciliaria (3) y del influente de la Planta Potabilizadora San Antonio (9), con concentraciones de 1.05 mg/L y 0.9 mg/L respectivamente.

La concentración de Silicio en el agua de suministro de la ciudad es insignificante, por lo que se infiere que los minerales que forman el subsuelo de la ciudad y sus alrededores presentan muy baja concentración de este elemento, además de que las condiciones fisicoquímicas que prevalecen en el medio hidrológico pudieran evitar la degradación de las rocas ricas en este elemento.

A pesar de no existir total concordancia en los índices de agresividad calculados con los datos obtenidos tanto en laboratorio como en el campo, como se muestra en la tabla 22. Se puede decir que el agua de la ciudad es moderadamente agresiva con tendencia a la no agresividad, por lo que la corrosión de la tubería de A-C puede ser muy ligera o casi nula. Estas condiciones evitarán la liberación de fibras de asbesto de la tubería hacia el agua.

Según los resultados mostrados en la tabla 21, no se detectaron fibras de asbestos en el agua potable analizada. Este hecho asegura que de presentarse el asbesto en forma natural, la concentración es tan pequeña que no puede ser detectada por el método utilizado (MET). Existe la posibilidad de incrementar la exactitud del método aumentando el volumen de agua a analizar, pero también sería importante realizar un muestreo sistemático para tener la plena seguridad de que el asbesto no se presenta en el agua ni aun en la época del año inmediatamente posterior a la temporada de lluvias, que es cuando existe mayor posibilidad de encontrar más fibras por la erosión de rocas con posible contenido de asbesto. (23.44)

Como resultado de lo anterior, se puede decir que el grado de deterioro de la tubería de A-C hasta el momento no es apreciable, pero debe recordarse que la formación de capas protectoras que ahora impiden la acción corrosiva del agua sobre la tubería evitando la liberación de fibras de asbesto de la matriz de asbesto-cemento de la tubería, puede a largo plazo ocasionar problemas de otra índole pero no menos graves.

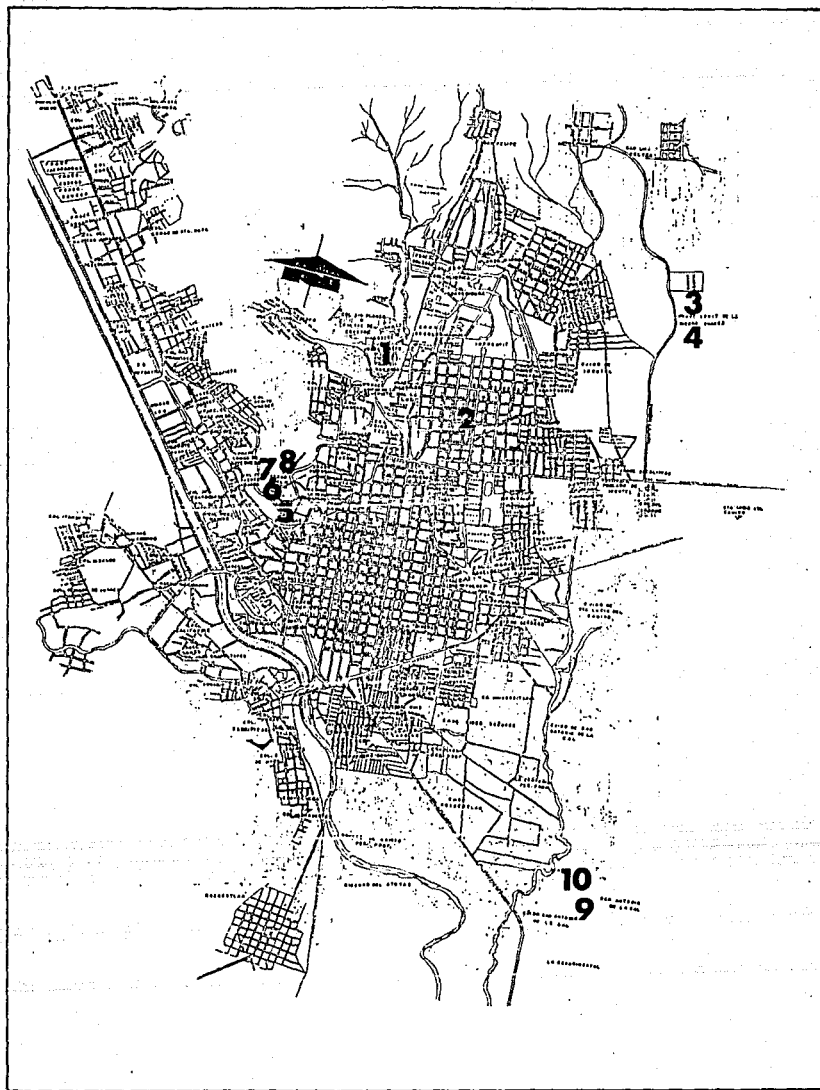


Fig. 5 PLANO DE LA CIUDAD DE OAXACA Y SITIOS DE MUESTREO.

**TABLA 19. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN CAMPO EN LA CIUDAD DE OAXACA DE JUAREZ, OAX.**

**FECHA DE MUESTREO Y ANALISIS: 8 DE AGOSTO DE 1991**

<b>NO. DE MUESTRA</b>	<b>DESCRIPCION SITIO DE MUESTREO</b>	<b>pH</b>	<b>ALC.T. (mg/L)</b>	<b>DUR Ca (mg/L)</b>	<b>I.A.</b>
1	ISSSTE (Dom. de Planta Fortín)	7.7	283.5	177.48	12.40
2	B. Domínguez, Col. Reforma (Dom.)	7.7	273.0	167.62	12.36
3	Lomá Sierra Juárez	7.1	388.5	345.10	12.22
4	Guclaguetza (Dom. del Manantial Huayapán)	8.4	178.5	138.04	12.79
5	Margen derecho (Pozos)	8.0	157.5	69.02	12.04
6	Acueducto SARH (de pozos Aero-puerto)	8.0	126.0	98.60	12.10
7	Manantial San Agustín-Vista Hermosa	7.3	346.5	207.06	12.16
8	Salida Planta Fortín	7.3	315.0	177.48	12.05
9	Entrada Planta San Antonio	7.3	367.5	305.66	12.40
10	Salida Planta San Antonio	7.4	451.5	315.52	12.60

**I.A. = Índice de Agresividad**



**TABLA 20. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA PARA LA CIUDAD DE OAXACA DE JUAREZ, OAX.**

**FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 12 DE AGOSTO DE 1991**  
**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 26 DE AGOSTO DE 1991**

NO. DE MUESTRA	pH	ALC.T. (mg/L)	DUR Ca (mg/L)	CL <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	SDT (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Si (mg/L)	I.A.
1	7.75	226.8	349	38.90	37.10	417	0.04	0.14	5.6	12.65
2	8.10	226.8	282	38.90	39.50	401	0.04	0.16	5.8	12.91
3	7.25	331.8	631	126.0	98.10	783	0.25	1.05	5.6	12.51
4	8.20	138.6	272	0.74	27.10	205	0.04	0.03	2.1	12.77
5	7.75	92.4	140	0.98	7.90	133	0.04	0.03	2.1	11.86
6	7.65	295.05	414	56.00	54.10	512	0.04	0.09	5.9	12.74
7	7.80	93.45	142	0.74	7.80	135	0.04	0.03	2.1	11.92
8	7.75	245.7	323	40.50	35.90	410	0.04	0.11	3.8	12.65
9	7.70	322.35	568	80.50	68.40	651	0.04	0.90	6.0	12.96
10	8.10	313.95	560	89.80	62.80	661	0.04	0.27	5.5	13.35

**I.A. = Indice de Agresividad**

**TABLA 21. RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE LA PRESENCIA DE FIBRAS DE ASBESTO EN MUESTRAS DE AGUA DE SUMINISTRO DE LA CIUDAD DE OAXACA DE JUAREZ, OAX.**

**METODO DE ANALISIS: MICROSCOPIA ELECTRONICA DE TRANSMISION  
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 21-AGOSTO-91  
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 14-OCTUBRE-91**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>RESULTADOS</b>
1	N.D.
2	N.D.
3	N.D.
4	N.D.
5	N.D.
6	N.D.
7	N.D.
8	N.D.
9	N.D.
10	N.D.

**N.D. = No detectable = menor de 32,344.5 fibras/L, que es el límite de detección del microscopio electrónico de transmisión, cuando se usan rejillas G300.**

**TABLA 22. COMPARACION DE INDICES DE AGRESIVIDAD (I.A.)  
DETERMINADOS EN CAMPO Y EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA  
CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA OAXACA, OAX.**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>I.A. (Campo)</b>	<b>I.A. (Laboratorio)</b>
1	12.40	12.65
2	12.36	12.91
3	12.22	12.51
4	12.79	12.77
5	12.04	11.86
6	12.16	12.74
7	12.10	11.92
8	12.05	12.65
9	12.40	12.96
10	12.60	13.35

## 6.4.- CIUDAD DE SAN LUIS POTOSI

### 6.4.1.- Aspectos Generales

En la ciudad de San Luis Potosí se localiza la cabecera municipal, y es además la capital del estado del mismo nombre, contando con la mayor concentración urbana. Fué fundada en 1592, y está situada en la parte central del municipio, cuyas coordenadas son 22°0' y 22°30' latitud norte y 101°10' y 100°55' de longitud oeste, a una altura de 1860 m sobre el nivel del mar.

Es una ciudad con gran atractivo arquitectónico, destacando sus plazas, museos y bellos edificios como el Palacio Municipal, la Plaza de armas, la Catedral, el Museo Regional, el de Artesanías y el de La Máscara, entre otras muchas edificaciones.

El gran desarrollo industrial y agropecuario ha originado el crecimiento poblacional actual, teniendo actualmente -según datos del INEGI (1991)-, un total de 525,819 habitantes, aunque según la Junta Estatal de Agua Potable y Alcantarillado (JERPA) de la ciudad, la población capitalina a la que se abastece de agua potable, es mayor de 600,000 habitantes.

La ciudad cuenta con diferentes vías de comunicación, destacando carreteras, vías de ferrocarril y un aeropuerto internacional. San Luis Potosí se encuentra asentada en la subregión centro o Cuenca de San Luis, de tipo endorreico. El subsuelo está formado por depósitos de material aluvial, fronteras del manto libre, espesores de rellenos y roca sello o impermeable del manto confinado. Los espesores del manto aluvial están en función de las formas topográficas existentes.

El tipo de rocas en esta zona es muy variado, destacando realtías, tobas, ignimbritas (rocas volcánicas), calizas y lutitas (rocas sedimentarias), arenas, gravas y arcillas entre otras (sedimentos no consolidados). El clima predominante es el seco estepario con temperatura media anual de 18°C. La precipitación media anual es de 359 mm, siendo los meses de junio, julio, agosto y septiembre los más lluviosos. <22>

Un factor de vital importancia que ha contribuido al desarrollo económico y social de la población lo constituye el recurso hidráulico; éste está representado por aguas superficiales y subterráneas, los primeros provienen del río España, del río Santiago y del Arroyo Potosino, almacenándose el agua de estas fuentes en Las Presas San José, El Peaje y Cañada del Lobo,

ubicados las dos primeras al suroeste de la ciudad sobre el embalse del río Santiago y el último sobre el cauce del río Española.

En lo que respecta al agua subterránea, la ciudad cuenta con dos tipos de acuíferos, uno somero y otro profundo; el primero se encuentra entre los 5 y 30 m y el segundo entre los 150 y 170 m. En general, las aguas del valle no presentan problemas para ser usadas como agua potable. Sin embargo, en algunos sitios el uso de aguas negras ha provocado contaminación del acuífero somero, principalmente por nitratos, dureza y sólidos disueltos totales. También al sur y sureste de la ciudad, hacia la zona termal, el acuífero profundo presenta elevadas concentraciones de flúor (hasta 3.6 mg/L), lo que hace necesario evaluar la posible contaminación por <sup>222</sup>Ra<sup>222</sup> radón. (61)

San Luis Potosí está ubicada sobre suelos de tipo feozens, litosoles y regosoles. Los primeros son de naturaleza neolítica, de textura media y limitados por roca (fase lítica). Los dos últimos son de color oscuro y soportan grandes extensiones de pastizales naturales e inducidos, los cuales favorecen la acumulación de materia orgánica debido al Sistema Reticular de los pastos.

En los alrededores de la ciudad, principalmente en sierras y lomeríos destaca el material crácico, caracterizado por una gran variedad de cactáceas como garambullo y el nopal Cardón el entre otros.

#### 6.4.2.- Redes de distribución de Agua de la Ciudad de San Luis Potosí.

La fuente de agua potable de la ciudad la forman aguas superficiales y subterráneas, ambas son manejadas por el JEARPA. Las superficiales están representadas principalmente por el agua procedente del río Santiago, la cual es almacenada en la Presa San José, localizada al poniente de la ciudad. Esta presa tiene una capacidad de almacenamiento de 5 millones de m<sup>3</sup> y una capacidad máxima para regularizar de 140 m<sup>3</sup>/seg. El agua de esta presa se envía a la Planta Potabilizadora llamada Planta Filtros a través de un canal a cielo abierto, el gasto a la entrada es de 300 lps. La presa funciona normalmente en tiempo de lluvias y aporta a la red de abastecimiento un poco menos de 15% del total anual.

En cuanto a las aguas subterráneas, se tienen 70 pozos de captación con un gasto medio diario de 1933.75 lps. Los pozos alcanzan profundidades superiores a los 500 m, con niveles

estáticos promedios de 140 m, y niveles de abatimiento de uno a dos metros por año; se estima que el agua extraída aporta el 85% a la red de distribución de agua potable. El agua de los pozos es clorada antes de ser enviada a la red de distribución de agua potable. En la actualidad se han adicionado tres pozos nuevos.

En San Luis Potosí existen dos Plantas Potabilizadoras, una de ellas, la de Filtros, se localiza en Lomas de Los Filtros, y la otra está localizada entre las colonias Las Lomas y Universitaria. La capacidad de las Plantas es de 310 y 120 lps respectivamente. La Planta Los Filtros es la más importante y opera a 200 lps., el agua que recibe la planta para su tratamiento procede de la Presa San José. El proceso de potabilización incluye sedimentación, coagulación-floculación, filtración y cloración al inicio y al final del tratamiento.

El agua ya tratada es almacenada y combinada con un residual de agua de pozos procedente del rebombear de San Leonel. El agua ya combinada y clorada nuevamente (si se requiere), es enviada a la red de distribución de la ciudad, a través de una línea de conducción de asbesto-cemento de 24 pulgadas de diámetro. El agua de suministro de la ciudad es transportada en su mayoría a través de tuberías de asbesto-cemento tanto en las líneas de conducción como en la de distribución.

En algunas líneas, principalmente en los alrededores de la ciudad, ya se está empleando tubería de PVC. En la zona antigua (centro de la ciudad), la tubería predominante es de hierro fundido. Los diámetros instalados van de dos a veinticuatro pulgadas.

La regulación de volúmenes y presiones de agua en la ciudad es efectuada mediante varios tanques superficiales y elevados, entre los cuales destacan los de San Leonel, los de la zona termal y el de aguas claras de los Filtros. La capacidad de los tanques en el orden indicado es de 3,500 y 2,000, de 3,000 y de 4,000 m<sup>3</sup>. También es importante mencionar que muchos de los pozos de la ciudad están conectados directamente a la red de distribución, por lo que en algunos casos esto crea problemas en las tuberías que están diseñadas para soportar sólo determinadas capacidades y presiones.

Se estima que en la ciudad la red de distribución abarca alrededor de 600 Km<sup>2</sup> de desarrollo. La tabla núm. 23 nos muestra algunas características de la tubería de la red de abastecimiento de la ciudad.

**TABLA 23. CARACTERISTICAS DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA CIUDAD DE SAN LUIS POTOSI, S.L.**

DIAMETRO	LONGITUD	TIPO DE MATERIAL
2½"	8,430	PVC
4 "	133,620	PVC
6 "	76,365	Asbesto-Cemento A/14
8 "	<u>340,180</u>	Asbesto-Cemento A/14
Total	585,595	

Fuente: SEAPA, 1970

La capacidad de abastecimiento actual de la ciudad es de 1974 lps, siendo su dotación promedio de 284 l/habitante/día y teniendo una cobertura de 83.7%. No obstante el gran caudal de que se dispone, se tienen múltiples deficiencias, principalmente debido a fugas en redes y tramos, perdiéndose una pérdida del orden de 675 L/seg, lo que representa un 34% del abastecimiento.

El gran desarrollo socioeconómico que está teniendo la ciudad demandará en un futuro cercano, cantidades enormes de agua de tal manera que para el año 2004 se tendrá una población de 826,127 habitantes, los cuales requerirán un gasto máximo diario de 3259 lps en una dotación de 284 l/habitante/día; demanda que tendrá que ser cubierta con la explotación de pozos a profundidades superiores a las existentes o el uso de otras cuencas hidrológicas localizadas a 70 y 100 Km de distancia de la ciudad.

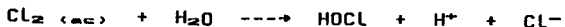
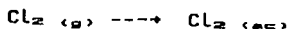
#### 6.4.3.- Puntos de muestreo de Agua Potable para Análisis de Asbestos en la ciudad de San Luis Potosí.

Tomando en cuenta la metodología básica de muestreo y considerando las condiciones particulares de la red de Agua Potable de la ciudad, se tomaron diez muestras representativas, las cuales incluyen aguas superficiales, subterráneas, influentes y efluentes de potabilizadoras, líneas de conducción y tomas domiciliarias.

#### 6.4.5.- Resultados y Discusión

Los resultados de los análisis de campo y de laboratorio se presentan en las tablas 24 y 25. Estos resultados no coinciden totalmente entre sí, lo cual puede deberse a diversos factores como el tiempo transcurrido entre muestreo y análisis de laboratorio. La importancia del tiempo transcurrido antes del

análisis radica en la posibilidad de cambios fisicoquímicos que se pueden minimizar con la preservación (en este caso se utilizó la transportación en refrigeración a 4°C), pero no anular totalmente. El bajo valor de pH reportado por el laboratorio para el efluente de la Potabilizadora Filtros (5.1) puede deberse a la reacción del Cloro adicionado al agua en calidad de desinfectante, como se muestra en las siguientes reacciones:



La formación de ácidos reduce la alcalinidad del agua y en consecuencia, si ésta no es suficiente, tiende a incrementarse el efecto corrosivo del agua hacia la tubería. (20)

El agua de suministro de la ciudad presenta bajas concentraciones de Dureza de Calcio, lo que indica que se trata de un agua blanda que puede favorecer la corrosión de las tuberías que conducen el agua.

Las bajas concentraciones de Cloruros y Sulfatos encontradas en el agua no representan ningún problema ya que las tuberías pueden resistir concentraciones mayores de estos compuestos sin sufrir alteración alguna. También los SDT se presentaron en concentraciones poco significativas, situación que nos indica una leve mineralización del agua.

En lo tocante al Hierro y al Manganeso, se detectó su presencia en algunas muestras pero sin que se rebase en ningún caso el límite permisible para agua potable de 0.3 y 0.1 mg/L respectivamente, lo cual puede favorecer la formación de capas protectoras contra la corrosión del agua frente a las tuberías.

En el caso del Silicio, se pudo observar que el agua subterránea que proviene de pozos con profundidades mayores de 300 m, presenta mayores concentraciones de este elemento, encontrándose la mas alta de 47 mg/L. Por su parte el agua superficial (proveniente de La Presa San José) presentó solamente 14 mg/L. Por lo anterior se puede afirmar que el Silicio en el agua subterránea procede del arrastre de arena que se genera de la degradación de las rocas por acción geohidrológica, más aun que en la zona existen condiciones termales que pueden facilitar la disolución de estos minerales.

Los índices de agresividad calculados en campo y en el laboratorio, muestran una marcada diferencia en sus valores, lo cual es un reflejo de los cambios producidos durante la determinación de pH, Alcalinidad total y Dureza de Calcio de cada una de las muestras. De los resultados obtenidos para las muestras analizadas, se concluye que se trata de un agua moderadamente agresiva, con excepción de las muestras del influente y efluente de la Potabilizadora Filtros (3 y 4), cuya



agresividad es reducida al combinarse estas aguas con aguas subterráneas como lo demuestran los valores obtenidos al analizar las muestras domiciliarias dos y diez.

La baja mineralización que presenta el agua y su moderada agresividad, hizo suponer que las tuberías de asbesto-cemento estaban sujetas al fenómeno de la corrosión. Sin embargo, esto no fue significativo ya que los resultados obtenidos sobre la determinación de la presencia de fibras de asbesto en el agua mostrados en la tabla 26, indican que no se detectaron fibras en ninguna de las muestras analizadas. Esto quiere decir, que tanto el agua superficial como el agua subterránea no son fuentes aportadoras de asbesto y por tanto, en esta región no existen depósitos de este mineral.

Además, las tuberías de asbesto-cemento no están tan deterioradas como para facilitar la incorporación de fibras de asbesto al agua, y, de acuerdo a los parámetros fisicoquímicos analizados, es posible que en las tuberías se formen películas o depósitos de carbonato que protejan de alguna forma el efecto ligeramente corrosivo del agua de abastecimiento de la ciudad y, por lo tanto, a esto se deba que aun en las tomas domiciliarias de la ciudad no se presenten fibras de asbesto.

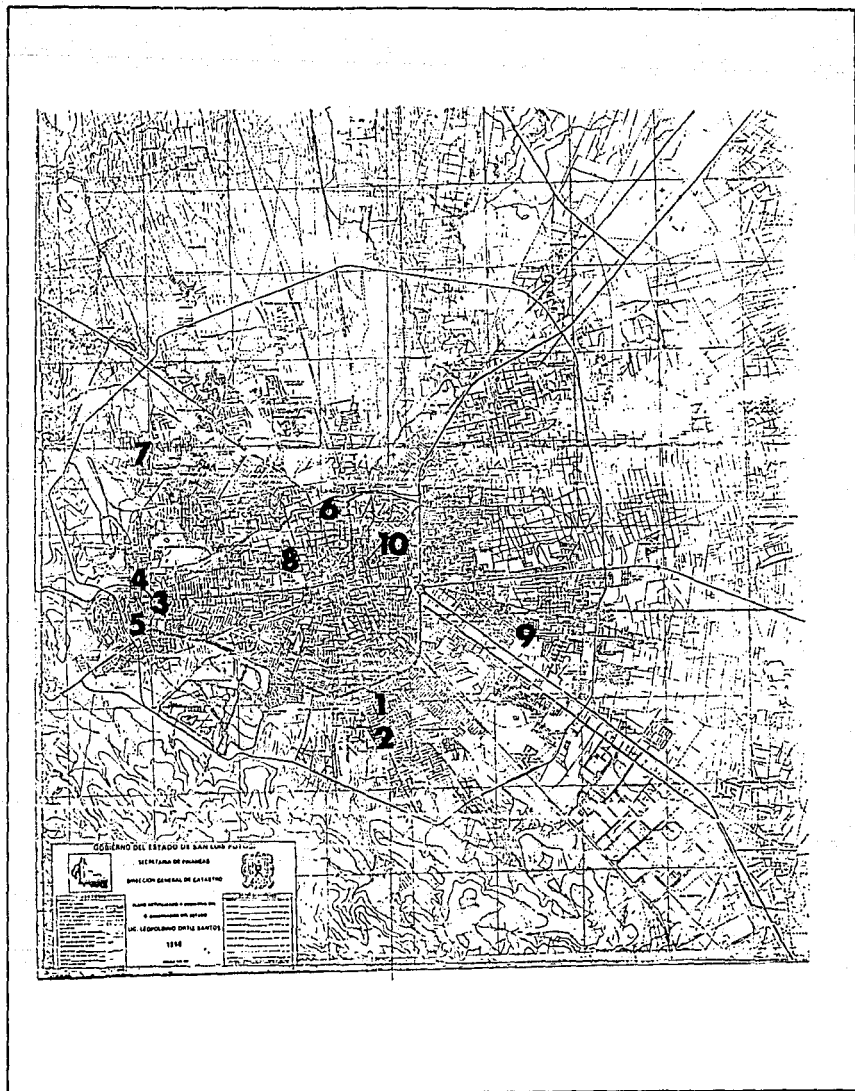


Fig. 6 PLANO DE LA CIUDAD DE SAN LUIS POTOSÍ Y SITIOS DE MUESTREO.

**TABLA 24. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN CAMPO EN LA CIUDAD DE SAN LUIS POTOSI, S.L.P.**

**FECHA DE MUESTREO Y ANALISIS: 4 Y 5 DE SEPTIEMBRE DE 1991**

<b>NO. DE MUESTRA</b>	<b>DESCRIPCION SITIO DE MUESTREO</b>	<b>pH</b>	<b>ALC.T. (mg/L)</b>	<b>DUR Ca (mg/L)</b>	<b>CL<sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>I.A.</b>
1	Rebomero San Leonel	7.9	126.0	48.31	9.86	11.69
2	Av. Juárez con República de Costa Rica (Dom.)	7.5	147.0	46.84	9.36	11.34
3	Agua tratada de Planta Potabilizadora Filtros	6.5	4.2	38.45	11.33	8.71
4	Entrada Planta Filtros de Presa San José	7.4	12.6	38.45	2.22	10.08
5	Excedente de San Leonel, entrada a Potabilizadora	8.1	126.0	48.31	7.88	11.88
6	Pozo Jardín Santiago	7.1	63.0	36.98	3.94	10.47
7	Pozo Mezquital	7.4	115.5	59.16	12.81	11.23
8	Pozo Nicolás Zapata	7.4	126.0	51.77	8.87	11.21
9	Pozo Abastos 2	8.0	110.3	64.09	8.87	11.85
10	Av. México con Durango (Dom.)	7.3	63.0	46.84	9.86	10.77

**I.A. = Índice de Agresividad**

**TABLA 25. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA PARA LA CIUDAD DE SAN LUIS POTOSI, S.L.P.**

**FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 13 DE SEPTIEMBRE DE 1991**  
**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 3 DE OCTUBRE DE 1991**

NO. DE MUESTRA	pH	ALC.T. (mg/L)	DUR Ca (mg/L)	CL <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	SDT (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Si (mg/L)	I.A.
1	7.3	106	47	13	27	160	<0.04	<0.03	27	11.00
2	7.4	106	51	12	27	170	<0.04	<0.03	27	11.13
3	5.1	1	41	5	85	110	<0.04	0.09	14	6.71
4	6.3	7	40	7	75	110	0.12	0.03	14	8.75
5	7.4	105	50	13	26	180	<0.04	<0.03	27	11.12
6	7.3	63	35	8	7	90	<0.04	<0.03	45	10.64
7	7.6	108	34	12	24	160	<0.04	<0.03	24	11.17
8	7.6	111	71	12	26	170	<0.04	<0.03	27	11.50
9	7.5	90	61	11	14	140	<0.04	<0.03	47	11.24
10	7.4	63	44	12	12	120	<0.04	<0.03	46	10.84

**I.A. = Indice de Agresividad**

**TABLA 26. RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE LA PRESENCIA DE FIBRAS DE ASBESTO EN MUESTRAS DE AGUA DE SUMINISTRO DE LA CIUDAD DE SAN LUIS POTOSI, S.L.P.**

**METODO DE ANALISIS: MICROSCOPIA ELECTRONICA DE TRANSMISION  
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 27-SEPTIEMBRE-91  
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 30-ENERO-92**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>RESULTADOS</b>
1	N.D.
2	N.D.
3	N.D.
4	N.D.
5	N.D.
6	N.D.
7	N.D.
8	N.D.
9	N.D.
10	N.D.

**N.D. = No detectable = menor de 32,344.5 fibras/L, que es el límite de detección del microscopio electrónico de transmisión, cuando se usan rejillas G3000**

**TABLA 27. COMPARACION DE INDICES DE AGRESIVIDAD (I.A.)  
DETERMINADOS EN CAMPO Y EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA  
CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA SAN LUIS POTOSI, SLP.**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>I.A. (Campo)</b>	<b>I.A. (Laboratorio)</b>
1	11.69	11.00
2	11.34	11.13
3	8.71	6.71
4	10.08	8.75
5	11.88	11.12
6	10.47	10.64
7	11.23	11.17
8	11.21	11.47
9	11.85	11.24
10	10.77	10.84

## 6.5.- CIUDAD DE MONTERREY

### 6.5.1.- Aspectos Generales

La ciudad de Monterrey es la capital del estado de Nuevo León, fué fundada en el año de 1596. Está localizada a 25°49' de latitud norte y 100°18' longitud oeste, en la zona centro del estado en un amplio valle rodeado de cerros y montañas de gran tamaño, destacando al sureste el Cerro de la Silla cuya altitud es de 1800m, al poniente el Cerro de las Mitras con 2000 m sobre el nivel del mar, y al sur La Sierra Madre con 2200 m sobre el nivel del mar. Monterrey es la tercera ciudad más grande e importante del país, cuenta con un área de 781.4 Km<sup>2</sup> y una población de 1,064,197 de habitantes (INEGI, 1991).

El gran desarrollo económico y social que tiene actualmente se debe principalmente al desarrollo de la industria manufacturera, lo que ha inducido el crecimiento de actividades complementarias, tales como el comercio, el transporte, los servicios financieros, y el desarrollo de las industrias eléctrica y de la construcción.

El crecimiento de la población de la ciudad ha originado un proceso de conurbación demográfica, formando la llamada Área Metropolitana de Monterrey, lugar donde vive el 79% de la población total de Nuevo León, el 21% de la población restante vive en los 44 municipios del estado. (30)

El Área Metropolitana de Monterrey (AMM), cuenta con una infraestructura diversificada predominando la actividad industrial y comercial. Los municipios que la forman incluyen Santa Catarina, Ciudad Nicolás Garza, Cd. Guadalupe, Monterrey, San Pedro Garza García, General Escobedo y Apodaca; estos últimos en proceso de conurbación.

La tabla número 28 muestra la superficie de los municipios que forman el área metropolitana, de acuerdo a esta información y sin considerar los municipios en proceso de conurbación, el área metropolitana tiene una superficie de 1,834.96Km<sup>2</sup>. Cabe mencionar que este dato está sobreestimado ya que se considera toda el área de los municipios participantes.

**TABLA 28. MUNICIPIOS QUE FORMAN EL AREA METROPOLITANA DE MONTERREY**

MUNICIPIO	SUPERFICIE EN Km <sup>2</sup>
* Apodaca	250.91
* General Escobedo	207.06
* Garza García	91.53
Santa Catarina	927.59
San Nicolás de Los Garza	57.19
Guadalupe	118.74
Monterrey	781.44
Total	2,434.46

Fuente: Síntesis Geográfica de Nuevo León, INEGI, 1981.

**\*MUNICIPIOS EN PROCESO DE CONURBACION**

Monterrey cuenta con numerosos centros comerciales, universidades, hospitales, hoteles y edificios arquitectónicos, destacando la Catedral Metropolitana, el Palacio de Gobierno y el Museo de Monterrey; además de numerosas atracciones turísticas en los alrededores del área metropolitana; por lo anterior, el flujo turístico cada vez es más abundante.

La comunicación y el transporte en la ciudad son bastante eficientes, cuenta con una red de carreteras en buen estado, vías férreas y dos aeropuertos que dan servicio nacional e internacional con un alto movimiento de vuelos y pasajeros. Ambos aeropuertos están localizados en el municipio de Apodaca. El de mayor afluencia, denominado "Mariano Escobedo", es para aviones de gran radio de acción, y el más antiguo, el Aeropuerto del Norte es centro de aviones particulares.

La ciudad se encuentra ubicada en la subprovincia de llanuras y lomeríos, perteneciente a la provincia de la Llanura Costera del Golfo Norte. La zona se caracteriza por tener rocas calcáreas del cretácico y bancos de calizas que se explotan al norte de Monterrey. Además presenta rellenos aluviales del cuaternario. El clima predominante es extremo, la temperatura media anual es de 22°C y su precipitación media anual es de 58mm. (7)



El AMM se encuentra asentada sobre suelos de tipo vertisol, que son profundos y de color oscuro, de origen aluvial. También los rendzinos con litosoles son propios del área y se caracterizan por ser someros, limitados por caliche, es decir, por una fase petrocálcica.

La vegetación a los alrededores del AMM está representada principalmente por matorral submontano y chaparral, y matorral espinoso tamaulipeco. En sitios más altos, son predominantes los bosques de pino-encino y encino. (30)

Un importante factor que ha contribuido al desarrollo de la economía del AMM es el recurso hidráulico, constituido por aguas superficiales y subterráneas. Las principales fuentes superficiales de que hace uso el AMM son los ríos Pablillo, que abastece a la Presa Cerro Prieto, el río San Juan que abastece a la Presa La Boca, llamada también "Presa Rojo Gómez", y el río Santa Catarina, de importancia porque recibe aguas fluviales y residuales del AMM. La disponibilidad del agua superficial en esta región depende en gran medida de la temporada de lluvias.

En lo que respecta a las aguas subterráneas, se explotan numerosos pozos que están dispersos en el área circunscrita a la ciudad de Monterrey, entre los que destacan los del sistema de Mina y los del sistema Buenos Aires, los cuales satisfacen en gran medida los requerimientos de agua de la ciudad.

#### 6.5.2.- Redes de Distribución de Agua Potable en la Ciudad de Monterrey

Las fuentes de agua potable del AMM están formadas por aguas superficiales y subterráneas, ambas son manejadas por el SADM (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey). Las primeras están representadas principalmente por tres presas de gran importancia por su capacidad almacenadora, éstas son: Presa Cerro Prieto, ubicada cerca del municipio de Linares a 133 Km de la ciudad de Monterrey, Presa La Boca ubicada en el Municipio de Santiago a 40 Km de la ciudad de Monterrey, y Presa Villa Santiago que recibe aguas de la Presa La Boca y de galerías filtrantes.

La capacidad de almacenamiento de la presa Cerro Prieto es de 400 millones de m<sup>3</sup> y la de la presa La Boca es de 40 millones de m<sup>3</sup>. Otra presa que en un futuro va a ser de gran importancia como fuente de abastecimiento, es la presa El Cuchillo, la cual está en construcción y se ubica cerca de la presa Cerro Prieto; la corriente del río San Juan abastecerá a esta nueva presa.

Existen dos plantas potabilizadoras en el AMM, la de San Roque, ubicada en el poblado del mismo nombre y la de La Boca, ubicada cerca de la presa del mismo nombre, al sur de Monterrey. La potabilizadora de San Roque recibe agua de la presa Cerro Prieto y el agua es conducida a través del acueducto Linares-Monterrey, cuyo recorrido es de 133 Km usando tubería de concreto y acero. La planta tiene capacidad para tratar 12 m<sup>3</sup>/seg, pero trata en promedio 3m<sup>3</sup>/seg. Se estima que esta planta abastece del 40% al 50% de la población metropolitana.

El proceso de tratamiento que sigue de manera general es el siguiente: el agua procedente de la presa Cerro Prieto es clorada, luego pasa a un sedimentador, posteriormente se filtra a través de un lecho de arena sílica y grava de diferentes tamaños, el agua filtrada es clorada nuevamente, y se envía entonces al tanque de almacenamiento de San Roque, de aquí es enviada a la red de distribución del AMM. La capacidad del tanque es de 67,500 m<sup>3</sup> y está fabricado de concreto reforzado. El proceso de potabilización es controlado automáticamente y la calidad del agua es inspeccionada constantemente, esto para garantizar su potabilidad.

La planta potabilizadora de La Boca trata en promedio 1m<sup>3</sup>/seg, su fuente de abastecimiento es la corriente del río San Juan, usa productos químicos floculantes como sulfato de aluminio y polielectrolitos, y cloro como agente potabilizador.

Las aguas subterráneas que maneja el SADM están representadas por pozos de captación y galerías filtrantes. Dos sistemas son los más importantes: el de Mina y el de Buenos Aires. En la ciudad operan 52 pozos, con profundidades que varían de 39 a 100m, a excepción de los pozos Monterrey I, Monterrey V y el pozo Topo Chico IV, cuya profundidad es de 968, 540 y 510 m respectivamente. La población abastecida con esta agua se estima que es un 10%.

La potabilización del agua de los pozos se realiza mediante la adición de cloro, luego es enviada a la red de distribución. La mayoría de la red de distribución de agua en el AMM, utiliza tuberías de asbesto-cemento, no así los acueductos que son de concreto y acero. Para regular y mantener aceptable la presión de agua en la red, se hace uso de seis tanques, distribuidos en el AMM.

El creciente desarrollo industrial y demográfico que está teniendo la ciudad demandará un volumen de agua superior al actual, el cual se estima en 9m<sup>3</sup>/seg. Una fuente alternativa, será el aprovechamiento eficiente de los escurrimientos temporales, ya que en la actualidad no es posible perforar más pozos por la reducida recarga de los acuíferos.

### 6.5.3.- Puntos de muestreo de Agua Potable para análisis de Asbestos en La Ciudad de Monterrey.

De acuerdo a la metodología básica de muestreo y teniendo en cuenta las condiciones particulares de la red de agua potable de la ciudad, se seleccionaron estratégicamente 11 muestras, las cuales son representativas de las principales fuentes de abastecimiento de agua potable e incluyen el influente de la potabilizadora de San Roque, salidas de tanques de rebombeo, pozos de captación y tomas domiciliarias, como se muestra en la figura 7 .

### 6.5.4.- Resultados y Discusión.

Los resultados de los análisis realizados en campo y en el laboratorio se presentan en las tablas 29 y 30, en ellas se puede apreciar diferencias significativas, principalmente la Alcalinidad Total y la Dureza de Calcio son los que presentan mayor variabilidad en sus resultados, esto pudo ser causado porque los análisis fueron realizados en circunstancias diferentes, lo que provocó cambios químicos en el agua, originando variaciones.

De acuerdo a los datos obtenidos del laboratorio, se tiene que el agua de la ciudad presenta valores de pH superiores a 7, lo que nos indica que se trata de un agua ligeramente alcalina.

La Alcalinidad Total y Dureza de Calcio, se presentan en concentraciones por debajo de la norma de calidad de agua potable que es de 400 mg/L y 175 mg/L respectivamente, una excepción a esta afirmación es la muestra cinco, correspondiente al agua del pozo Monterrey I, el cual rebasa en un 2.3% el límite máximo permisible para la Dureza de Calcio. Aunque estos parámetros se encuentran dentro de norma, el agua es por lo general moderadamente dura, lo que puede favorecer la formación de capas protectoras en el interior de la tubería evitando así su corrosión.

Las bajas concentraciones de Cloruros y Sulfatos encontradas en el agua de suministro no tienen efecto sobre los conductos de agua. Para Cloruros la mayor concentración corresponde a la salida del Tanque Canadá (agua de pozos del Sistema Mina), y para Sulfatos la más alta concentración pertenece al agua que viene de la Potabilizadora de San Roque.

Por lo que toca a los SDT, las concentraciones que se presentan en el agua no exceden el límite marcado para agua potable que es de 500 mg/L, lo que indica que este parámetro no significa problema alguno de corrosión para las tuberías. La concentración de Manganeseo en las muestras analizadas no fue detectable. Por otro lado, solamente se detectó Hierro en las muestras de el Tanque de San Roque (3), el pozo Monterrey I (5),

La toma domiciliaria siete proveniente del Tanque de San Roque y el influente de la planta potabilizadora San Roque (11). De éstas, sólo la muestra que procede del pozo Monterrey I (5) presentó una concentración que rebasa en 43% el límite permisible para agua potable (0.3 mg/L).

La concentración de Hierro obtenida en la muestra del Tanque de San Roque (3) fue 0.24 mg/L y la muestra domiciliaria siete (agua que viene del Tanque San Roque), presentó una concentración de Hierro de 0.06 mg/L. La diferencia entre ambas concentraciones nos indica que se dieron las condiciones apropiadas para la precipitación del Hierro en las tuberías, reduciendo la concentración de este elemento a la vez que forma películas protectoras que evitan el deterioro de la tubería.

En lo que respecta a la concentración de Silicio se tiene que el influente de la Potabilizadora San Roque procedente de la Presa Cerro Prieto presentó la mayor concentración (8.7 mg/L), cantidad que fue separada durante el proceso de potabilización de tal manera que el agua que llega al Tanque San Roque contiene una concentración de 5.9 mg/L. Las bajas concentraciones de Silicio encontradas en el agua superficial y subterránea, indican que la aportación de este elemento por deterioro de las tuberías de A-C es insignificante.

De la tabla de comparación de índices de agresividad determinados en campo y en laboratorio es posible inferir que, aun cuando para una misma muestra los valores no coinciden entre sí, es clara la tendencia a la no agresividad del agua, por lo que es probable que la tubería no presente problemas de corrosión y, por tanto, no exista desprendimiento de fibras de asbesto de la red de abastecimiento.

La tabla 31, muestra resultados obtenidos para la determinación de fibras de asbesto en el agua de la ciudad. En ella se observa que ninguna de las muestras analizadas presentó fibras de asbesto en concentraciones por encima del límite detectable (32,344.5 fibras /L), lo que quiere decir que si este mineral está presente en el agua, su concentración es tan baja que no es posible cuantificarlo. Con base en esta información, se puede afirmar que el subsuelo de la región carece de depósitos de asbesto.

La ausencia de fibras de asbesto en las líneas que abastecen los tanques de regulación y las tomas domiciliares indica que el efecto debido a las características fisicoquímicas e hidráulicas que prevalecen en los sistemas de conducción y distribución de agua y en los depósitos domiciliares, es mínimo, de tal manera que el deterioro de la tubería no es apreciable.

La alcalinidad natural que presenta el agua puede favorecer la formación de capas protectoras, las cuales evitarán la corrosión de los conductos de agua, impidiendo la liberación de fibras en el caso de las tuberías de asbesto-cemento.

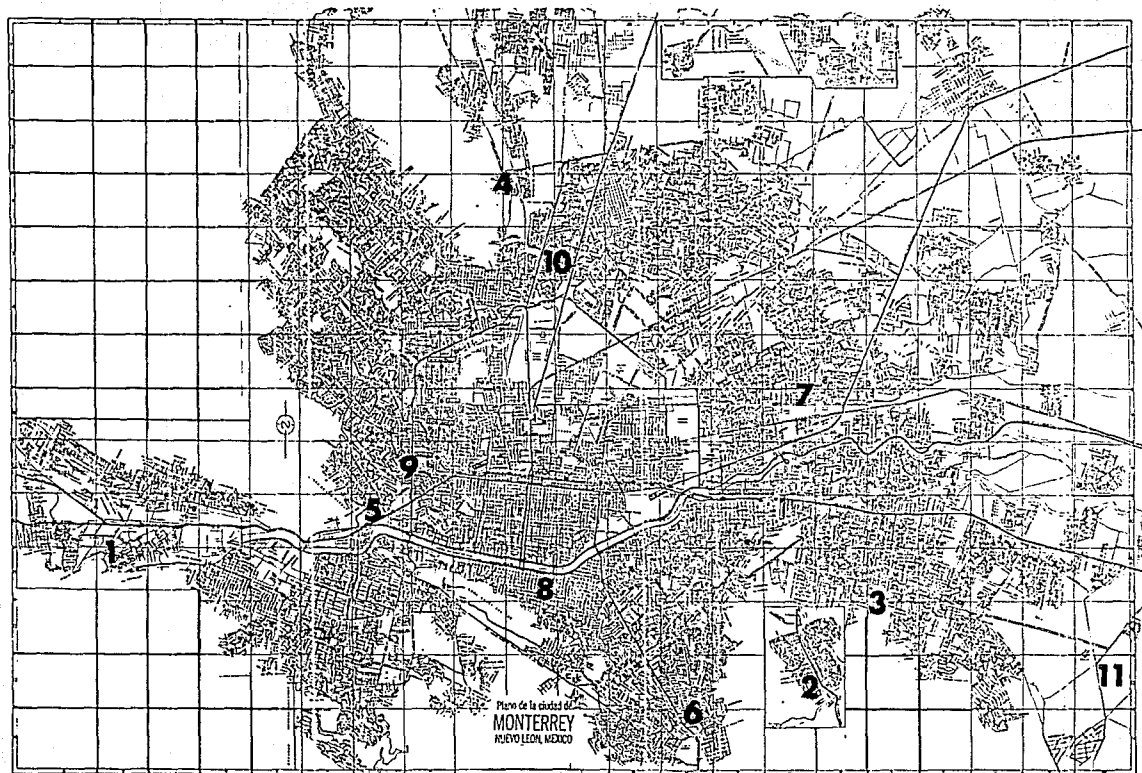


Fig. 7 SIITOS DE MUESTREO DE LA CIUDAD DE MONTERREY.

TABLA 29. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN CAMPO EN LA CIUDAD DE MONTERREY, N.L.

FECHA DE MUESTREO Y ANALISIS: 6 Y 7 DE SEPTIEMBRE DE 1991

NO. DE MUESTRA	DESCRIPCION SITIO DE MUESTREO	pH	ALC.T. (mg/L)	DUR Ca (mg/L)	CL <sup>-</sup> (mg/L)	I.A.
1	Parshall Huasteca (Sistema Buenos Aires)	7.7	194.25	177.5	11.83	12.24
2	Salida Tanque Satélite I	8.1	189.0	207.06	2.46	12.69
3	Tanque San Roque (de Presa Cerro Prieto)	8.2	94.5	216.92	21.68	12.51
4	Tanque Canadá	6.9	199.5	236.64	124.17	11.57
5	Pozo Monterrey I	7.3	199.5	226.78	6.90	11.96
6	Pozo Monterrey V	7.8	178.5	216.92	0.50	12.39
7	Av. Ruiz Cortinez y Av. Uno, Mpo. de Guadalupe (Dom.)	8.1	94.5	226.78	22.67	12.43
8	16 de Septiembre con Guanajuato, col. Independencia (Dom).	8.1	157.5	207.06	9.85	12.61
9	Vista Hermosa entre Bahamas y Uruguay (Dom).	7.3	178.5	167.62	4.93	11.78
10	San Nicolás, calle 14 de abril (Dom.)	7.1	283.5	266.22	63.77	11.98
11	Agua cruda de Planta Potabilizadora San Roque	8.0	73.5	108.46	15.77	11.90

I.A. = Indice de Agresividad

**TABLA 30. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN EL LABORATORIO  
CIECCA-IMTA PARA LA CIUDAD DE MONTERREY, N.L.**

**FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 13 DE SEPTIEMBRE DE 1991  
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 3 DE OCTUBRE DE 1991**

<b>NO. DE MUESTRA</b>	<b>pH</b>	<b>ALC.T. (mg/L)</b>	<b>DUR Ca (mg/L)</b>	<b>CL<sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>SDT (mg/L)</b>	<b>Fe (mg/L)</b>	<b>Mn (mg/L)</b>	<b>Si (mg/L)</b>	<b>I.A.</b>
1	7.85	166	125	3.94	39.60	220	0.04	0.03	3.8	12.17
2	7.75	160	122	6.65	82.20	260	0.04	0.03	5.2	12.04
3	7.95	72	153	27.10	198.6	330	0.24	0.03	5.9	11.99
4	7.30	182	148	88.20	111.9	440	0.04	0.03	5.0	11.73
5	7.95	176	179	10.84	60.8	260	0.43	0.03	5.0	12.45
6	8.00	164	128	2.95	17.2	200	0.04	0.03	3.4	12.32
7	7.70	71	160	27.60	197.3	320	0.06	0.03	5.4	11.76
8	7.85	135	112	12.81	100.6	240	*	*	*	12.03
9	8.00	174	96	8.87	45.7	230	*	*	*	12.22
10	8.10	184	113	86.72	115.5	430	*	*	*	12.42
11	*	*	*	*	*	230	0.06	0.03	8.7	*

\* No determinado

I.A. = Índice de Agressividad

**TABLA 31. RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE LA PRESENCIA DE FIBRAS DE ASBESTO EN MUESTRAS DE AGUA DE SUMINISTRO DE LA CIUDAD DE MONTERREY, N.L.**

**METODO DE ANALISIS: MICROSCOPIA ELECTRONICA DE TRANSMISION  
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 27-SEPTIEMBRE-91  
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 30-ENERO-92**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>RESULTADOS</b>
1	N.D.
2	N.D.
3	N.D.
4	N.D.
5	N.D.
6	N.D.
7	N.D.
8	N.D.
9	N.D.
10	N.D.
11	N.D.

**N.D. = No detectable = menor de 32,344.5 fibras/L, que es el límite de detección del microscopio electrónico de transmisión, cuando se usan rejillas G3000**



**TABLA 32. COMPARACION DE INDICES DE AGRESIVIDAD (I.A.)  
DETERMINADOS EN CAMPO Y EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA  
CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA MONTERREY, N.L.**

NUM. DE MUESTRA	I.A. (Campo)	I.A. (Laboratorio)
1	12.23	12.17
2	12.69	12.04
3	12.51	11.99
4	11.57	11.73
5	11.96	12.45
6	12.39	12.32
7	12.43	11.76
8	12.61	12.03
9	11.78	12.22
10	11.98	12.42
11	11.90	*

\*Por falta de datos analíticos no se determinó

## 6.6.- CIUDAD DE GUADALAJARA

### 6.6.1.- Aspectos Generales

La ciudad de Guadalajara está localizada en la zona centro del estado de Jalisco, sus coordenadas son 20°39' de latitud norte y 103°18' longitud oeste, y tiene una altura de 1550m sobre el nivel del mar. Fué fundada en 1542 y es el centro administrativo, económico y cultural más importante del Estado. «a»

Esta ciudad, además de ser la capital del estado de Jalisco, es la segunda ciudad más grande del país. Cuenta con un área de 219.11 Km<sup>2</sup> y una población de 1,628,617 habitantes (INEGI, 1990), dato quizá subestimado, ya que de acuerdo al Sistema de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA) de la ciudad, el área metropolitana tiene alrededor de 3,920,000 de habitantes.

El acelerado desarrollo socioeconómico de la ciudad ha provocado un crecimiento urbano en todas direcciones, lo que ha dado lugar al fenómeno de la conurbación, formando el área metropolitana, la cual está formada en la actualidad principalmente por los municipios de Guadalajara, Zapopan, Tonalá y San Pedro Tlaquepaque, además de otras localidades aledañas de menor tamaño. En el área metropolitana de Guadalajara (AMG), se concentran las principales actividades industriales, comerciales, turísticas y culturales de la región.

La ciudad se caracteriza por tener gran riqueza en arquitectura civil y religiosa, cuenta con diversos monumentos históricos, bellos edificios, museos regionales, plazas importantes como la Tapatía y la de la Liberación; la Catedral Metropolitana y el Teatro Degollado son algunos entre muchos otros de los atractivos que ofrece la ciudad a sus visitantes.

La ciudad de Guadalajara se encuentra bien comunicada con la mayoría de las ciudades del país, posee carreteras amplias y en buen estado, las cuales se conectan fácilmente con el anillo periférico que circunda el área metropolitana, lo que facilita el acceso a la ciudad desde cualquier punto. Las líneas férreas que existen son extensas y ofrecen buen servicio de transporte de carga y de pasajeros. A 17 Km de la ciudad, en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, se encuentra el aeropuerto internacional "Miguel Hidalgo", con vuelos nacionales e internacionales.

El área metropolitana de Guadalajara se encuentra ubicada en la Subprovincia de Guadalajara y parte de la Subprovincia de Chapala (al Sur de Guadalajara). Las rocas ígneas extrusivas presentes

en la zona pertenecen a la edad cenozoica y al periodo terciario, distinguiéndose tobos, pomosas, basaltos, rocas vítreas y andesitas. Hacia el sur de la ciudad se distingue una delgada franja formada de aluviones del cuaternario.

El clima predominante es el semicálido-subhúmedo, característico de una prolongada primavera. La temperatura media anual es de 19°C, siendo la temperatura del mes más frío, -enero-, de 15.4°C, y la del mes más cálido, -mayo-, 23.2°C. La precipitación mayor se da en verano, siendo el mes de julio el más lluvioso con 257.7 mm y los meses de menor precipitación, enero y febrero, con 40 mm aproximadamente. (27)

El recurso hidráulico de la región está representado por aguas superficiales y subterráneas, las primeras están formadas por ríos y manantiales y los segundos por pozos de captación. Los ríos principales de que hace uso el AMG, son el río Grande de Santiago, que corre de norte a sur y al cual se le une el escurrimiento temporal del río Verde. El río San Juan de Dios, que cruza la ciudad en forma entubada, es importante porque en él se vierten las aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales del área metropolitana.

La ciudad está rodeada de numerosos arroyos: al sureste se localizan el Colorado y La Culebra, al este destacan el Garabatos, el Agua Prieta, el Ocotlán y La Campana. Igualmente sobresalen numerosos pozos como El Guayabo, El Molino, El Mulato, El Cuervo, El Cuatro y Las Lomas, localizados hacia el suroeste de la ciudad. Asimismo, al norte se encuentra la presa llamada La Hacienda, al sur las presas El Ahogado, La Rusia y Las Pintas, y al este la presa Osorio.

Por otra parte, en el AMG se encuentran distribuidos numerosos pozos de captación, existiendo diferentes condiciones de explotación en el área; entre ellos se distinguen los de la región de Atejamac-Tecistlán, la cual suministra la mayor cantidad de agua potable de origen subterráneo a la ciudad. (27)

Guadalajara se encuentra asentada y rodeada de suelos de tipo regosol eútrico (suelo colapsable); éstos están asociados con suelos feozen háplicos, localizados al norte, sur, noreste y oeste del área metropolitana y también al suroeste, en el valle de Toluquilla y el cerro del Cuatro.

Predominan igualmente en la zona de cauces de los ríos los litosoles de textura media, en menor escala se encuentran diversos suelos como el cambisol crómico, el planosol eútrico, el vertisol pélico, Luvisol férrico con textura fina y los fluvisoles eútricos de textura media. «A»

En los alrededores de la mancha urbana, se distinguen pastizales. Los matorrales existen en las laderas de los cerros ubicados al norte, noreste, sureste y sur de la ciudad. Los bosques se localizan al oeste sobre la sierra de La Primavera.

#### 6.6.2.- Rades de distribución de Agua Potable en la ciudad de Guadalajara.

La fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad está constituida por aguas superficiales y subterráneas, ambas son manejadas por el SIAPA.

El lago de Chapala y el río Calderón abastecen de agua en un 80% a la población. El agua del lago es conducida a la ciudad de Guadalajara a través del acueducto Chapala-Guadalajara que recorre 60 Km mediante bombeo y por gravedad, el acueducto en un tramo está a suelo abierto y en otro tramo está cerrado. Este lago es el más grande del país, cuenta con una superficie de 1100Km<sup>2</sup> y una capacidad almacenadora de 6354 millones de m<sup>3</sup>.

El río Calderón es la fuente principal de la presa Calderón. La ciudad cuenta con tres plantas potabilizadoras: Planta 1, Planta 2 y Planta 3. Las plantas 1 y 2 usan agua del acueducto Chapala-Guadalajara, siguen el mismo proceso de tratamiento y tratan en promedio 8 y 1 m<sup>3</sup>/seg respectivamente. La capacidad de la planta 2 es de 3m<sup>3</sup>/seg. La planta 3 de San Gaspar, usa agua del río Calderón y en un futuro se usará también agua del río Verde.

La potabilización del agua en las tres plantas es semejante, la diferencia es que las plantas 2 y 3 son más modernas y utilizan para su manejo control automatizado; la planta 1 es más antigua y por lo tanto su proceso es de tipo convencional, con ligeras modificaciones.

De manera general, el agua se trata de la manera siguiente: primero se le da una precloración, luego se le adicionan reactivos químicos como sulfato de aluminio, cal y polielectrolito (tipo Petrofloc); posteriormente se pasa a un

tanque floculador-sedimentador, el agua clarificada es filtrada y nuevamente clorada. El agua ya tratada es almacenada y bombeada a la red de distribución. El efluente de la planta 3 es enviado mediante un llamado "acuaférico", hacia el norte de la ciudad, en tanto que el efluente de la planta 1 es combinado con agua de pozos del sistema Tesistán.

En lo que respecta a las aguas subterráneas, en el área metropolitana están distribuidos 120 pozos de captación, constituyendo varios sistemas de abastecimiento como el Toluquilla (situado al sur de la ciudad), el Tesistán, y el Agua Azul entre otros (ver tabla 33).

TABLA 33. FUENTES DE CAPTACION SUBTERRANEA PARA USO POTABLE EN LA CIUDAD DE GUADALAJARA

DESCRIPCION	CAPTACION
Sistema Toluquilla	26 pozos
Sistema Tesistán	40 pozos
Sistema Agua Azul	8 pozos
Manantiales Colomos	-----
Ciudad Granja	pozos de bajo caudal
Tepeyac	pozos de bajo caudal

FUENTE: SIAPA, 1991

La profundidad de los pozos es variable, para los del Sistema Tesistán es de 260 m y para los de Agua Azul de 100 m la profundidad promedio. Se estima que esta fuente proporciona a Guadalajara el 20% del agua potable. La potabilización del agua extraída consiste en la adición de cloro en forma líquida.

Algunos pozos como los del sistema Toluquilla presentan problemas de Fe y Mn, por lo que al agua de estos pozos se les trata primero con hexametáfosfato de sodio, luego el agua se clora y se envía a la red.

Otro de los problemas que se han detectado en el agua de Pozos del sistema Agua Azul es la presencia de cromo, por la infiltración de agua residual de las curtidurías; ante estos problemas, el SIAPA lleva a cabo un trabajo de inspección constante de la calidad del agua.

La regulación y control de la presión del agua en la red de conducción y distribución en la ciudad se efectúa mediante numerosos tanques de bombeo y rebombeo, construidos de concreto reforzado. Se estima que en la ciudad sólo existen tuberías de asbesto-cemento en un 99% de la red de distribución .

Aunque el abastecimiento de agua potable en la ciudad es satisfactorio, la mayoría de los domicilios y comercios cuentan con tinacos de asbesto-cemento para almacenar el agua y de esta manera asegurar su disponibilidad. En la actualidad, la demanda de la ciudad es de 13 m<sup>3</sup>/seg y se estima que para el año 2000 será de 25 m<sup>3</sup>/seg.

#### 6.6.3.- Puntos de muestreo de Agua Potable para análisis de Asbestos en la ciudad de Guadalajara.

Tomando en cuenta la metodología básica de muestreo y considerando las condiciones particulares de la ciudad, se seleccionaron 12 muestras representativas del agua de suministro. Estas muestras incluyen pozos, manantiales, influentes y efluentes de las plantas potabilizadoras más importantes por capacidad de operación, y tomas domiciliarias distribuidas en el área metropolitana (fig. 8).

#### 6.6.4.- Resultados y Discusión.

Los resultados de las análisis realizados en campo y en el laboratorio se presentan en las tablas 34 y 35. En dichos resultados se observa que existe una diferencia significativa entre los datos de campo y de laboratorio para las doce muestras de agua tomadas en la ciudad. Esta variación puede deberse a varias causas como: el tiempo transcurrido entre la fecha de muestreo y el análisis de laboratorio y los posibles cambios producidos por las elevadas concentraciones de Cloro residual (mayores de 2.5 mg/L) encontradas en algunas de las muestras. El exceso de Cloro en el agua puede favorecer el aumento de Acidez y el consiguiente aumento de agresividad del agua hacia la tubería, por lo que es muy probable que se detecten fibras de asbesto en el agua de suministro.

Considerando los resultados de laboratorio, tenemos que el pH del agua es muy variable, encontrándose que el valor más ácido (pH = 5.5) corresponde a la muestra dos procedente del Efluente de la Planta Potabilizadora 1, en tanto que para esta muestra el resultado de campo fue 6.7. Posteriormente, en la muestra domiciliar (9) que toma agua de la misma fuente, el pH alcanzó

un valor de 6.3, es decir, la disminución de la concentración de Cloro residual produce una disminución ligera de la Acidez del agua.

Por otra parte, la Alcalinidad total y la Dureza de Calcio presentaron valores muy variables, encontrándose en la muestra que corresponde al tanque Toluquilla (1), en el que se combina el agua de varios pozos, los valores más altos fueron de 960 y 177 mg/L respectivamente. En la muestra procedente del Sistema Testistán (4), las concentraciones respectivas alcanzaron valores de 43 y 15 mg/L.

Para el caso de las muestras de agua superficial, representadas por los efluentes de las Plantas Potabilizadoras 1 y 3, el agua presenta muy bajos valores de Alcalinidad y Dureza de Calcio, por lo que es posible que se tengan problemas de corrosión en las tuberías de conducción de agua.

Tomando en cuenta los límites máximos permisibles para Agua Potable para estos parámetros, (tabla 9), tenemos que el agua del Tanque Toluquilla rebasa en un 140% la Alcalinidad y en 1% la Dureza de Calcio, en tanto que la muestra domiciliaria (5) proveniente de este sistema sólo rebasa en 6% el límite permisible para Alcalinidad.

Las concentraciones de Cloruros y Sulfatos encontradas en el agua son en general bajas, por lo que es poco probable que causen efectos sobre los conductos de agua.

Un detalle que se observa en la tabla 35, es que el efluente de la Planta Potabilizadora 1, módulo Poniente 3, presentó una concentración de Sulfatos superior a la del Influyente de la misma Planta (108 y 20 mg/L respectivamente). El aumento en la concentración posiblemente se deba a los residuos de los productos químicos utilizados durante la potabilización del agua.

Por lo que toca a los SDT, se encontraron diversos niveles de mineralización, notándose que el Tanque Toluquilla y las muestras domiciliares cinco y diez, rebasan en 104%, 6% y 2% respectivamente el valor máximo permisible para agua potable que es de 500 mg/L.

Aun cuando en el agua de suministro de la ciudad se detectó la presencia de Hierro y Manganeso, sólo en la muestra del Tanque Toluquilla (1) y en la muestra domiciliaria (5) se encontraron concentraciones de Manganeso de 0.47 y 0.12 mg/L respectivamente, valores que son superiores al límite máximo permisible de 0.1 mg/L para agua potable.

El influente de las Plantas Potabilizadoras 1 y 2 presentó Hierro en una concentración de 7.25 mg/L, en tanto que el influente de la Planta Potabilizadora 3 (San Gaspar) tuvo solamente 0.62 mg/L

de Hierro. Estas concentraciones fueron reducidas durante el proceso de potabilización hasta valores muy por debajo del límite marcado para agua potable (0.3 mg/L). También el influente de la Planta Potabilizadora 1 y 2 presentó una concentración de Manganoso de 0.12 mg/L, el cual también fue separado durante el proceso de potabilización, alcanzándose una concentración de 0.07 mg/L.

La concentración más alta de Silicio se encontró en el Tanque Toluquilla (1), siendo su valor de 63 mg/L, mientras que en el Tanque Bóvedas del Sistema Tesistán y en el Tanque del Sistema Agua Azul, las concentraciones fueron de 46 y 42 mg/L respectivamente. Estos valores son superiores a los encontrados en las muestras domiciliarias (5), (9), (10) y (11), lo que hace suponer que existe una ligera precipitación de los minerales que contienen Silicio disminuyendo así su concentración en el agua. En cuanto a la muestra domiciliaria (12), la concentración de Silicio fue igual que en la fuente original que es el Tanque Toluquilla, esto se debe a que la distancia entre ambos puntos es muy corta (4 Km aproximadamente) por lo que la concentración de este elemento no tiene mucha oportunidad de cambiar entre ambos puntos.

En el influente de la Planta Potabilizadora 1 se encontró una concentración de Silicio de 45 mg/L, valor que fue reducido a 13 mg/L por el proceso potabilizador al igual que en la Planta Potabilizadora 3 de San Gaspar, en la que la concentración de Silicio del influente (13 mg/L) se redujo a 11 mg/L. Las condiciones termales que prevalecen en las aguas subterráneas pueden favorecer la disolución de los minerales que contienen Silicio, de ahí que en estas aguas se alcancen las concentraciones más altas. La presencia de Silicio en el agua superficial es el resultado del arrastre de materiales arenosos por la corriente de agua.

Los índices de agresividad enlistados en la tabla 37, presentan mucha diferencia entre los valores de campo y los de laboratorio. De acuerdo a estos últimos, en esta ciudad se puede encontrar agua con los tres grados de agresividad para las tuberías de A-C (alta, media y baja), siendo la muestra dos, tomada a la salida de la Planta Potabilizadora 1 la más agresiva: I.A. = 8.2. Le siguen en importancia por su agresividad, el agua de las muestras domiciliarias (9), (11) y (12). El agua del Sistema Toluquilla (1) es mucho menos agresiva, pero cuenta con una alta tendencia a la incrustación por su elevado contenido de SDT. Las muestras restantes presentan un agua moderadamente agresiva.

La agresividad del agua en las muestras mencionadas va a tener una acción corrosiva sobre las tuberías de A-C, por lo que es bastante lógico esperar encontrar fibras de asbesto en el agua que fluye a través de ella.

De acuerdo a los resultados obtenidos para la determinación de fibras de asbesto en el agua de la ciudad, mostrados en la Tabla 36, donde se observa que de las 12 muestras analizadas, sólo en



una de ellas, en la muestra (11), que es una toma domiciliaria de la Colonia Jalisco, se presentó un racimo de fibras de asbesto sobre un pequeño trozo de tubería de cemento, estas fibras fueron tan pequeñas y abundantes que no fue posible cuantificarlas. Sin embargo, se pudo notar que son fibras muy leñosas, confirmándose mediante análisis de difracción de rayos X, que el tipo de asbesto encontrado corresponde al tipo Crocidolita, mineral que es empleado en pequeña cantidad para aumentar la resistencia mecánica de las tuberías de A-C. (==)

En la toma domiciliaria donde se encontró las fibras de asbesto, el agua es muy agresiva y viene de la planta Potabilizadora 3 de San Gaspar, en ella aunque el efluente tiene una moderada agresividad (I.A. de 10.25), no se detectaron fibras de asbesto, además la agresividad del agua se ve incrementada durante su conducción y distribución, hasta alcanzar el valor de 9.84 en el agua de la toma domiciliaria, el recorrido del agua de la planta Potabilizadora 3 al sitio de muestreo es de alrededor de 4 Km, y el lugar de muestreo corresponde a una zona de reciente instalación de tuberías de agua potable ( más de un año).

Con esta información, es muy posible que las fibras de asbesto presentes en el agua de esta muestra se deban más que al deterioro de la tubería a los posibles residuos de asbesto-cemento que se produjeron durante el montaje e instalación del sistema de abastecimiento de agua de esa Colonia.

Como en las demás muestras no se detectaron fibras de asbestos en el agua, entonces se puede afirmar que las aguas superficiales y subterráneas que sirven como fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad, no son fuentes de asbesto, además si se encontrará éste en el agua, las concentraciones serían tan bajas que no podrían ser detectadas por el método de Microscopía Electrónica de Transmisión. Esto mismo puede suceder en la red de conducción y distribución de agua que usan tuberías de asbesto-cemento, las cuales aunque están sometidas a diversos niveles de agresividad, el efecto corrosivo aún no es significativo.

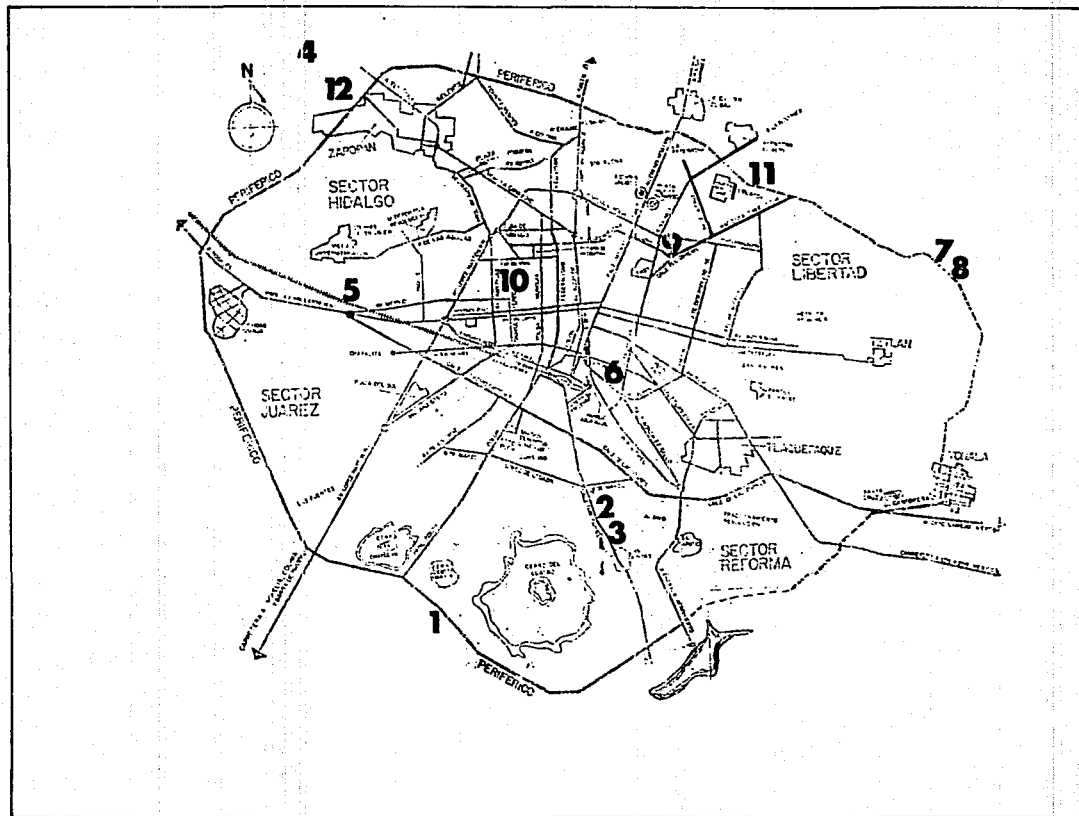


Fig.8 PLANO DE LA CIUDAD DE GUADALAJARA Y SITIOS DE MUESTREO.

TABLA 34. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN CAMPO EN LA CIUDAD DE GUADALAJARA, JAL.

FECHA DE MUESTREO Y ANALISIS: 9 Y 10 DE SEPTIEMBRE DE 1991

NO. DE MUESTRA	DESCRIPCION SITIO DE MUESTREO	pH	ALC.T. (mg/L)	DUR Ca (mg/L)	CL <sup>-</sup> (mg/L)	I.A.
1	Tanque Toluquilla	6.9	1102.50	147.90	98.55	12.11
2	Salida Potabilizadora 1 Módulo Poniente 3	6.7	52.50	49.30	28.58	10.11
3	Entrada Potabilizadoras 1 y 2	7.8	105.00	24.65	8.87	11.21
4	Tanque Bóvedas del sistema Tesistán	7.7	51.45	34.51	0.99	10.95
5	Av. México con Calle Nelson (Dom).	7.2	514.50	98.60	47.30	11.90
6	Tanque 8, Sistema Agua Azul (comb. de pozos)	6.9	147.00	98.60	47.30	11.90
7	Entrada Potabilizadora 3 San Gaspar.	7.9	63.00	34.51	0.99	11.23
8	Salida Potabilizadora 3 San Gaspar.	7.1	42.00	14.80	12.81	9.89
9	Sierra Nevada con Sierra Morena, col. Independencia (Dom.)	6.6	52.50	49.30	25.62	10.01
10	Calle Gregorio Dávila con Miraflores, col. Mezquital (Dom.)	7.1	451.50	78.88	46.32	11.65
11	Calle Amatitán con Periférico, col. Jalisco Mpo. de Tonalá (Dom.)	7.3	42.00	19.72	4.93	10.21
12	Av. Palmeras con Av. Pistaches, col. Tozana, sist. Tesistán Mpo. de Zapopan (Dom.)	7.4	57.75	14.80	0.50	10.33

I.A. = Índice de Agresividad

**TABLA 35. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN EL LABORATORIO CIECRA-IMTA PARA LA CIUDAD DE GUADALAJARA, JAL.**

FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 13 DE SEPTIEMBRE DE 1991

FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 3 DE OCTUBRE DE 1991

NO. DE MUESTRA	pH	ALC.T. (mg/L)	DUR Ca (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	SDT (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Si (mg/L)	I.A.
1	7.1	960	177	97	20	1020	0.30	0.47	63	12.33
2	5.5	14	59	21	108	200	0.04	0.07	13	8.42
3	7.3	103	15	15	35	170	7.25	0.12	45	10.49
4	7.4	43	15	4	50	70	0.04	0.03	46	10.21
5	7.3	422	57	51	43	530	0.17	0.12	37	11.68
6	7.8	125	118	47	84	350	0.05	0.06	42	11.97
7	7.4	53	31	6	13	80	0.62	0.05	13	10.62
8	7.3	29	31	8	29	80	0.09	0.03	11	10.25
9	6.3	25	55	19	83	160	0.15	0.05	13	9.44
10	7.3	386	93	47	59	510	0.16	0.10	32	11.86
11	6.8	34	32	10	28	90	0.29	0.04	12	9.84
12	7.0	42	14	5	50	70	0.04	0.03	46	9.77

I.A. = Índice de Agresividad

**TABLA 36. RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE LA PRESENCIA DE FIBRAS DE ASBESTO EN MUESTRAS DE AGUA DE SUMINISTRO DE LA CIUDAD DE GUADALAJARA, JAL.**

**METODO DE ANALISIS: MICROSCOPIA ELECTRONICA DE TRANSMISION  
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 27-SEPTIEMBRE-91  
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 30-ENERO-92**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>RESULTADOS</b>
1	N.D.
2	N.D.
3	N.D.
4	N.D.
5	N.D.
6	N.D.
7	N.D.
8	N.D.
9	N.D.
10	N.D.
11	RACIMO DE FIBRAS
12	N.D.

**N.D. = No detectable = menor de 32,344.5 fibras/L, que es el límite de detección del microscopio electrónico de transmisión, cuando se usan rejillas G3000**

**TABLA 37. COMPARACION DE INDICES DE AGRESIVIDAD (I.A.)  
DETERMINADOS EN CAMPO Y EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA  
CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA GUADALAJARA, JAL.**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>I.A. (Campo)</b>	<b>I.A. (Laboratorio)</b>
1	12.11	12.33
2	10.11	8.42
3	11.21	10.49
4	10.95	10.21
5	11.90	11.68
6	11.90	11.97
7	11.23	10.62
8	9.89	10.25
9	10.01	9.44
10	11.65	11.86
11	10.21	9.84
12	10.33	9.77

## 6.7.- CIUDAD JUAREZ

### 6.7.1.- Aspectos Generales

Ciudad Juárez está situada al norte del estado de Chihuahua, a 31°44' de latitud norte y 106°29' de longitud oeste, a una altura de 1277 m sobre el nivel del mar, en ella se localiza la cabecera municipal. Fue fundada en el año de 1659 con el nombre de "Paso del Norte", en 1888 recibió el nombre de Ciudad Juárez. Es la quinta ciudad más grande del país, y es la primera en la industria maquiladora de ensamblado, destacando también como ciudad estratégica para las negociaciones comerciales entre México y Estados Unidos de Norteamérica. (12)

Cuenta con varios parques industriales, un amplio mercado de exportación, gran disponibilidad de recursos energéticos y un creciente desarrollo turístico; en este último sector destacan centros comerciales y de diversión, monumentos históricos y religiosos como la Catedral y la iglesia de San Lorenzo, entre otros.

Ciudad Juárez limita al norte y noreste con el estado de Texas, E.U., sirviendo el río Bravo como límite internacional entre ambos países. (13) Es la ciudad más poblada del estado de Chihuahua, se estima una población de 797,679 habitantes (INEGI, 1990), dato quizá subestimado ya que en la ciudad se abastece de agua potable a una población de 1,286,734 habitantes.

La ciudad se encuentra bien comunicada con las principales ciudades del país, cuenta con carreteras, líneas de ferrocarril y un aeropuerto internacional de mediano alcance, que da un buen servicio tanto de pasajeros como de carga. Está asentada a orillas del río Bravo que es una zona sísmica, sobre suelos aluviales depositados por el mismo río; hacia el noroeste afloran rocas ígneas y sedimentarias, localizadas estas últimas también al suroeste. Al oeste de la ciudad se localizan algunas serranías como la del Paso, La Candelaria y la del Armadillo.

Los suelos son de tipo regosol eútrico con textura fina asociados con yermosoles lúvicos y/o regosoles calcáreos sin inclusiones en su fase salina. Son comunes los suelos profundos con capas arenosas y en algunos casos como al este, sureste y rumbo al río Bravo presentan alto contenido de sodio, lo que los hace corrosivos para los materiales de construcción, a veces en forma severa o también que puedan colapsarse. Los suelos someros localizados al suroeste no causan problemas para el desarrollo urbano.

En general, sólo en el Valle de Juárez se encuentran tierras de buena calidad agrícola que son utilizadas para el cultivo por medio de riego y bombeo. (14) La vegetación de los alrededores

de la ciudad se caracteriza por poseer plantas xerófitas, herbáceas, arbustos de diferentes tamaños, chaparral espinoso, agaves y yucas entre otros.

El clima predominante es el semiárido, con temperatura promedio de 17.1°C y mínima de -10°C. La precipitación media anual considerando lluvias y nevadas se estima que es de 233 mm. (27)

El recurso hidrológico de la región lo forman el agua superficial del río Bravo que es utilizada en el Distrito de Riego número 7 del "Valle de Juárez" y el agua subterránea representada por los acuíferos del Bolsón del Hueco, cuyo uso principal es como fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad, además de que mucha de ella es aprovechada para el mismo distrito de riego. (27)

#### 6.7.2.- Redes de distribución de Agua Potable en Ciudad Juárez, Chihuahua.

La fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad está constituida por agua subterránea. Existen 120 pozos profundos, éstos incluyen algunos pozos particulares. La mayoría están localizados en toda la mancha urbana y son administrados por la Junta Municipal de Agua y Saneamiento (JMAS); la profundidad de estos pozos es variable, siendo el promedio estimado de 280 m.

La ciudad está dividida por la línea del ferrocarril en dos zonas, una baja (con mayor frontera con EU) y una alta (con menor frontera con EU). En la zona baja hacia el sureste se localiza la batería de pozos "A", la cual está formada por 9 pozos que se conectan a una línea principal; esta línea conduce el agua hacia la red de distribución de esta zona. En la zona alta, también hacia el sureste, se localiza la batería de pozos "B", formada por 9 pozos conectados entre sí por una línea de conducción que transporta el agua extraída hacia la red de distribución de esta zona.

La mayoría de los pozos de captación cuentan con un pequeño sistema desarenador y un equipo de cloración. El agua así potabilizada es bombeada a tanques de regulación, y rebombada luego a la red de distribución de la ciudad; en algunos casos no existe regulación y el pozo alimenta directamente a la red de distribución, previa cloración.

En algunos pozos de la ciudad el agua presenta concentraciones de manganeso por encima del límite permisible (0.1 mg/L), lo que hace necesario removerlo. La medida que está realizando el JMAS para resolver este problema es la aplicación previa de hexametazulfato de sodio al agua, luego se clora y se envía a la red de distribución. La regulación de la presión del agua en la red de conducción y distribución de la ciudad se hace mediante el



uso de tanques superficiales y elevados, construidos en su mayoría de cemento reforzado. El agua de suministro es muchas veces bombeada a estos tanques y de aquí es rebombada hacia la red de distribución.

Se considera que el 90% de la tubería de conducción y distribución de la ciudad es de asbesto-cemento y se estima que tiene una edad mayor de 60 años. En el centro de la ciudad la tubería que prevalece es de hierro fundido.

En la actualidad, aunque no existe escasez de agua en la ciudad, se estima que sólo se dispondrá de ella en un período de 9 años, después del cual se tendrá problema de abastecimiento. Como medida para resolver este problema, se están perforando más pozos al noroeste de la ciudad y se está llevando un estricto control del uso del agua que se suministra, imponiendo drásticas multas a los usuarios que la desperdicien. Debido a que el suministro de agua en la ciudad es constante, la población no hace uso de tinacos de asbesto-cemento para almacenar agua.

#### 6.7.3.- Puntos de Muestreo de Agua Potable para análisis de Asbestos en Ciudad Juárez, Chihuahua.

De acuerdo a la metodología básica de muestreo y considerando las condiciones particulares del Sistema de Abastecimiento de la ciudad, se seleccionaron 11 muestras para análisis fisicoquímicos, metales y asbestos. Las muestras incluyen pozos, baterías de pozos, rebombes y tomas domiciliarias (ver Fig. 9).

#### 6.7.4.- Resultados y Discusión.

De acuerdo a los resultados de los análisis realizados en campo y en el laboratorio muestreados en las tablas 38 y 39, se infiere que el agua de la ciudad es ligeramente alcalina, encontrándose que en la muestra dos, de la Batería de Pozos "A" y en la muestra domiciliaria cuatro, se presenta el valor más alto que fue de 7.9 mg/L para ambas. En cuanto a la Alcalinidad total, las concentraciones encontradas están muy por debajo del límite máximo permisible para agua potable (400 mg/L como  $\text{CaCO}_3$ ). La concentración más alta para este parámetro, se encontró en la muestra nueve, que es agua que viene del Pozo 48.

Las concentraciones de Dureza de Calcio muestran que el agua de los pozos de captación 23 y 48 son las que presentan mayor dureza (296 y 330 mg/L como  $\text{CaCO}_3$  respectivamente), en tanto que las muestras correspondientes a la Batería de Pozos "A" y a la toma domiciliaria (2 y 6) presentaron la menor concentración: 85 mg/L como  $\text{CaCO}_3$ . De lo anterior se desprende que el agua de la ciudad cuenta con dos calidades en cuanto a dureza, es decir, hay agua moderadamente dura y agua francamente dura. Tomando en cuenta que para un agua potable el valor máximo permisible de Dureza de Calcio es de 175 mg/L, entonces las muestras del rebombeo y las

de los pozos 23 y 48, además de las tomas domiciliarias 4, 5 y 11, presentan concentraciones fuera de norma. Este hecho no significa necesariamente un riesgo para la salud, y en cambio puede favorecer la formación de depósitos en las tuberías evitando el deterioro de los conductos de agua por la formación de películas protectoras.

Aun cuando las concentraciones de Cloruros y Sulfatos encontradas en el agua no rebasan la norma para agua potable (250 y 500 mg/L respectivamente), la influencia de ambos puede causar una ligera corrosión en las líneas de conducción de conducción y distribución de agua e interactuar con los componentes solubles de las tuberías, dañando la matriz asbesto-cemento.

La mayoría de las muestras analizadas presentaron concentraciones apreciables de SDT, rebasando en algunos casos el límite máximo permisible para agua potable (500 mg/L), como sucede con las muestras domiciliarias 4, 5, 7 y 11, además del agua de rebombeo 9, Belisario Domínguez y Zacatula. La muestra domiciliaria 7 presentó la más alta concentración de SDT (963 mg/L), lo que hace suponer que algunos de los minerales disueltos en el agua precipitarán y formarán incrustaciones en la red de agua potable de la ciudad, en tanto que otros, por efecto de la velocidad, la presión y las características fisicoquímicas del agua, no alcanzarán a sedimentarse y se trasladarán hasta las tomas domiciliarias pudiendo ocasionar posiblemente oclusión de algunas de ellas.

Con respecto a las concentraciones de Hierro y Manganeso, se tiene que el Hierro estuvo presente en todas las muestras en concentraciones muy por debajo del límite permisible para agua potable: 0.3 mg/L, mientras que el Manganeso aunque se detectó en siete muestras, solamente en la Batería de Pozos "B" y en las tomas domiciliarias 4 y 11 se rebasó el límite permisible para este elemento (0.1 mg/L), en 30, 50 y 80% respectivamente. Generalmente el Hierro y el Manganeso se encuentran en el agua subterránea en forma reducida y, cuando las condiciones son apropiadas, estos metales pueden pasar a su forma oxidada dando lugar a compuestos insolubles que precipitan y forman películas en las paredes de los conductos de agua, lo que evitará la corrosión. Sin embargo, si se produce un incremento paulatino en el espesor de la película de manera que cause problemas de incrustación y reducción del diámetro interior de la tubería, se dará origen a un aumento en la presión del agua, ocasionando fisuras en la tubería o posiblemente el estallamiento de las mismas. (17.00.61)

Las concentraciones de Silicio encontradas en el agua de suministro no muestran variación apreciable entre las aguas de origen subterráneo y las muestras provenientes de tomas domiciliarias, lo que significa que la aportación de este elemento por deterioro de la tubería de A-C es mínima y por

tanto, la fuente principal es el arrastre de materiales suspendidos que no fueron eliminados en los desarenadores con que cuenta cada pozo de captación.

Por otra parte, en la tabla 41, se presenta la comparación de índices de agresividad en la que se puede observar que, aun cuando no existe total coincidencia entre los valores obtenidos con datos de campo y de laboratorio, ambos muestran que el agua de suministro de la ciudad tiene tendencia a la no agresividad, por lo que es poco probable que las características de calidad de esta agua causen corrosión en las tuberías con el consiguiente riesgo de liberación de fibras de asbesto al agua. De hecho, en la tabla 40 se muestran los resultados de la determinación de fibras de asbesto en el agua de suministro de la ciudad y se observa que en ninguna de las 11 muestras analizadas se presentaron fibras de asbesto, lo que pone de manifiesto que no existe aportación de este material por parte del agua subterránea, y por lo tanto es muy probable que en el subsuelo de este municipio no haya depósitos de dicho material.

No obstante, también se puede afirmar que el grado de corrosión que sufren las tuberías de asbesto-cemento que forman el sistema de abastecimiento de la ciudad, no es significativo como para facilitar la liberación de fibras de asbesto, además, es muy posible que las características fisicoquímicas que presenta el agua sean apropiadas para facilitar la formación de capas protectoras en las paredes de las tuberías, lo que evitará en gran medida el deterioro de las mismas.

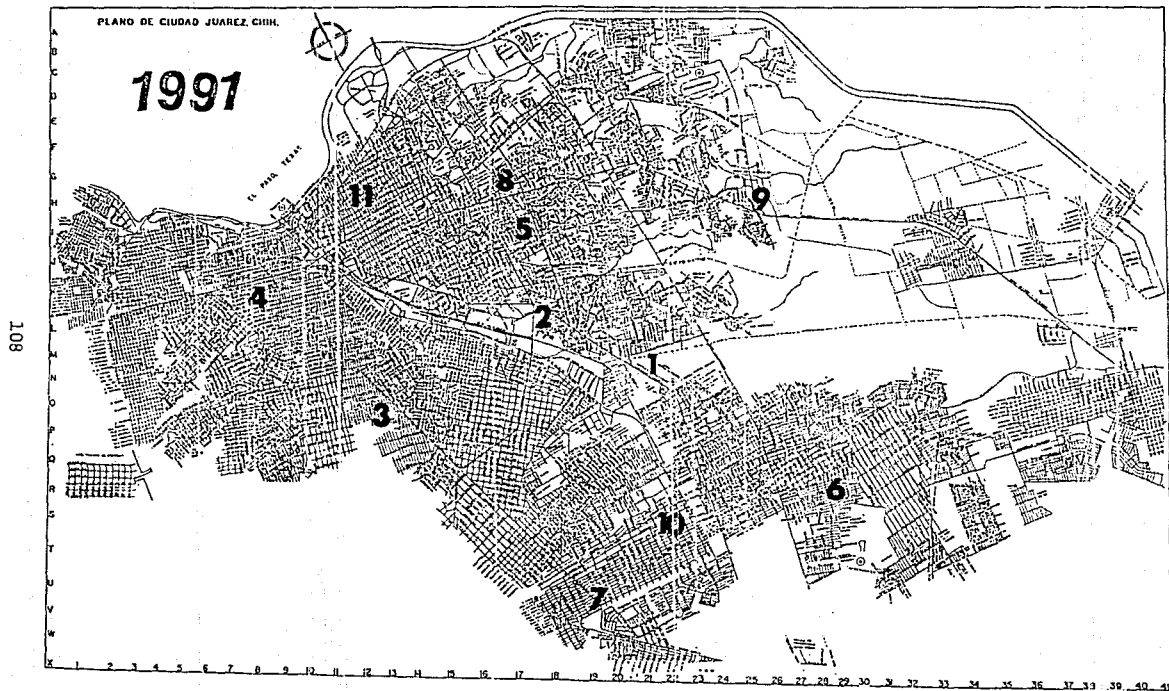


Fig. 9 SITIOS DE MUESTREO EN CIUDAD JUAREZ.

**TABLA 38. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN CAMPO EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA.**

**FECHA DE MUESTREO Y ANALISIS: 24 Y 25 DE SEPTIEMBRE DE 1991**

NO. DE MUESTRA	DESCRIPCION SITIO DE MUESTREO	pH	ALC.T. (mg/L)	DUR Ca (mg/L)	CL <sup>-</sup> (mg/L)	I.A.
1	Bateria Pozos (P. 135) "B"	8.00	178.50	157.76	78.84	12.45
2	Bateria Pozos (P. 45) "A"	8.00	157.50	96.14	78.84	12.18
3	Rebombero 9, Belisario Domínguez y Zacatula	7.76	220.50	216.92	142.89	12.43
4	Actinio y 16 de Septiembre (Dom.)	7.59	220.50	256.36	123.18	12.33
5	Revolución 902 (Dom.)	7.40	178.50	384.54	162.60	12.23
6	Av. Granjero 7416 (Dom.)	7.80	136.50	96.67	34.49	11.92
7	Av. de Los Aztecas 6333 (Dom.)	7.70	220.50	138.04	68.98	12.18
8	Pozo 23	7.40	189.00	325.38	157.68	12.19
9	Pozo 48	7.45	210.00	354.96	187.24	12.32
10	Pozo 92	7.80	126.00	118.32	34.49	11.97
11	Perú 765 y Chapultepec (Dom.)	7.40	183.75	281.01	145.36	12.11

**I.A. = Índice de Agresividad**

**TABLA 39. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN EL LABORATORIO  
CIECCA-IMTA PARA CIUDAD JUAREZ, CHIH.**

**FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 27 DE SEPTIEMBRE DE 1991  
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 5 DE NOVIEMBRE DE 1991**

<b>NO. DE MUESTRA</b>	<b>pH</b>	<b>ALC.T. (mg/L)</b>	<b>DUR Ca (mg/L)</b>	<b>CL<sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>SDT (mg/L)</b>	<b>Fe (mg/L)</b>	<b>Mn (mg/L)</b>	<b>Si (mg/L)</b>	<b>I.A.</b>
1	7.80	148	111	84.2	111.5	483	0.09	0.13	15.5	12.01
2	7.90	140	85	95.0	106.2	483	0.08	0.03	15.8	11.98
3	7.80	135	206	162.0	139.3	685	0.05	0.04	15.1	12.24
4	7.90	150	215	143.0	172.1	698	0.10	0.15	14.9	12.41
5	7.70	158	206	171.0	227.7	956	0.05	0.03	15.9	12.21
6	7.50	120	85	52.0	67.7	349	0.13	0.03	15.9	11.51
7	7.80	140	121	90.0	116.3	963	0.05	0.05	14.9	12.03
8	7.70	158	296	171.0	229.0	411	0.05	0.05	16.2	12.37
9	7.70	210	330	202.0	342.6	125	0.08	0.06	17.7	12.54
10	7.65	110	113	46.0	57.9	77	0.04	0.03	14.9	11.74
11	7.70	160	261	154.0	213.8	843	0.08	0.18	15.7	12.32

**I.A. Índice de Agresividad**

**TABLA 40. RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE LA PRESENCIA DE FIBRAS DE ASBESTO EN MUESTRAS DE AGUA DE SUMINISTRO DE CIUDAD JUAREZ, CHIH.**

**METODO DE ANALISIS: MICROSCOPIA ELECTRONICA DE TRANSMISION  
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 18-OCTUBRE-91  
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 30-ENERO-92**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>RESULTADOS</b>
1	N.D.
2	N.D.
3	N.D.
4	N.D.
5	N.D.
6	N.D.
7	N.D.
8	N.D.
9	N.D.
10	N.D.
11	N.D.

**N.D. = No detectable = menor de 32,344.5 fibras/L, que es el límite de detección del microscopio electrónico de transmisión, cuando se usan rejillas G3000**

**TABLA 41. COMPARACION DE INDICES DE AGRESIVIDAD (I.A.)  
DETERMINADOS EN CAMPO Y EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA  
CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA CD. JUAREZ, CHIH.**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>I.A. (Campo)</b>	<b>I.A. (Laboratorio)</b>
1	12.45	12.01
2	12.18	11.98
3	12.43	12.24
4	12.33	12.41
5	12.33	12.21
6	11.92	11.51
7	12.12	12.03
8	12.19	12.37
9	12.32	12.54
10	11.97	11.74
11	12.11	12.32



## 6.8.- CIUDAD DE MEXICALI

### 6.8.1.- Aspectos Generales

La ciudad de Mexicali está situada a 32°39' de latitud norte y 115°27' de longitud oeste, a una altura de 3 m sobre el nivel del mar; en ella se ubica el municipio del mismo nombre. Es una ciudad fronteriza fundada a principios del presente siglo (1903) al unirse las obras de regadío en el bajo delta del Río Colorado. (25)

Mexicali es una de las ciudades del estado de Baja California Norte con mayor concentración urbana. Según datos preliminares del INEGI (1990), la ciudad cuenta con 602,390 habitantes, dato considerado subestimado, ya que en la ciudad, el Servicio de Agua Potable sirve a una población estimada de 700,000 habitantes.

La importancia de esta ciudad se basa en sus diversas actividades comerciales, industriales y agrícolas, cuenta con grandes centros comerciales y gran variedad de pequeños comercios. La industria está muy diversificada, destacando en primer lugar la de productos alimenticios y en segundo término la de maquila de ropa. En los alrededores de la ciudad se cultivan diversos productos, siendo el trigo, la cebada, el algodón, la alfalfa y el cártamo los más importantes.

Para satisfacer los requerimientos de la creciente industria manufacturera y el comercio, en la ciudad se ubican los centros educativos más importantes del estado, destacando la Universidad de Baja California, el Instituto Tecnológico de Mexicali y el Centro de Capacitación Técnica Industrial entre otros. Asimismo se cuenta con una infraestructura bastante eficiente en cuanto a comunicaciones y transportes, sobresaliendo una extensa red de carreteras, vías férreas y un aeropuerto internacional ubicado a 20 Km de la ciudad.

Contrastando con la planicie de la ciudad, al suroeste se localiza el Cerro Prieto en una elevación de 260 m y un área de 7 Km<sup>2</sup>. En la zona afloran rocas metamórficas del mezozoico afectadas por rocas ígneas intensivas ácidas (granito, granodiorita). Los conglomerados, areniscas y aluviones son característicos de los depósitos clásticos continentales de tipo deltáico y de Piamonte que se presentaron en el cuaternario.

El clima predominante de la ciudad es el cálido seco, con temperaturas medias anuales superiores a 23°C y precipitaciones promedio anuales de 132 mm. (25)

La principal corriente hidrológica de la ciudad es el río Colorado, cuyas aguas están disponibles todo el año. Su nacimiento se localiza en las Montañas Rocallosas en el estado de Wyoming, EUA. Este río sirve de límite internacional al norte de la ciudad en un tramo de 20 Km. El escurrimiento medio anual de este río en tierras mexicanas es de 1850 millones de m<sup>3</sup> y sirve para abastecer al Distrito de Riego núm. 14, para dotar de agua potable a la ciudad de Mexicali y a otras áreas urbanas del Valle, y para abastecer de agua a la ciudad de Tijuana a través del Acueducto Río Colorado-Tijuana. Otras corrientes que se han producido por drenajes agrícolas en el Valle de Mexicali son el Río Hardy y el Río Nuevo. (12)

Los suelos característicos de la región son los llamados yermosoles y xerosoles, éstos, aunque son pobres en materia orgánica, con fertilización y agua de riego son capaces de alcanzar buena productividad. A los alrededores de la ciudad se desarrollan especies de tipo xerófitas, agrupaciones de matorral esclerófilo como varaprieta, chamizo colorado, brasíto, y encienillo entre otros.

#### 6.8.2.- Redes de distribución de agua potable en la ciudad de Mexicali.

El río Colorado es la única fuente de agua potable de la ciudad. La administración de esta agua es realizada por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM). El agua del río es almacenada en la Presa Morelos, de donde es conducida a cielo abierto a través del canal Benassine, el cual en algunos tramos está recubierto y en otros no. Esta agua sirve de influente a tres plantas potabilizadoras que existen en la ciudad: Planta 1, Planta 2 y Planta 4. Las plantas entregan en promedio 679, 854 y 764 L/seg respectivamente de agua potable a la ciudad de Mexicali.

El proceso de potabilización de la Planta 1 consiste en eliminar la materia flotante mediante el uso de rejillas, adicionándole simultáneamente polielectrolito al agua, luego se pasa a tanques sedimentadores, en donde el sobrenadante es combinado con sulfato de aluminio en solución para facilitar la clarificación. El agua clara se pasa entonces a través de un lecho filtrante que consiste de arena sílica y grava de diferentes espesores. El agua ya filtrada se desinfecta mediante la adición de cloro líquido, luego es almacenada en tanques de concreto protegidos de la interperie con lámina galvanizada. El agua así potabilizada es enviada a la red de distribución mediante rebombeo.

Actualmente en las Planta núm. 2 y 4 se lleva a cabo el siguiente proceso de potabilización: la materia flotante es eliminada mediante rejillas colocadas a través del conducto de entrada de

agua. Conjuntamente a esta operación, se le adiciona polielectrolito para facilitar la formación de flóculos, el agua con este producto químico se envía a un par de sedimentadores de cemento reforzado de capacidad aproximada de 7,000 m<sup>3</sup>. El agua clara del sedimentador (sobrenadante) es desinfectada usando cloro líquido, luego es bombeada y enviada a la red de conducción y distribución de la ciudad. En un futuro cercano se tiene proyectado que la Planta 4 siga el proceso de potabilización de la Planta 1.

La mayoría de la tubería que usa la red de suministro de agua potable de la ciudad es de asbesto-cemento. Otros tipos de tubería usados en menor escala son lockjoint (lámina recubierta con mortero) y PVC.

El abastecimiento de agua potable en la ciudad es constante las 24 horas del día, por tanto no existe escasez del líquido y no hay necesidad de que los usuarios cuenten con tinacos de asbesto-cemento o cisternas para almacenar el agua. Solamente cuando se realiza mantenimiento de alguna de las plantas ya sea por limpieza de los sedimentadores (la cual se realiza cada año), o por mantenimiento de los clarificadores (se realiza cada mes), la presión del agua disminuye y por tanto se reduce el suministro en alguna zona de la ciudad.

#### 6.8.3.- Puntos de muestreo de agua potable para análisis de asbestos en la Ciudad de Mexicali

De acuerdo a la metodología básica de muestreo y considerando las características particulares de la red de abastecimiento de agua potable de la ciudad, se seleccionaron 10 muestras representativas; éstas incluyen influente y efluente de las plantas potabilizadoras y tomas domiciliarias en diferentes puntos del área urbana (Fig. 10).

#### 6.8.4.- Resultados y Discusión.

Los resultados de los análisis de campo y de laboratorio se presentan en las tablas 42 y 43. En éstas se puede apreciar una diferencia significativa entre los valores de ambas determinaciones. No obstante, la diferencia que existe por separado es muy ligera, esto era de esperarse ya que la ciudad utiliza el río Colorado como única fuente de abastecimiento de agua potable, previa potabilización.

La variación que se observa entre los datos de campo y de laboratorio puede ser debida principalmente al tiempo ocurrido entre el muestreo y el análisis de laboratorio, a la exactitud del analista y probablemente a la presencia de cloro en exceso (se detecta más de 2 mg/L de cloro residual en efluentes de

potabilizadoras) que redujo la alcalinidad al ser utilizada ésta para neutralizar los ácidos que se producen durante la desinfección con cloro.

Lo anterior no es aplicable a los datos de campo para Sólidos Disueltos Totales, puesto que éstos fueron determinados usando un equipo portátil que debe haberse descalibrado durante el trayecto, por lo que dió lecturas muy diferentes a las obtenidas en el laboratorio, donde se usó gravimetría para su determinación. Las concentraciones determinadas con este método, concuerdan con los resultados reportados por el laboratorio del organismo operador, tanto para datos anteriores como para los actuales.

Tomando en cuenta los resultados de laboratorio, se tiene que el agua de la ciudad presenta valores de pH superiores a 7, y es por tanto un agua alcalina que puede favorecer la precipitación de sales en la red de abastecimiento, más aún, si observamos que la Alcalinidad Total y la Dureza de Calcio, se encuentra en concentraciones apreciables, que pueden dar lugar a la formación de depósitos de carbonato de calcio en las tuberías, esto puede ser benéfico para evitar su corrosión, pero un exceso de estos minerales puede reducir el diámetro de la tubería y generar otro tipo de problemas.

Las concentraciones de Cloruros y Sulfatos, encontradas en el agua de suministro, aún cuando no exceden la norma de calidad de agua potable, que es de 250 y 500 mg/L respectivamente, juntos, pueden crear problemas de corrosión de los conductos de agua. Los Cloruros se encuentran en el rango de 188 - 196 mg/L, mientras que los Sulfatos se presentan en el orden de 345 a 358 mg/L. Estos valores indican que el agua de la red de suministro se comporta de manera uniforme. La presencia de éstos en cantidades apreciables en el agua superficial que sirve como fuente de abastecimiento de agua potable, se debe posiblemente a la introducción de aguas de retorno agrícola.

En todas las muestras la concentración de Sólidos Disueltos Totales, rebasa en más del 100% el límite máximo permisible para agua potable que es de 500 mg/L. El elevado contenido mineral que presenta el agua, justifica el hecho de que es de tipo incrustante, y esto es posible que no represente problema alguno por la presencia de Cloruros, que disolverán estos depósitos, estableciendo probablemente un equilibrio entre ambos fenómenos.

El Hierro y el Manganeso se presentan en el agua en concentraciones no mayores de 0.13 y 0.04 mg/L respectivamente, estos valores son menores e iguales en tres de las tomas domiciliarias, en las restantes, no se detectaron estos elementos, lo que quiere decir que durante el recorrido del agua se encontraron condiciones favorables que facilitaron su sedimentación y adhesión a las paredes de las tuberías.

En cuanto a la concentración de Silicio, se observa que en los efluentes de las plantas Potabilizadoras 4 y 2, se obtuvo una concentración de 5.9 mg/L para la primera y 6.1 mg/L para la segunda, mientras que en las tomas domiciliarias 9 y 10 ubicadas una en la Colonia Aurora y la otra en la Cuauhtémoc, presentaron concentraciones de Silicio en el orden indicado de 6.6 y 6.5 mg/L. Esto puede deberse a un ligero deterioro de la tubería de asbesto-cemento.

De acuerdo a la tabla 45, donde se muestran los índices de agresividad determinados en campo y en el laboratorio, se tiene que los valores difieren muy ligeramente, y por tanto el agua de la ciudad tiene tendencia hacia la no agresividad, por lo que es muy posible que no exista corrosión de las tuberías de asbesto-cemento.

Lo anterior se confirma con los resultados mostrados en la Tabla 44, en donde se indica que no se detectó la presencia de fibras de asbesto en ninguno de los sitios muestreados, lo que quiere decir que el agua del río Colorado no es una fuente de asbesto y que el agua que circula en la red de conducción y distribución no tiene efecto corrosivo sobre las tuberías de asbesto-cemento, y si se da éste, es tan leve que no puede ser detectado hasta el momento. No obstante lo anterior, es posible que en un futuro cercano el alto contenido mineral que presenta el agua provoque en las tuberías severos problemas de incrustación, por lo que es conveniente mejorar el actual proceso de potabilización.

CA. DE CALIQUA S.A.

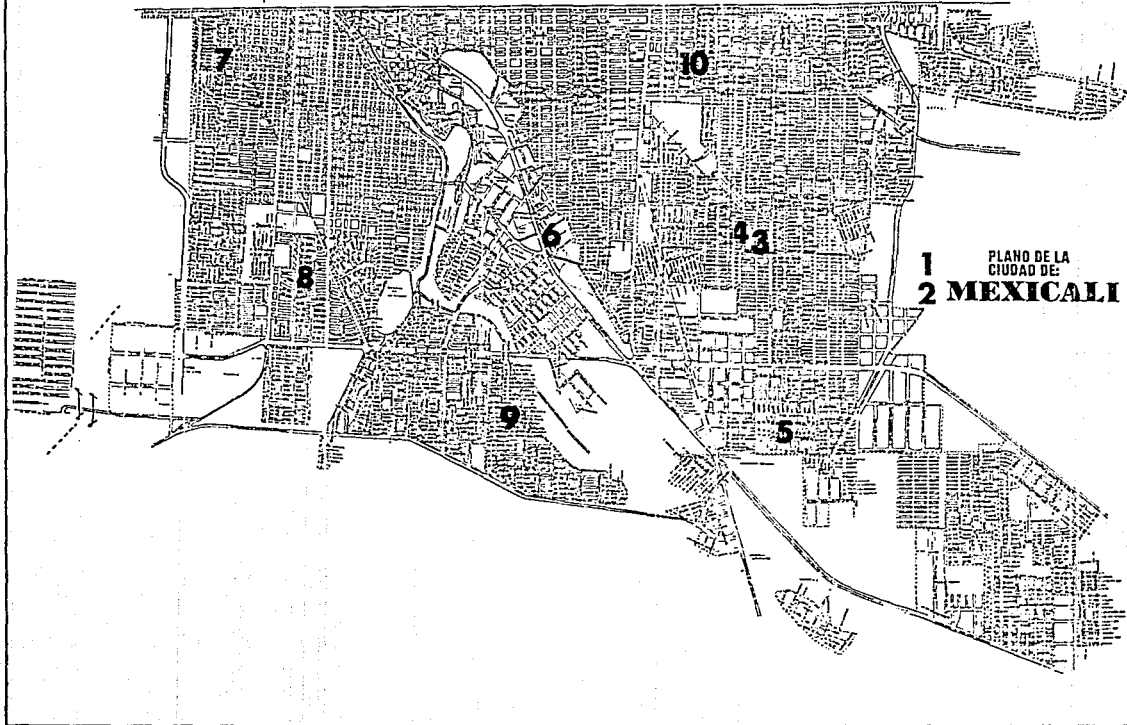


Fig. 10 SITIOS DE MUESTREO EN LA CIUDAD DE MEXICALI.

TABLA 42. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN CAMPO EN LA CIUDAD DE MEXICALI, B.C.

FECHA DE MUESTREO Y ANALISIS: 3 DE OCTUBRE DE 1991

NO. DE MUESTRA	DESCRIPCION SITIO DE MUESTREO	pH	ALC.T. (mg/L)	DUR Ca (mg/L)	CL <sup>-</sup> (mg/L)	SDT (mg/L)	I.A.
1	Entrada Planta 4	8.1	178.50	256.36	157.68	710	12.76
2	Salida Planta 4	7.8	157.50	256.36	147.83	720	12.41
3	Entrada Planta 2	8.2	178.50	256.36	157.68	770	12.86
4	Salida Planta 2	8.0	168.00	266.22	147.83	740	12.65
5	Calle 12 de Oct. 13 con magisterio col. Carbajal (dom.)	7.6	168.00	226.78	147.83	720	12.18
6	Av. Misión de Magdalena 28 y Juárez col. Ferrocarril (dom.)	7.8	168.00	266.22	147.83	710	12.45
7	Bahía de Los Angeles 2389 y Michoacán, col. Baja California (dom.)	7.6	168.00	256.36	157.68	690	12.23
8	Versalles y Montecarlo 128, col. Villa Fontana (Dom).	7.8	168.00	276.08	157.68	710	12.47
9	Av. Jesús Gil 389 con Felipa Vda. de Arellano, col. Aurora (dom.)	7.7	157.50	226.78	147.83	740	12.25
10	Av. de las Américas 2539, col. Cuauhtémoc (dom).	7.8	157.50	246.50	157.68	800	12.39

I.A. = Índice de Agresividad

**TABLA 43. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN EL LABORATORIO  
CIECCA-IMTA PARA LA CIUDAD DE MEXICALI, B.C.**

**FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 7 DE OCTUBRE DE 1991**  
**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 6 DE NOVIEMBRE DE 1991**

<b>NO. DE MUESTRA</b>	<b>pH</b>	<b>ALC.1. (mg/L)</b>	<b>DUR Ca (mg/L)</b>	<b>CL<sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>SDT (mg/L)</b>	<b>Fe (mg/L)</b>	<b>Mn (mg/L)</b>	<b>Si (mg/L)</b>	<b>I.A.</b>
1	7.90	159.6	168	195	356.5	1065	0.13	0.01	5.5	12.33
2	7.65	147.0	134	188	349.0	1009	0.05	0.03	5.9	11.94
3	7.95	157.5	168	190	352.7	1056	0.11	0.03	5.2	12.37
4	7.90	151.2	136	193	353.4	1069	0.08	0.04	6.1	12.21
5	7.70	142.8	136	187	355.2	1027	0.04	0.03	6.2	11.99
6	7.80	153.3	142	195	352.7	1072	0.05	0.03	5.7	12.14
7	7.75	153.3	154	195	357.8	1054	0.05	0.03	5.9	12.12
8	7.80	151.2	128	196	355.3	1083	0.11	0.04	5.8	12.09
9	7.80	142.8	140	191	345.2	1006	0.04	0.03	6.6	12.10
10	7.80	142.8	99	191	349.0	1021	0.04	0.03	6.5	11.95

**I.A. Indice de Agresividad**



**TABLA 44. RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE LA PRESENCIA DE FIBRAS DE ASBESTO EN MUESTRAS DE AGUA DE SUMINISTRO DE LA CIUDAD DE MEXICALI, B.C.**

**METODO DE ANALISIS: MICROSCOPIA ELECTRONICA DE TRANSMISION  
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 18-OCTUBRE-91  
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 30-ENERO-92**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>RESULTADOS</b>
1	N.D.
2	N.D.
3	N.D.
4	N.D.
5	N.D.
6	N.D.
7	N.D.
8	N.D.
9	N.D.
10	N.D.

**N.D. = No detectable = menor de 32,344.5 fibras/L, que es el límite de detección del microscopio electrónico de transmisión, cuando se usan rejillas G3000**

**TABLA 45. COMPARACION DE INDICES DE AGRESIVIDAD (I.A.)  
DETERMINADOS EN CAMPO Y EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA  
CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA MEXICALI, B.C.**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>I.A. (Campo)</b>	<b>I.A. (Laboratorio)</b>
1	12.76	12.33
2	12.41	11.94
3	12.86	12.37
4	12.65	12.21
5	12.18	11.99
6	12.45	12.14
7	12.23	12.12
8	12.47	12.09
9	12.25	12.10
10	12.39	11.95

## 6.9.- CIUDAD DE MERIDA

### 6.9.1.- Aspectos Generales

La ciudad de Mérida, capital del estado de Yucatán, es cabecera municipal y sede de los poderes políticos. Fue fundada en 1542 por Francisco de Montejo y León. Está localizada al noroeste de Yucatán a una altura promedio de 9 metros sobre el nivel del mar.

Es la ciudad con mayor concentración poblacional del estado (57%). Cuenta actualmente, según el INEGI (1990), con 557,340 habitantes, sin embargo, este dato no es representativo ya que en la localidad se da servicio de agua potable a una población estimada de 600,000 habitantes.

Mérida es la ciudad más importante del estado, en ella se concentra la mayor parte de las actividades comerciales, industriales, de servicios y de turismo. Posee una amplia infraestructura comercial y turística, se considera puente de enlace comercial a Cancún y Quintana Roo.

En la ciudad están establecidos grandes centros comerciales, numerosas industrias manufactureras, principalmente de alimentos balanceados y aceites vegetales comestibles, y la industria de la construcción entre otras.

Asimismo, Mérida es famosa por sus atractivos turísticos tanto en la ciudad como en sus alrededores, distinguiéndose monumentos arquitectónicos como la Catedral, la Casa Montejo, el Palacio Municipal, el Museo de Antropología e Historia (Palacio G. Cantón) y el edificio Central de la Universidad de Yucatán entre muchos otros.

Entre los sitios arqueológicos más importantes están las ruinas de Chichen Itzá a 120 Km al este de la ciudad y las ruinas de Uxmal a 80 Km al sur de la misma. También en Mérida se encuentra una gran variedad de artesanías de toda la península.

La intensa actividad económica que tiene lugar en Mérida ha favorecido el desarrollo de una intensa red de comunicaciones terrestres y aéreas. Cuenta con una vasta red de carreteras federales y estatales, líneas férreas y un importante aeropuerto con tráfico nacional e internacional denominado "Manuel Crescencio Rejón". (34)

La ciudad se encuentra asentada sobre rocas calizas permeables, no presenta elevaciones en toda su extensión, su origen geológico corresponde al área tectónica más reciente de fines de la era terciaria.

El clima predominante es el cálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 26.2 °C, con máximo de 40.2°C y mínimo de 14°C. La precipitación pluvial varía de 470 a 930 mm anuales.

El recurso hidráulico es un factor de vital importancia para el desarrollo socioeconómico y cultural de la ciudad. Las aguas superficiales no existen debido a las delgadas capas del subsuelo. No obstante, se cuenta con una extensa red de aguas subterráneas constituidas por depósitos llamados cenotes o galerías subterráneas.

Los mantos freáticos o acuíferos que forman los cenotes se encuentran entre 80 y 120 m en las zonas altas y entre 3 y 6 m en las zonas bajas, estas últimas con un mayor riesgo de deterioro de la calidad del agua, por la inadecuada disposición de desechos domésticos, industriales y agrícolas.

En Mérida predominan los suelos calcáreos y pedregosos formados por material calizo permeable, margas calizas y calcíferas con una capa vegetal superficial de ligera profundidad (50 cm). Al norte, sur y centro existen suelos de tipo litosol. Generalmente son suelos delgados y descansan sobre una coraza calcárea, los suelos más profundos ofrecen buenas perspectivas para el cultivo agrícola principalmente para árboles frutales y hortalizas.

En los alrededores de la ciudad se distingue vegetación decidua tropical y selva espinosa, localmente considerada como selva baja, asociada a suelos muy someros y pedregosos. Los árboles no maderables alcanzan alturas máximas de 6 metros.

#### 6.9.2.- Redes de distribución de agua potable en la ciudad de Mérida.

El agua subterránea es la única fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad, este recurso es administrado por la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán (JAPAY). La ciudad cuenta con 55 pozos en operación localizados dentro de los límites del anillo periférico que rodea a la ciudad. Se distribuyen de la manera siguiente: una batería de 24 pozos localizados al suroeste y separados 600 m cada uno. Otra batería con 10 pozos de los cuales operan sólo 8, localizados al sureste

y separados también a una distancia de 600 m entre cada uno. Los 21 pozos restantes, aunque forman sistemas autónomos son manejados por el JAPAY y abastecen a varios fraccionamientos habitacionales y colonias cercanas. La profundidad promedio de los pozos es de 40 m, con niveles estáticos promedio de 9 m y niveles dinámicos de 11 m, con gastos promedio de 60 lps.

En la ciudad existen tres plantas potabilizadoras (1, 2 y 3) y varios sistemas autónomos (ver tabla 46).

TABLA 46. FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA CIUDAD DE MERIDA, YUCATAN

DESCRIPCION	FUENTE DE CAPTACION EN OPERACION	POBLACION SERVIDA (% estimado)	OBSERVACIONES
Planta 1	24 pozos	70	A corto plazo será rehabilitada
Planta 2	8 pozos	25	A corto plazo será rehabilitada
Planta 3	en proceso de ampliación	--	Tratará un volumen superior a las dos plantas anteriores
Sistemas autónomos	21 pozos	5	No están interconectados a la red de distribución.

FUENTE: JAPAY, 1971

La planta 1 opera normalmente con un gasto promedio de 1.3 m<sup>3</sup>/seg, su influente proviene de la batería de 24 pozos, y se estima que suministra el 70% de agua a la ciudad. Actualmente se encuentra en proceso de rehabilitación por lo que el proceso de potabilización que se le da al agua es sólo cloración. Sin embargo, normalmente la potabilización se efectúa de la manera siguiente: El agua extraída es clorada y aerada, luego se le adiciona hexametáfosfato de sodio para facilitar su ablandamiento, se vuelve a clorar y se le adiciona sulfato de aluminio y cal, de aquí se envía a un clarificador y de éste pasa a un sedimentador, posteriormente el agua se filtra mediante un

Lecho de arena sílica (de color amarillo y textura fina) y grava, el agua ya filtrada es nuevamente clorada y entonces es almacenada en un tanque cerrado para inmediatamente ser bombeada a la red de distribución. La cal usada es recuperada mediante la aplicación de un proceso externo.

La planta 2 opera con un gasto promedio de 0.5 m<sup>3</sup>/seg, su influente proviene de la batería de 8 pozos en operación, se estima que abastece a un 25% de la población de la ciudad. A corto plazo esta planta va a ser rehabilitada. El proceso de potabilización que se le da al agua es más sencillo que en la anterior. Consiste de aereación (esto facilita la eliminación de CO<sub>2</sub> y por tanto se usa menos reactivo), ablandamiento con hexametáfosfato de sodio y filtración, el agua ya filtrada es clorada y almacenada para luego ser enviada a la red de distribución de la ciudad.

En la actualidad la planta 3 no opera, ya que está en proceso de ampliación, pero se tiene proyectado que potabilice un volumen superior al de las dos plantas anteriores.

Los sistemas autónomos formados en su mayoría por más de un pozo, potabilizan el agua mediante la aplicación de cloro líquido, controlando la cantidad a adicionar en forma automática. El agua clorada es entonces bombeada hacia redes particulares de fraccionamientos habitacionales y colonias aledañas.

El almacenamiento y regulación de la presión del agua se realiza mediante varios tanques convenientemente distribuidos en la ciudad.

En la red de distribución y conducción de agua de la ciudad se utiliza ampliamente tubería de asbesto-cemento, el diámetro empleado es muy variado siendo de 6 a 30 pulgadas en las líneas principales y en las líneas secundarias de 3 y 4 pulgadas de diámetro, el material de estas últimas líneas probablemente sea de PVC o de otro tipo de material.

El suministro de agua en la ciudad se lleva a cabo las 24 horas del día, por lo que no existe escasez de agua. No obstante lo anterior, se puede observar que la mayoría de los domicilios y comercios cuentan con tinacos de asbesto-cemento para almacenar agua. Los principales surtidores de tuberías y tinacos de asbesto-cemento son Industrias Mexalite y Eureka.

### 6.9.3.- Puntos de muestreo de agua potable para análisis de asbesto en la ciudad de Mérida.

De acuerdo a la metodología básica de muestreo y tomando en cuenta las condiciones particulares de la ciudad, se seleccionaron 12 muestras representativas de la red de suministro de agua potable, éstas incluyen influentes y efluentes de plantas potabilizadoras, pozos de captación y tomas domiciliarias (ver la fig. 11).

### 6.9.4.- Resultados y Discusión.

Los resultados de los análisis de campo y de laboratorio se presentan en las tablas 47 y 48. En estas tablas se observa una variación significativa en los valores para una misma muestra, estas diferencias son mucho más notorias en los resultados para la concentración de Sólidos Disueltos Totales, esto pudo ser debido a que en campo este parámetro fue medido usando un equipo portátil, el cual posiblemente durante el muestreo se desajustó, y por tanto proporcionó lecturas muy diferentes.

Los antecedentes que se tienen de datos analíticos realizados en el laboratorio del organismo operador, muestran coherencia con los obtenidos en campo. No obstante, la inconsistencia que se observa con los datos del laboratorio CIECCA-IMTA, era de esperarse ya que la precisión del análisis fue afectada por variables tales como el tiempo transcurrido entre el muestreo del agua y su análisis, la exactitud del analista y el contenido de Cloro adicionado durante la desinfección del agua. Este último parámetro aunque se encontro en concentraciones no mayores de 0.5 mg/L como cloro residual, pudo afectar ligeramente las condiciones naturales del agua.

En relación a los resultados de laboratorio, el agua de la ciudad presenta valores de pH iguales o superiores a 7, lo que nos indica que el agua tiene tendencia a ser ligeramente alcalina, por lo que el efecto corrosivo del agua hacia las tuberías será poco significativo.

La Alcalinidad Total y Dureza de Calcio que presenta el agua se encuentra en concentraciones superiores a los 280 mg/L para la Alcalinidad y de más de 180 mg/L para la Dureza de Calcio, ambos parámetros son medidos como carbonato de calcio. Con base a la norma de calidad de agua potable, se tiene que la Alcalinidad Total no rebasa el límite máximo permisible que es de 400 mg/L, en tanto que todas las muestras de agua rebasan el límite máximo permisible para la Dureza de Calcio que es de 175 mg/L, esto puede ser benéfico para las tuberías al formarse depósitos protectores contra la corrosión, no obstante, con el tiempo puede crearse otro tipo de problemas.

En cuanto a la concentración de Cloruros y Sulfatos, se observa que los primeros se encuentran en mayor concentración, siendo el valor más alto encontrado de 226mg/L, que corresponde al influente de la Planta Potabilizadora 1 (agua combinada de varios pozos), en tanto para los segundos se presentan en bajas concentraciones, encontrándose que la concentración mas alta fue de 36 mg/L que pertenece a la muestra siete, la cual es una toma domiciliaria, donde el agua procede de la Planta Potabilizadora 1.

Aunque las concentraciones de Cloruros y Sulfatos no rebasan la norma de calidad de agua potable que es de 250 y 500 mg/L respectivamente. Los Cloruros pueden afectar ligeramente las tuberías al favorecer la disolución de los depósitos de carbonato de calcio y magnesio.

La concentración de Sólidos Disueltos Totales en todas las muestras de agua rebasan en mucho el límite máximo permisible para agua potable que es de 500 mg/L. El gran contenido mineral que tiene el agua, aunado a los niveles apreciables de Alcalinidad y Dureza de Calcio, pueden a largo plazo interferir en la capacidad conductora de las tuberías, además de crear otro tipo de problemas.

El Manganeseo no fue detectado en el agua de suministro de la ciudad, en tanto el Hierro sólo se presentó en las muestras domiciliarias siete, nueve, diez y 11, en donde las muestras siete y diez corresponden a agua que viene de la Planta Potabilizadora 1, el agua de la muestra nueve proviene del pozo Vergel II, Número 1 y la muestra 11 se abastece de la Potabilizadora 2.

De las cuatro muestras domiciliarias, sólo la siete y la nueve, rebasan en un 1133% y 3% respectivamente el límite máximo permisible para Hierro en agua potable, que es de 0.3 mg/L.

Como el Hierro y el Manganeseo no fueron detectables en las fuentes originales de abastecimiento (pozos de captación), su presencia en las tomas domiciliarias mencionadas, es el resultado de la corrosión de tuberías de Hierro, sean éstas de algunas líneas de distribución o de instalaciones domiciliarias en mal estado.

La concentración de Silicio en el agua de Pozos de Captación, influentes y efluentes de Potabilizadoras 1 y 2, y en las tomas domiciliarias, se presentó en concentraciones iguales e inferiores a 6.8 mg/L. Las bajas concentraciones de este elemento muestran que no existe deterioro de las tuberías de asbesto-cemento y que su presencia se debe a la naturaleza propia de la región.



Los índices de agresividad determinados en campo y en el laboratorio se muestran en la tabla 50, en ésta se observa que los valores difieren muy ligeramente, encontrándose que el agua de la ciudad tiene tendencia hacia la no agresividad, por lo que las tuberías de asbesto-cemento no sufrirán acción corrosiva significativa, más aún que es muy probable que la elevada dureza que presenta el agua, facilite la formación de depósitos de Carbonato de Calcio o Magnesio en las paredes de la tuberías de conducción, lo que permitirá evitar la corrosión, y por lo tanto el desprendimiento de fibras de asbesto será insignificante.

La afirmación anterior, se ve reflejada en los resultados obtenidos en la Tabla 49, en donde se indica que no hubo presencia de fibras de asbesto en el agua, en ninguna de las 12 muestras analizadas. El hecho de no haberse detectado asbesto en el agua, posiblemente se deba a que en la zona no existen depósitos de estos minerales, además es probable que las tuberías y tinacos de almacenamiento de agua de asbesto-cemento, todavía no alcancen un grado de deterioro que pueda manifestarse en el agua mediante la presencia de fibras de asbesto.

Por otra parte, es importante indicar que el uso de hexametáfosfato de sodio durante la potabilización, evitará aún más la acción corrosiva del agua, ya que facilitará la formación de películas protectoras en las tuberías de la red de suministro.

CIUDAD DE MERIDA

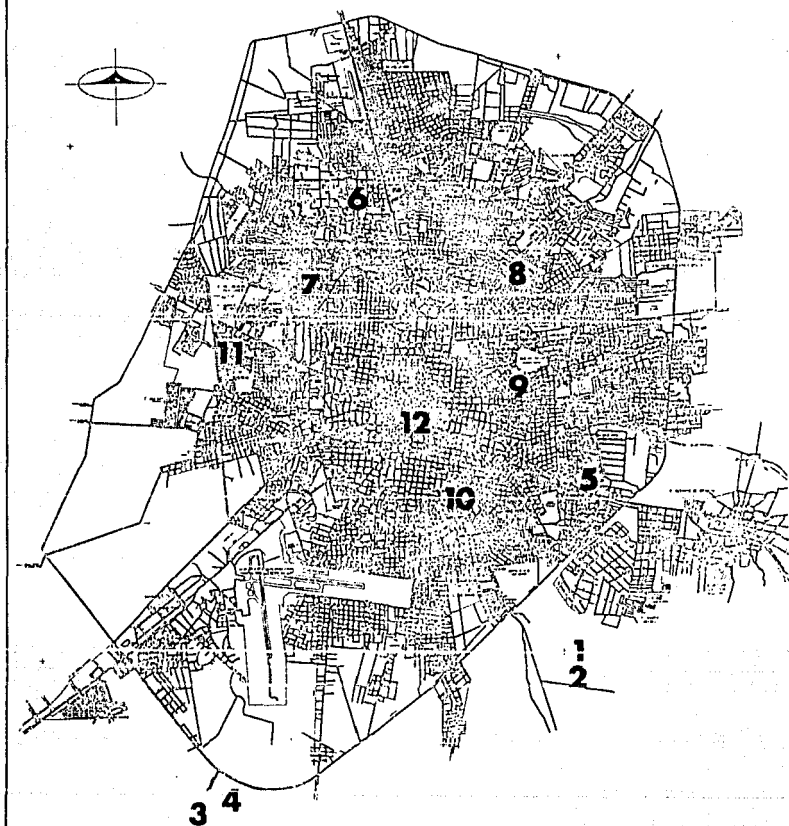


Fig. 11 PLANO DE LA CIUDAD DE MERIDA Y SITIOS DE MUESTREO.

**TABLA 47. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN CAMPO EN LA CIUDAD MERIDA, YUC.**

**FECHA DE MUESTREO Y ANALISIS: 10 DE OCTUBRE DE 1991**

NO. DE MUESTRA	DESCRIPCION SITIO DE MUESTREO	pH	ALC.T. (mg/L)	DUR Ca (mg/L)	CL <sup>-</sup> (mg/L)	SDT (mg/L)	I.A.
1	Entrada Planta Potabilizadora 1	6.8	360	276.08	206.87	640	11.80
2	Salida Planta Potabilizadora 1	7.0	360	276.08	206.87	630	12.00
3	Entrada Planta Potabilizadora 2	7.1	340	315.52	118.21	490	12.13
4	Salida Planta Potabilizadora 2	7.3	340	315.52	118.21	490	12.33
5	Pozo Vergel II Núm. 1	7.0	360	256.36	142.84	560	11.97
6	Pozo Cisterna Chuburna	6.9	300	276.08	152.69	580	11.82
7	Calle 40 entre 13 y 12, col. San Damián (Dom.)	7.0	360	295.80	201.95	670	12.03
8	Calle 25 núm. 242 col. Miguel Alemán (Dom.)	7.4	360	295.80	152.44	630	12.43
9	Calle 23 núm. 65 col. Chuminopolis (Dom.)	7.0	380	295.80	162.44	600	12.05
10	Calle 107 entre 50 y 50-A, col. Dotores Otero (Dom.)	7.0	380	256.36	201.95	630	11.99
11	Av. Zamna y 61-A Fracc. Yucalpetén (Dom.)	7.5	320	315.52	118.21	530	12.50
12	JADAY (Centro) Dom.	7.7	360	256.36	201.95	690	12.66

I.A. Índice de Agresividad

**TABLA 48. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA PARA LA CIUDAD DE MERIDA, YUC.**

**FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 14 DE OCTUBRE DE 1991**  
**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 11 DE NOVIEMBRE DE 1991**

<b>NO. DE MUESTRA</b>	<b>pH</b>	<b>ALC.T. (mg/L)</b>	<b>DUR Ca (mg/L)</b>	<b>CL<sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>SDT (mg/L)</b>	<b>Fe (mg/L)</b>	<b>Mn (mg/L)</b>	<b>Si (mg/L)</b>	<b>I.A.</b>
1	7.00	336.00	239	226	33.6	927	0.04	0.03	5.1	11,90
2	7.25	333.90	241	224	32.9	932	0.04	0.03	4.6	12.16
3	7.30	321.30	233	133	22.8	692	0.04	0.03	5.5	12.17
4	7.40	319.20	237	139	22.5	704	0.04	0.03	5.5	12.28
5	7.15	323.40	229	165	25.8	826	0.04	0.03	6.3	12.02
6	7.15	289.80	251	173	34.9	772	0.04	0.03	5.4	12.01
7	7.50	332.85	221	224	36.0	906	3.70	0.03	5.4	12.37
8	7.70	322.35	225	176	55.1	847	0.04	0.03	12.1	12.56
9	7.30	331.80	196	186	29.0	823	0.31	0.03	6.8	12.11
10	7.40	338.10	182	212	32.6	927	0.15	0.03	5.4	12.19
11	7.70	327.60	186	137	22.8	692	0.06	0.03	5.0	12.48
12	7.85	338.10	188	222	32.6	907	0.04	0.03	5.0	12.65

**I.A. Índice de Agresividad**

**TABLA 49. RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE LA PRESENCIA DE FIBRAS DE ASBESTO EN MUESTRAS DE AGUA DE SUMINISTRO DE LA CIUDAD DE MERIDA, YUC.**

**METODO DE ANALISIS: MICROSCOPIA ELECTRONICA DE TRANSMISION  
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 18-OCTUBRE-91  
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 30-ENERO-92**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>RESULTADOS</b>
1	N.D.
2	N.D.
3	N.D.
4	N.D.
5	N.D.
6	N.D.
7	N.D.
8	N.D.
9	N.D.
10	N.D.
11	N.D.
12	N.D.

**N.D. = No detectable = menor de 32,344.5 fibras/L, que es el límite de detección del microscopio electrónico de transmisión, cuando se usan rejillas G3000**

**TABLA 50. COMPARACION DE INDICES DE AGRESIVIDAD (I.A.)  
DETERMINADOS EN CAMPO Y EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA  
CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA MERIDA, YUC.**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>I.A. (Campo)</b>	<b>I.A. (Laboratorio)</b>
1	11.80	11.90
2	12.00	12.16
3	12.13	12.17
4	12.33	12.28
5	11.97	12.02
6	11.82	12.01
7	12.03	12.37
8	12.43	12.56
9	12.05	12.11
10	11.99	12.19
11	12.50	12.48
12	12.66	12.65

## 6.10.- CIUDAD DE CULIACAN

### 6.10.1.- Aspectos Generales

La ciudad de Culiacán es la capital del estado de Sinaloa y cabecera municipal. Se localiza en la región noroeste de la República Mexicana a 24°40' de latitud norte y 107°24' de longitud oeste, a una altura de 50 m sobre el nivel del mar. Fué fundada en 1531. Es la ciudad más poblada del estado, cuenta con 602,390 habitantes (INEGI, 1990).

La importancia de la ciudad radica en que en ella se encuentran concentradas las actividades agrícolas, comerciales, industriales y culturales. En los alrededores de la ciudad se llevan a cabo intensas actividades agrícolas y ganaderas, siendo las primeras las más importantes por el alto grado de tecnificación que han alcanzado; los principales productos agrícolas que se cultivan son el tomate (jitomate rojo) con calidad de exportación, el cártamo, la soya y el trigo, entre muchos otros. (22)

Culiacán cuenta con una amplia estructura comercial, en ella están establecidos grandes centros comerciales. La industria aunque en menor escala, es importante por la derrama económica que deja a la ciudad, en este aspecto destacan la industria manufacturera, la de la construcción y la de generación y distribución de energía eléctrica.

En cuanto a las actividades culturales, la ciudad posee monumentos arquitectónicos e históricos importantes, como la Catedral (Basílica de Nuestra Señora del Rosario), el Palacio Municipal y la Universidad Autónoma de Sinaloa entre otros, además, muy cerca de ella se localizan ruinas importantes como el templo de Totolá y el templo de Imala. También la ciudad ofrece una amplia gama de servicios de hospedaje, restaurantes, diversiones y espectáculos entre muchos otros.

La red de comunicaciones en la ciudad está muy diversificada, cuenta con amplias carreteras, línea de ferrocarril del Pacífico y un Aeropuerto nacional y estatal de mediano alcance.

La ciudad se encuentra asentada en la llanura costera, sobre depósitos de areniscas, tobos y rocas ígneas extensivas ácidas, todas del cuaternario. Al este y noreste se presentan derrames de basalto también de este periodo. En las partes elevadas hacia el este afloran rocas metamórficas de la era mezozoica. Desde el punto de vista tectónico, la ciudad está asentada en una zona clasificada como perisísmica.

Los suelos característicos de la ciudad y sus alrededores son los de tipo cambisol eútrico (suelos aptos para asentamientos humanos y actividades agropecuarias), que se extienden en una amplia faja hacia el occidente. Al norte y sureste destacan los vertisoles crómicos caracterizados por ser arcillosos y expandibles

(presentan cambios de volumen), con alto potencial agropecuario. Al sur los suelos están limitados por rocas de tipo feozen háptico y no presentan problemas para obras de ingeniería civil.

A los alrededores de la ciudad, predomina la selva baja caducifolia, constituida por árboles de diversas especies de 4 a 6 m de altura, se caracterizan porque sus hojas caen completamente en temporada de secas. La vegetación espinosa también es predominante, ejemplos de ellos son: huizache, guamúchil y palo verde. Al oeste, la mayor parte de los terrenos son destinados a la agricultura de riego y al este entre la selva caducifolia predomina la agricultura de temporal. (12)

El clima que prevalece es el semiseco muy cálido, con temperaturas medias anuales que varían de 24 a 25°C, siendo las máximas en junio y julio con 45 °C y las mínimas en enero y febrero con temperaturas entre 0 y 10°C. La precipitación media anual varía de 640 a 670 mm.

Las corrientes hidrológicas que han favorecido el desarrollo socioeconómico de la ciudad están representadas principalmente por aguas superficiales y aguas subterráneas en menor escala.

Tres ríos son los más importantes para la ciudad: el río Humaya con un caudal medio anual de 2,564.6 millones de m<sup>3</sup>, sus aguas son controladas por la presa "Licenciado Adolfo López Mateos", localizada a 28 Km de la ciudad hacia el norte. Esta presa tiene una capacidad almacenadora de 3,160 millones de m<sup>3</sup>.

El río Tamazula, con un caudal medio anual de 914.1 millones de m<sup>3</sup>, cuyas aguas son controladas por la presa "Sanalona" localizada a 22 Km hacia el sur de la ciudad. Esta presa tiene una capacidad de 845 millones de m<sup>3</sup>. Ambos ríos nacen en el estado de Durango en la Sierra Madre Occidental.

El tercer río, el Culiacán, se forma por la unión del río Humaya y el Tamazula en la ciudad de Culiacán, tiene un caudal medio anual de 3,141.3 millones de m<sup>3</sup>. Las aguas de estos ríos antes de desembocar en el Golfo de California son aprovechadas en una amplia zona del este, en el distrito de riego denominado "Sistemas Culiacán-Humaya San Lorenzo". (12.22)

En cuanto a las aguas subterráneas, aunque abundan en la llanura costera, su uso se ha limitado por problemas de intrusión salina, por lo que actualmente la condición que prevalece en la zona es de subexplotación.

#### 6.10.2.- Redes de distribución de agua potable en la ciudad de Culiacán.

El agua que usa la ciudad de Culiacán es de origen superficial y subterráneo. Las aguas superficiales están formadas por los ríos Humaya, Tamazula y Culiacán, los cuales entran al norte, este y



suroeste de la ciudad respectivamente. Los tres sirven de influente a las cuatro plantas potabilizadoras que operan en la ciudad: planta Juan de Dios Bátiz, planta Isleta 1, planta Isleta 2 y planta Country Club. Otra planta nueva que va a trabajar por módulos tiene proyectado tratar un total de 3000 L/seg, el primer modelo está por iniciar operaciones. Su flujo de distribución será al contrario del normal que es de norte a sur, con lo cual se facilitará la distribución y se mejorará el servicio de abastecimiento de agua.

La operación y mantenimiento de estas plantas está a cargo de la Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Culiacán (JAPAC). La planta Juan de Dios Bátiz, ubicada al este de la ciudad, tiene una capacidad de 300 L/seg, se abastece del río Tamazula y opera con un gasto de 220 L/seg. El proceso de potabilización es de tipo convencional e incluye: cloración, clarificación con sulfato de aluminio, polímero y cal (cuando se requiere), luego sedimentación y filtración mediante un lecho de arena sílica, antracita y grava de diferentes tamaños, el agua filtrada es clorada y almacenada para posteriormente ser enviada a la red de distribución.

La planta Isleta 1, ubicada al norte de la ciudad es de tipo Degrémont, opera con un gasto de 200 lps y se abastece del río Humaya. En el proceso de potabilización se usan los mismos reactivos químicos y los mismos procesos, solo que la clarificación se realiza en tanques clarificadores tipo Pulsator y la filtración es efectuada en filtros de arena a presión, cuando se satura el lecho filtrante, se realiza retrolavado a presión, operación que no se lleva a cabo en más de media hora. La adición de reactivos químicos se controla automáticamente. La operación de este tipo de plantas requiere más mantenimiento y personal más especializado para resolver los problemas de operación que se presentan a menudo.

La planta Isleta 2 se encuentra ubicada cerca de la planta Isleta 1, su proceso de potabilización es de tipo convencional, semejante al de la planta Juan de Dios Bátiz y se abastece también del río Humaya.

La planta Country Club, ubicada al oeste de la ciudad, tiene una capacidad de 150 lps, se abastece del río Culiacán y opera con un gasto de 69 lps. El proceso de Potabilización es semejante al de la planta Isleta 1.

En lo que respecta al agua subterránea, la ciudad cuenta con 35 pozos de captación en operación, localizados hacia el norte y oeste de la ciudad en áreas cercanas a los ríos Humaya y Tamazula, todos son administrados por la JAPAC. La profundidad que alcanzan es de alrededor de los 40 m y tienen un gasto promedio de 38.8 lps. El agua extraída es potabilizada mediante la adición de cloro líquido y luego es enviada a la red de distribución.

En algunos pozos, como es el caso de los pozos del Humaya, el agua presenta concentraciones de hierro y manganeso superiores a los límites permisibles para ambos elementos, por lo que la JAPAC hace uso de hexametafosfato de sodio para reducir las concentraciones de estos elementos y asegurar así la calidad del agua de suministro. Se cuenta con 13 tanques de regulación y rebombeo, localizados en sitios estratégicos de la ciudad. Entre los más grandes se encuentra el tanque Pénjamo Alto, con capacidad de 8,000 m<sup>3</sup>, recibe aguas de la planta Juan de Dios Bátiz, Isleta 1 y de algunos pozos de captación, el flujo estimado que bombea es de 490 lps.

El sistema de agua potable de la ciudad está formado por tubería de asbesto-cemento en un 65%, en las líneas principales de conducción los diámetros varían de 8" en adelante. Generalmente en las líneas de distribución se usan tuberías de PVC desde hace unos 10 años. Anteriormente en el primer cuadro de la ciudad existía hierro fundido, pero se estima que hace 50 años se cambió por tubería de asbesto-cemento.

En la actualidad, la ciudad cuenta con un caudal estimado de 1,631 lps, éste se considera suficiente para satisfacer las necesidades de los usuarios. Sin embargo, el crecimiento acelerado que está teniendo la ciudad, principalmente al noroeste y noreste, demandará en un futuro una mayor cantidad de agua, por lo que se tendrá que aplicar medidas tendientes a conservar eficientemente el recurso hidráulico.

#### 6.10.3.- Puntos de muestreo de agua potable para análisis de asbestos en la ciudad de Culiacán.

De acuerdo a la metodología básica de muestreo y considerando las condiciones particulares de la ciudad, se seleccionaron 12 muestras del agua de suministro, éstas incluyen pozos de captación, influentes y efluentes de plantas potabilizadoras, tanques de regulación y tomas domiciliarias (ver figura 12).

#### 6.10.4.- Resultados y Discusión.

Los resultados de campo y de laboratorio para las 12 muestras de agua de suministro de la ciudad, mostrados en las Tablas 51 y 52, indican que existe una ligera diferencia en los parámetros pH, Dureza de Calcio y Cloruros. La Alcalinidad Total y los Sólidos Disueltos Totales, varían significativamente en sus valores para una misma muestra. Esto posiblemente se debe a la influencia de variables tales como:

- a) El tiempo transcurrido entre el muestreo y el análisis,
- b) La exactitud del analista y
- c) La adición de Cloro en exceso que pudo bajar la Alcalinidad Total del agua, por la producción de ácidos.

De acuerdo a los datos de laboratorio, el agua de Los ríos Tamazula y Culiacán presentan un pH ligeramente alcalino. El pH del agua del río Humaya fue ligeramente ácido. Los pozos de captación uno y diez tubieron un pH de 7.1 y 5.9 respectivamente. Para las tomas domiciliarias, el pH del agua fue ligeramente alcalino en cambio a la salida del tanque de rebombeo Pénjamo Alto (agua combinada de planta Juan de Dios Bátiz, planta Potabilizadora Isleta I y Pozos de La zona de captación Campiña I y II) el agua presentó un pH de 6.9.

Los valores de pH encontrados en el agua de suministro de la ciudad, no representan problema de corrosión de las tuberías de asbesto-cemento, sino más bien existe una leve tendencia hacia la formación de depósitos incrustantes.

Las concentraciones de Alcalinidad y Dureza de Calcio en el río Tamazula, en los pozos de captación uno y diez, en la salida del tanque de rebombeo Pénjamo Alto y en las tomas domiciliarias, fueron superiores a los 100 mg/L. Una excepción a lo anterior son los influentes de las plantas Potabilizadoras Isletas I y Country Club, procedentes de los ríos Humaya y Culiacán respectivamente, los cuales presentan Alcalinidades de 39.9 y 42 mg/L como Carbonato de Calcio. En el caso del río Humaya, que sirve de influente a la potabilizadora Isleta I, la concentración de ambos parámetros baja ligeramente en el efluente. Es posible que suceda lo mismo en la potabilizadora Country Club, ya que su Sistema de potabilización es análogo al de la potabilizadora Isleta I.

No obstante, que se encuentran bajos valores de Alcalinidad y Durezas de Calcio en los efluentes de estas dos plantas potabilizadoras, en las tomas domiciliarias las concentraciones son superiores, alcanzando valores de Alcalinidad Total de hasta 186.9 mg/L y Durezas de Calcio de hasta 154 mg/L. La primera corresponde al Sector Las Quintas y la segunda a la colonia La Libertad. Esta variación se debe posiblemente a que las muestras domiciliarias son de agua combinada.

En cuanto a la concentración de Cloruros y Sulfatos, encontrados en el agua de la ciudad, estos no presentan niveles apreciables para causar daño a las tuberías de asbesto-cemento. La concentración más alta de Cloruros fue de 72 mg/L que corresponde al influente de la potabilizadora Juan de Dios Bátiz, en tanto para los Sulfatos, la concentración más alta fue de 114.0 mg/L que pertenece al influente de la misma planta, cuya procedencia es el río Tamazula.

En las tomas domiciliarias, las concentraciones de dichos parámetros fueron mucho menores que las mencionadas anteriormente, lo que hace suponer que el agua de estas muestras es una combinación de varias fuentes que abastecen a la ciudad.

La mineralización del agua en la mayoría de las muestras analizadas es aceptable, solo el efluente de la potabilizadora Juan de Dios Báltiz rebasa en un 6% el límite máximo permisible para agua potable (500 mg/L). Aunque es bajo el contenido de minerales en el agua, estos pueden encontrar condiciones apropiadas para sedimentarse, lo que favorecería la formación de películas protectoras.

La fuente de agua superficial de la ciudad, presenta concentraciones apreciables de Hierro y Manganeso, las cuales fueron eliminados en las plantas potabilizadoras hasta concentraciones no detectables. De la misma forma en los pozos de captación uno y diez, en el tanque Pénjamo Alto y en las tomas domiciliarias siete, diez y 12 no se detectaron estos elementos, a excepción de esta última muestra donde el Manganeso excedió en un 90 % la norma para agua potable (0.1 mg/L)

Solamente en la toma domiciliaria 11, donde el agua viene de la planta Country Club y de pozos de la zona de Captación "Country", las concentraciones de Hierro y Manganeso fueron de 0.08 y 0.98 mg/L respectivamente. Este último valor, excede en un 880% el límite máximo permisible para agua potable.

La alta concentración de Manganeso en estas muestras se puede deber a una posible movilización de algún depósito en las tuberías de distribución de la zona o quizás al deterioro de las instalaciones y depósitos domiciliarios.

La concentración más alta de Silicio fue de 19.5 mg/L y se encontró en el efluente de la potabilizadora Country Club, que toma el agua del río Culiacán, en tanto que en los efluentes de las potabilizadoras Juan de Dios Báltiz e Isleta I, la concentración fue de 13.9 y 13.5 mg/L respectivamente, lo que indica que existe una ligera separación de este elemento. Por otra parte, en los pozos de captación uno y diez la concentración encontrada en el orden indicado fue de 19.1 y 15.5 mg/L .

De acuerdo a estos datos y tomando en cuenta que en las tomas domiciliarias la mayor concentración detectada fue de 17.0 mg/L para la muestra 11, ubicada en la Colonia Libertad, se puede decir que el deterioro de la tubería de asbesto-cemento aún no es significativo.

Los índices de agresividad calculados en campo y en el laboratorio mostrados en la tabla 54, indican ligera variación en sus valores. No obstante, se observa que el agua de suministro de la ciudad es moderadamente agresiva, a excepción del efluente de la potabilizadora Isleta I que presenta un índice de agresividad de 9.73. Este valor varía durante la conducción y distribución del agua, seguramente porque durante el trayecto se combina con otras fuentes de abastecimiento, disminuyendo su agresividad. Esta situación es notoria en las demás muestras que presentan valores de agresividad iguales y superiores a 11.08.

Como el agua es moderadamente agresiva, es posible que se lleve a cabo un ligero deterioro de la tubería de asbesto-cemento, lo que causará el desprendimiento paulatino de fibras de asbesto. Debido a que son insolubles, pueden depositarse en los conductos o bien si las diferencias de presión y velocidad del agua son suficientes, se transportarán y llegarán a las tomas domiciliarias.

Con base en los resultados de asbestos mostrados en la tabla 53, se observa que únicamente en la salida del tanque Pénjamo alto (5) y la muestra domiciliaria 11 de la Colonia La Libertad, se presentaron fibras de asbestos en una concentración de 32,344.5 mg//L, para ambas. Las fibras de asbesto son del tipo Crisotilo, el cual es el más usado en la fabricación de tuberías de asbesto-cemento.

El tanque Pénjamo Alto, recibe agua de las plantas potabilizadoras Juan de Dios Bátiz e Iseta I y de pozos de la zona de captación Campiña I y II. En los influentes y efluentes de estas plantas potabilizadoras no se detectaron fibras de asbesto en el agua. Los pozos de captación Cinema I Y II no fueron considerados en el muestreo. En los pozos de captación uno y diez, localizados al norte de la ciudad, no se detectaron fibras de asbesto, por lo que es posible que la fuente de asbesto en el agua combinada de la muestra cinco, sea resultado del deterioro de la tubería de asbesto-cemento.

En la muestra domiciliaria 11, como se mencionó anteriormente, el agua procede de la planta Potabilizadora Country Club y de pozos de la zona de captación "Country", ubicada cerca de la potabilizadora. En esta planta el efluente no se muestreó por encontrarse sin operar en el momento del muestreo. Sin embargo, el influente (agua que viene del río Culiacán), no presentó fibras de asbesto a pesar de ser un agua moderadamente agresiva.

Los pozos de la zona de captación "Country" no se consideraron en el muestreo, pero se tienen antecedentes de que el agua es de igual manera moderadamente agresiva (I.A. de 11.56), por lo que es más probable que la presencia de fibras de asbesto en el agua de la toma domiciliaria 11, de la Colonia La Libertad se deba al deterioro de la tubería y no tanto provenga de subsuelo de la región.

Aun cuando se hayan encontrado fibras de asbesto en el agua de dos sitios de la ciudad, su concentración es mínima comparada con el límite máximo permisible recomendado por Estados Unidos, que es de 7.1 MFL (millones de fibras por litro) con longitudes mayores de diez micras. Además, por estudios realizados en este mismo país, las fibras liberadas de las tuberías de asbesto cemento, sufren, cambios químicos en su estructura que las hacen menos dañinas a la salud. (24.54)

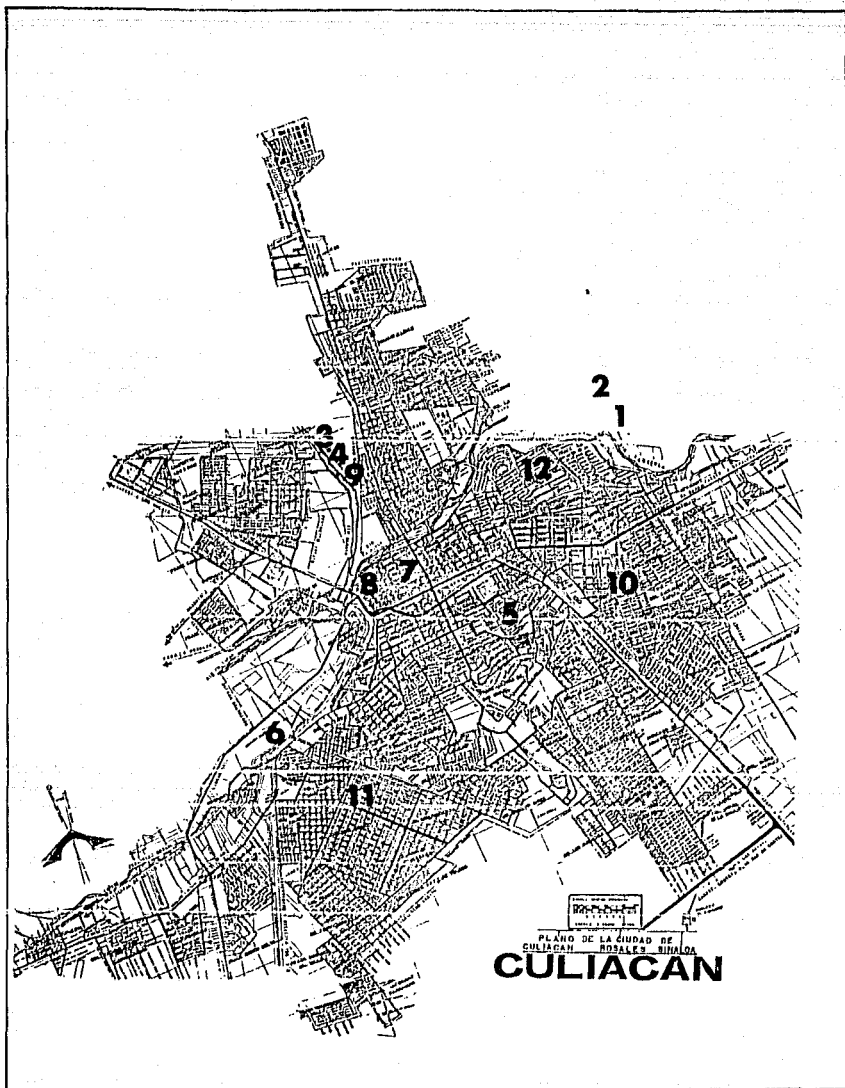


Fig. 12 SITIOS DE MUESTREO

**TABLA 51. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN CAMPO DE LA CIUDAD DE CULIACAN, SIN.**

**FECHA DE MUESTREO Y ANALISIS: 21 y 22 DE OCTUBRE DE 1991**

ESTACION DE MUESTREO	pH	ALCALINIDAD TOTAL (ppm)	DUREZA DE Ca (ppm)	CLORUROS (ppm)	SDT (ppm)	I.A.
1. Entrada Potabilizadora Juan de Dios Bátiz (Río Tamazula)	7.8	190	177.48	63.07	370	12.33
2. Salida Potabilizadora Juan de Dios Bátiz	7.4	170	177.48	68.99	360	11.88
3. Entrada Potabilizadora Isleta 1 (Río Humaya)	7.2	60	31.06	N.D.	50	10.47
4. Salida Potabilizadora Isleta 1	6.0	50	31.06	5.91	60	9.99
5. Salida Tanque Pénjamo Alto (combinada)	7.0	200	147.90	30.55	250	11.47
6. Entrada Potabilizadora Country Club (Río Culiacán)	7.5	42	33.03	N.D.	50	10.64
7. Hidalgo 227 Pte., con Domingo Rubí (Dom.)	7.2	140	123.25	22.67	240	11.44
8. Pozo 1 (capt. Cinema)	6.8	240	197.20	29.56	330	11.48
9. Pozo 10 (capt. Isleta)	6.9	140	118.32	44.33	240	11.12
10. Enrique Martínez y Fray Bernardino, por zona militar (Dom.)	7.1	170	118.32	17.25	220	11.40
11. Calle Quinta 2291 con 20 de Noviembre col. Libertad (Dom.)	7.0	180	157.76	29.56	280	11.45
12. Dr. Mora 1404, sector Las Quintas (Dom.)	7.0	200	157.76	26.61	270	11.49

I.A. = Índice de Agresividad

**TABLA 52. RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN EL LABORATORIO  
CIECCA-IMTA PARA LA CIUDAD DE CULIACAN, SINALOA**

**FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 25 DE OCTUBRE DE 1991  
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 18 DE NOVIEMBRE DE 1991**

<b>NO. DE MUESTRA</b>	<b>pH</b>	<b>ALC.T. (mg/L)</b>	<b>DUR Ca (mg/L)</b>	<b>CL<sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>	<b>SDT (mg/L)</b>	<b>Fe (mg/L)</b>	<b>Mn (mg/L)</b>	<b>Si (mg/L)</b>	<b>I.A.</b>
1	7.6	163.80	158	67.0	114	523	0.55	0.22	16.0	12.01
2	7.5	144.90	162	72.0	112	530	<0.04	<0.03	13.9	11.87
3	6.8	39.90	36	2.4	12.40	145	1.29	0.12	18.6	9.96
4	6.7	31.50	34	7.6	14.70	424	<0.04	<0.03	13.5	9.73
5	6.9	165.90	144	34.0	55.40	382	<0.04	<0.03	15.4	11.28
6	7.3	42.00	30	4.4	14.10	205	1.64	0.09	19.5	10.40
7	7.45	139.65	126	25.0	33.40	315	<0.04	<0.03	15.5	11.70
8	7.1	224.70	174	46.0	56.70	488	<0.04	<0.03	19.1	11.69
9	6.9	123.90	121	47.0	31.10	349	<0.04	<0.03	15.5	11.08
10	7.4	144.90	123	26.0	36.20	318	<0.04	<0.03	16.1	11.65
11	7.3	165.90	156	40.0	54.60	405	0.08	0.98	17.0	11.71
12	7.1	186.90	154	29.0	38.70	384	<0.04	0.19	15.9	11.56

**I.A. = Indice de Agresividad**



**TABLA 53. RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE LA PRESENCIA DE FIBRAS DE ASBESTO EN MUESTRAS DE AGUA DE SUMINISTRO DE LA CIUDAD DE CULIACAN, SIN.**

**METODO DE ANALISIS: MICROSCOPIA ELECTRONICA DE TRANSMISION  
 FECHA DE ENTREGA DE MUESTRAS: 12-NOVIEMBRE-91  
 FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 30-ENERO-92**

NUM. DE MUESTRA	RESULTADOS
1	N.D.
2	N.D.
3	N.D.
4	N.D.
5	32,344.5 FIBRAS/L
6	N.D.
7	N.D.
8	N.D.
9	N.D.
10	N.D.
11	32,344.5 FIBRAS/L
12	N.D.

**N.D. = No detectable = menor de 32,344.5 fibras/L, que es el límite de detección del microscopio electrónico de transmisión, cuando se usan rejillas G3000**

**TABLA 54. COMPARACION DE INDICES DE AGRESIVIDAD (I.A.)  
 DETERMINADOS EN CAMPO Y EN EL LABORATORIO CIECCA-IMTA  
 CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA CULIACAN, SIN.**

<b>NUM. DE MUESTRA</b>	<b>I.A. (Campo)</b>	<b>I.A. (Laboratorio)</b>
1	12.33	12.01
2	11.88	11.87
3	10.47	9.96
4	9.99	9.73
5	11.47	11.28
6	10.64	10.40
7	11.44	11.70
8	11.48	11.69
9	11.12	11.08
10	11.40	11.65
11	11.45	11.71
12	11.49	11.56

## 7.- CONCLUSIONES

- La información existente sobre asbesto es más abundante para estudios en ambientes laborales y domésticos, y no así para agua potable.
- En la actualidad no existe información rigurosa que justifique que el asbesto en el agua potable cause problemas de salud pública.
- Los asbestos se encuentran ampliamente distribuidos en toda la corteza terrestre en bajas cantidades. Sin embargo, en algunos lugares se alcanzan concentraciones tan altas que rebasan el límite máximo permisible recomendado por Estados Unidos de Norteamérica, el cual es de 7.1 millones de fibras por litro, con longitudes de más de 10 micras de largo.
- En las redes de suministro de agua potable de las ciudades del país monitoreadas se cuenta con tuberías de asbesto-cemento en un porcentaje superior al 90%.
- De acuerdo a los resultados de éste estudio, las ciudades de Puebla, San Luis Potosí, Guadalajara y Culiacán presentan tres tipos de aguas: agresiva, moderadamente agresiva e inocua. Veracruz y Mérida poseen aguas moderadamente agresivas e inocuas. El agua potable de Oaxaca, Monterrey, Ciudad Juárez y Mexicali, se considera inocua. No obstante en algunos sitios de muestreo de Ciudad Juárez y Monterrey, el agua presentó muy ligera agresividad.
- En las ciudades de Puebla, Veracruz, Oaxaca, San Luis Potosí, Monterrey, Cd. Juárez, Mexicali y Mérida no se detectaron fibras de asbesto en sus fuentes de abastecimiento de agua, a pesar de que los análisis de la calidad del agua de Puebla, Veracruz y San Luis Potosí, produjeron valores de índice de agresividad (I.A.) que representaban un alto riesgo para el deterioro de la tubería de Asbesto-cemento.
- Se detectaron fibras de asbesto en algunos sitios de los sistemas de abastecimiento de las ciudades de Guadalajara y Culiacán. En la primera se encontró un racimo de fibras que no fue posible cuantificar y en la segunda, la concentración encontrada fue de 32,344.5 fibras/Litro.
- En Guadalupe, la presencia de fibras de asbesto en una toma domiciliaria de la colonia Jalisco, se debe más que al deterioro de la tubería a los posibles residuos de asbesto-cemento que se produjeron durante la instalación de la red de abastecimiento.
- En Culiacán, sólo en el tanque de rebombeo Penjamo Alto y en la Toma domiciliaria de la colonia La Libertad, se presentaron fibras de asbesto. Su presencia en el agua, se

debe al deterioro de la tubería causada más por la antigüedad de ésta que por la ligera agresividad que presenta el agua (I.A. de 11.47 y 11.45 respectivamente).

- Veracruz, San Luis Potosí, Monterrey, Guadalajara y Culiacán usan agua superficial y subterránea como fuente de suministro de agua potable. Puebla, Cd. Juárez y Mérida hacen uso de pozos de captación, en cambio Mexicali utiliza solamente agua superficial. En dichas fuentes, no se detectaron fibras de asbesto, por lo que se puede afirmar que en las regiones donde están asentadas éstas ciudades no existen depósitos de asbesto.
- Los resultados que se generaron en este estudio, indican que el deterioro que presentan las tuberías y tinacos de asbesto cemento, aún no es significativo. La concentración de fibras de asbesto encontradas en el agua de dos sitios de la ciudad de Culiacán, es tan baja que no representan un riesgo para la salud, más aún que se sabe que las fibras de asbesto (del tipo crisotilo) presentes en el agua, tienen una estructura diferente a la matriz original, lo que disminuye sus efectos cancerígenos.
- En la actualidad, Suecia y Holanda prohibieron el uso de asbesto, Estados Unidos, Japón y Alemania entre otros países ya no usan tuberías de asbesto-cemento. Sin embargo, son productores de la misma, la cual exportan a naciones latinoamericanas. Por otra parte, algunos países desarrollados, están realizando investigaciones para reemplazar en un futuro los productos a base de asbesto-cemento, por otros menos riesgosos para la salud.

## 8.- RECOMENDACIONES

- \* Promover la realización de estudios epidemiológicos que ayuden a aclarar los efectos de los asbestos sobre la salud, cuando se usan tuberías y tinacos de asbesto-cemento
- \* Es necesario efectuar un estudio sobre comparación de técnicas para determinación de fibras de asbesto en agua potable.
- \* Realizar un monitoreo sistemático del agua de suministro de ciudades con mayor riesgo potencial en cuanto a la liberación de fibras de asbesto, como es el caso de Guadalajara y Culiacán.
- \* Evaluar la variación de la agresividad del agua con la adición de cloro, puesto que en este estudio se notó cierta tendencia hacia la corrosividad. Si el suministro de agua se hace intermitentemente, entonces aumenta este fenómeno.
- \* Es importante evaluar la presencia de fibras de asbesto en otras vías de entrada para el organismo humano, desde el punto de vista de ingestión. Estas pueden ser refrescos, vinos, jugos entre muchos otros productos que durante su elaboración utilicen equipo fabricado a base de asbesto.
- \* La corrosividad del agua medida con el índice de agresividad no representa un medio definitivo para determinar la capacidad de esta agua para deteriorar la tubería de asbesto-cemento; además su corrosión va a depender de la calidad de fabricación del tubo, de la composición del agua, de las condiciones hidráulicas y de la edad de la tubería.
- \* En la mayoría de los efluentes de las plantas potabilizadoras, el agua presenta mayor corrosividad que el influente, lo que hace necesario estabilizarlo antes de enviarla a la red de conducción y distribución, esto para evitar que con el tiempo las tuberías se dañen y faciliten la liberación de fibras de asbesto.
- \* La humedad, es un factor que juega un importante papel en la reducción de la resistencia de las tuberías de asbesto-cemento a la corrosión, por lo que es conveniente que éstas estén protegidas tanto en el interior como en el exterior por una película protectora que evite en gran medida la acción agresiva del agua.
- \* Aunque la concentración encontrada de asbestos en el agua es muy baja, y no representa por sí sola un problema de salud, es conveniente, evaluar otras vías de entrada, que pueden incrementar el riesgo potencial de contaminación por asbestos, principalmente en aquellas ciudades más densamente pobladas.

\* Sería conveniente agilizar la revisión de la norma mexicana actual para asbestos en agua potable, ya que no existe concordancia entre el límite de detección de asbestos por el método de microscopia electrónica de transmisión, el que detecta 32,344.5 fibras/Litro y el límite máximo permitido para éste parámetro que es de 3000 fibras/Litro, y es el que aparece en el diario oficial de la federación de diciembre de 1989.

## 8.- LITERATURA CITADA

- 1.- ADOSAPACO.- (1987). APUNTES SOBRE EL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE OAXACA, págs. 1-25.
- 2.- Asociación Mexicana de Fabricantes de Fibro-Cemento, A.C.- (1989). EL ASBESTO-CEMENTO Y LA SALUD, págs. 1-12.
- 3.- Asociación Mexicana de Fabricantes de Fibro-Cemento, A.C.- (1988). LA TUBERIA DE FIBRO-CEMENTO Y LA SALUD, págs.1-12.
- 4.- AWWA Research Foundation.- (1974). A STUDY OF THE PROBLEM OF ASBESTOS IN WATER.- DOES THE USE OF ASBESTOS-CEMENT PIPE FOR POTABLE WATER SYSTEMS CONSTITUTE A HEALTH HAZARD? A Committe Report of september, págs. 1-22.
- 5.- Buelow, R.W., et al.- (1980). THE BEHAVIOR OF ASBESTOS-CEMENT PIPE UNDER VARIOUS WATER QUALITY CONDITIONS: A PROGRESS REPORT.- AWWA Journal.- Research and Technology.- Febrero, págs. 91-102.
- 6.- Camp, R.T.- (1963). WATER AND ITS IMPURITIES.- Reinhold Publishing Corporation, págs. 188 - 204.
- 7.- Centro Estatal de Estudios Municipales.- (1988). LOS MUNICIPIOS DE YUCATAN.- Enciclopedia de los Municipios de México.
- 8.- Centro Estatal de Estudios Municipales.- (1988). LOS MUNICIPIOS DE JALISCO.- Enciclopedia de los Municipios de México.
- 9.- Centro Estatal de Estudios Municipales.- (1988). LOS MUNICIPIOS DE NUEVO LEON.- Enciclopedia de los Municipios de México.
- 10.- Centro Estatal de Estudios Municipales.- (1988). LOS MUNICIPIOS DE CHIHUAHUA.- Enciclopedia de los Municipios de México.
- 11.- Centro Estatal de Estudios Municipales.- (1988). LOS MUNICIPIOS DE BAJA CALIFORNIA.- Enciclopedia de los Municipios de México.

- 12.- Centro Estatal de Estudios Municipales.- (1988). LOS MUNICIPIOS DE SINALOA.- Enciclopedia de Los Municipios de México.
- 13.- CEPIS.- MANUAL DE EVALUACION Y MANEJO DE SUSTANCIAS TOXICAS EN AGUAS SUPERFICIALES.- Sección 2.- Evaluación y Manejo de Riesgos.- Diciembre.
- 14.- Conforti, et al.- (1981). ASBESTOS IN DRINKING WATER AND CANCER IN THE SAN FRANCISCO BAY AREA: 1969-1974 INCIDENCE. Journal Chron. Dis.- Vol. 34, págs. 211-224.
- 15.- Craighead, J.E., et al.- (1980). COMPARATIVE STUDIES ON THE CYTOTOXICITY OF AMPHIBOLE AND SERPENTINE ASBESTOS.- Environmental Health Perspectives.- Vol. 34, págs.37-46, Febrero.
- 16.- Dávila Villarreal, A., Trujillo Sánchez, B.M. y Rosales Aguilera E.. (1987). DETERMINACION DE LA NORMA TECNICA DE EMISION DE ASBESTO, págs. 1-83.
- 17.- Dupré, J.S., et al.- (1984). REPORT OF THE ROYAL COMMISSION ON MATTERS OF HEALTH AND SAFETY ARISING FROM THE USE OF ASBESTOS IN ONTARIO.- Vol. II.- Cap. 6 y 11.- Printed by The Queen's Printer for Ontario, Toronto.- Canadá, págs. 355-659.
- 18.- EPA CODE OF FEDERAL REGULATIONS PROTECTION OF ENVIRONMENT.- Parts 700-789.- (1990). Published by the Office of the Federal Register National Archives and records Administration.- July 1, págs. 337-507.
- 19.- Fernández Villagomez, Georgina.- (1986). APUNTES DE QUIMICA AMBIENTAL.- Facultad de Ingeniería de la UNAM, págs. 172-208.
- 20.- Frank, A.L.- (1980). CLINICAL OBSERVATIONS FOLLOWING ASBESTOS EXPOSURE.- Environmental Health Perspectives.- Vol. 34, Febrero, págs. 27-30
- 21.- Gyves, M.J, et al.- (1990). DETERMINACION DE LA TENDENCIA A LA INCRUSTACION O CORROSION DEL AGUA.- Ingeniería Hidráulica en México.- MAYO-AGOSTO, págs. 53-58.



- 22.- H. Ayuntamiento de La Ciudad de San Luis Potosí.- (1990). APUNTES SOBRE EL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SAN LUIS POTOSI, págs. 1-32.
- 23.- Hayward, S.B.- (1984). FIELD MONITORING OF CHRYSOTILE ASBESTOS IN CALIFORNIA WATERS.- AWWA Journal.- Research and Technology.- Marzo, págs. 66-73.
- 24.- Helsen, J.A. et al.- (1984). SURFACE CHARACTERISTICS OF ASBESTOS FIBERS RELEASED FROM ASBESTOS-CEMENT PRODUCTS.- Am. Ind. Hyg. Assoc. Journal.- Vol. 50, Diciembre, págs. 655-663
- 25.- INEGI.- (1984). ANUARIO ESTADISTICO DE BAJA CALIFORNIA.
- 26.- INEGI.- (1990). XI CENSO GENERAL DE POBLACION Y VIVIENDA.
- 27.- INEGI.- (1986). CHIHUAHUA, CUADERNO DE INFORMACION PARA LA PLANEACION.
- 28.- INEGI.- (1989). CUADERNO DE INFORMACION PARA LA PLANEACION DEL ESTADO DE PUEBLA.
- 29.- INEGI.- (1989). JALISCO, CUADERNO DE INFORMACION PARA LA PLANEACION.
- 30.- INEGI.- (1988). NUEVO LEON, CUADERNO DE INFORMACION PARA LA PLANEACION.
- 31.- INEGI.- (1990). OAXACA, CUADERNO DE INFORMACION PARA LA PLANEACION.
- 32.- INEGI.- (1990). SINALOA, CUADERNO DE INFORMACION PARA LA PLANEACION.
- 33.- INEGI.- (1989). VERACRUZ, CUADERNO DE INFORMACION PARA LA PLANEACION MUNICIPAL.
- 34.- INEGI.- (1990). YUCATAN, CUADERNO DE INFORMACION PARA LA PLANEACION MUNICIPAL.

- 35.- INEGI.- (1988). Presidencia Municipal de Juárez, Chihuahua.- JUAREZ, CUADERNO DE INFORMACION BASICA PARA LA PLANEACION MUNICIPAL 1986-1989.
- 36.- INEGI.- (1987). SINTESIS GEOGRAFICA, NOMENCLATOR Y ANEXO CARTOGRAFICO DEL ESTADO DE PUEBLA.
- 37.- INEGI.- (1987). SINTESIS GEOGRAFICA, NOMENCLATOR Y ANEXO CARTOGRAFICO DEL ESTADO DE VERACRUZ.
- 38.- INEGI.- (1981). SINTESIS GEOGRAFICA, NOMENCLATOR Y ANEXO CARTOGRAFICO DEL ESTADO DE NUEVO LEON.
- 39.- INEGI.- (1990). ANUARIO ESTADISTICO DEL ESTADO DE PUEBLA.
- 40.- Instituto Mexicano del Seguro Social.- (1989). Jefatura de Servicios de Salud en el Trabajo.- RIESGOS QUE REPRESENTA EL MANEJO DE ASBESTOS.- Agosto, págs. 1-5.
- 41.- Issa, S.S.- (1990). RESIDUAL STRESSES IN ASBESTOS-CEMENT PIPES.- Journal of Engineering Mechanics.- Vol. 116, No. 5, Mayo.
- 42.- Kay, G.H.- (1974). ASBESTOS IN DRINKING WATER.- AWWA Journal.- Research.- Vol. 66, No. 9, págs. 513-518, Septiembre.
- 43.- Lemaire, I., et al.- (1989). RAT LUNG REACTIVITY TO NATURAL AND MAN-MADE FIBROUS SILICATES FOLLOWING SHORT-TERM EXPOSURE.- Environmental Research.- Vol. 48, págs. 193-210.
- 44.- McGuire, M.J., et al.- (1982). ASBESTOS ANALYSIS CASE HISTORY: SURFACE WATER SUPPLIES IN SOUTHERN CALIFORNIA.- AWWA Journal.- Research and Technology.- Febrero, págs. 470-478.
- 45.- Millette, J.R., et al.- (1982). CONCENTRATION AND SIZE OF ASBESTOS IN WATER SUPPLIES.- Environmental Health Perspectives.- Vol. 34, págs. 13-25.

- 46.- Mitastein, M. - (1985). MEMORIAS DE LA REUNION SOBRE ASBESTO Y SALUD EN AMERICA LATINA.- México, Octubre 31-Noviembre 1.
- 47.- Meas Vong Y., et al.- (1991). TRES METODOS PARA EVALUAR UNA VELOCIDAD DE CORROSION.- Ingeniería Hidráulica en México.- Enero-abril, págs. 21-23.
- 48.- Mora Reyes, D.- (1988). IDENTIFICACION DE FIBRAS DE ASBESTOS EN EL SISTEMA HIDRAULICO DEL D.F. (SHDF), págs. 673-684.
- 49.- Olson, L. Harold.- (1974). ASBESTOS IN WATER SUPPLIES.- AWWA, Journal Research.- Vol. 66, No. 9, Septiembre, págs.515-518.
- 50.- Olivarez Lopez, Fernando.- (1991). INDUSTRIAS VERSALITE DE MEXICO.- Comunicación Personal.
- 51.- Padilla Giorge, A.- (1991). ESTUDIO DE CALIDAD DEL AGUA EN EL MUNICIPIO DE PUEBLA.- Universidad Autónoma de Puebla, págs. 1-47.
- 52.- Pacheco Avila, J., Cabrera Sansores A., y Villasuso Pino, M.- (1990). PROBLEMAS ACTUALES DEL RECURSO HIDRAULICO EN EL ESTADO DE YUCATAN.- Ingeniería Hidráulica en México, Sept.-Dic, págs.
- 53.- Reinhardt, W.G.- (1986). ASBESTOS ALARM IN DRINKING WATER.- WNR News.- The McGraw-Hill Construction Weekly.- Abril 24, págs. 10-11.
- 54.- Rendón V, Luis.- (1991).- Universidad Autónoma de México, Instituto de Física. Comunicación Personal.
- 55.- Sandoval Orellana H., & S. Schorr, T.- ASBESTO: SALUD DE TRABAJADORES.- MODULO DE ADIESTRAMIENTO 1.- Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud.- Organización Panamericana de la Salud.- Organización Mundial de la Salud.
- 56.- Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial.- (1982). ASBESTO CEMENTO-TUBOS PARA LINEAS DE DISTRIBUCION A PRESION PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE ESPECIFICACIONES.- Norma Oficial Mexicana NOM-C12-2/2.

- 57.- Schock, M.R. et al.- (1981). THE BEHAVIOR OF ASBESTOS-CEMENT PIPE UNDER VARIOUS WATER QUALITY CONDITIONS: PART 2, THEORETICAL CONSIDERATIONS.- AWWA Journal.- Research and Technology.- Diciembre, págs. 636-651.
- 58.- Spurny, K.R.- (1989). ON THE RELEASE OF ASBESTOS FIBERS FROM WEATHERED AND CORRODED ASBESTOS CEMENT PRODUCTS.- Environmental Research.- Vol. 48, págs. 110-116.
- 59.- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA and WPCF, Washington, D.C., 17 Th ed., 1989.
- 60.- Stumm W. and Morgan, J.J.- (1970). AQUATIC CHEMISTRY.- An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters.- John Willey Editors, U.S.A., Págs. 514 - 563.
- 61.- Universidad Nacional Autónoma de México.- (1988). ESTUDIO GEOFISICO GEOHIDROLOGICO DEL VALLE DE SAN LUIS POTOSI.- Contrato SARH CC-86314D, págs. 1-44.
- 62.- Universidad Autónoma de Nuevo León.- Facultad de Ingeniería Civil.- (1987). APUNTES DEL CURSO INTENSIVO NUM. 4 "CORROSION E INCRUSTACION EN TUBERIAS", págs. 185-338.
- 63.- Webber, J.S., et al.- (1988). ASBESTOS-CONTAMINATED DRINKING WATER: ITS IMPACT ON HOUSEHOLD AIR.- Environmental Research.- Vol. 46, págs. 153-167.
- 64.- Webber, J.S., et al.- (1989). ASBESTOS IN DRINKING WATER SUPPLIED THROUGH GROSSLY DETERIORATED A-C PIPE.- AWWA Journal.- Research and Technology.- Febrero, págs. 80-85.

## 10.- INDICE DE TABLAS

	PAGINA
Tabla 1.- Composición química y propiedades físicas de las variedades comerciales de asbesto . . . . .	6
Tabla 2.- Variedades de minerales fibrosos y no fibrosos de asbestos . . . . .	7
Tabla 3.- Importación de asbesto en México, Costos y principales proveedores en orden de importancia.	9
Tabla 4.- Costos de Importación de asbestos en México y países proveedores para el año 1989 . .	9
Tabla 5.- Criterios de Calidad del Agua para asbestos en agua potable . . . . .	18
Tabla 6.- Clasificación del agua de acuerdo a su composición . . . . .	23
Tabla 7.- Selección de ciudades para muestreo de asbestos en agua potable, de acuerdo al volumen de población y su participación relativa en el total nacional . . . . .	32
Tabla 8.- Programa de Muestreo de agua para análisis de asbesto en ciudades. Parámetros requeridos y necesidades del estudio . . . . .	33
Tabla 9.- Valores máximos permisibles para agua potable (sólo los requeridos para el estudio) . . . . .	36
Tabla 10.- Sistemas de abastecimiento de agua potable en la Ciudad de Puebla . . . . .	39
Tabla 11.- Resultados de los análisis realizados en campo en la Ciudad de Puebla . . . . .	43
Tabla 12.- Resultados de los análisis realizados en el Laboratorio CIECCA-IMTA, para la Ciudad de Puebla . . . . .	44
Tabla 13.- Resultados de la determinación de la presencia de fibras de asbesto en muestras de agua de suministro de la Ciudad de Puebla, Pue. . .	45
Tabla 14.- Comparación de índices de agresividad (I.A.) determinados en campo y en el Laboratorio CIECCA-IMTA, con los resultados obtenidos para Puebla, Pue. . . . .	46

Tabla 15.-	Resultados de los análisis realizados en campo en la Ciudad de Veracruz, Ver. . . . .	53
Tabla 16.-	Resultados de los análisis realizados en el Laboratorio CIECCA-IMTA para la Ciudad de Veracruz, Ver. . . . .	54
Tabla 17.-	Resultados de la determinación de la presencia de fibras de asbesto en muestras de agua de suministro de la Ciudad de Veracruz, Ver. . .	55
Tabla 18.-	Comparación de índices de agresividad (I.A.) determinados en campo y en el Laboratorio CIECCA-IMTA, con los resultados obtenidos para Veracruz, Ver. . . . .	56
Tabla 19.-	Resultados de los análisis realizados en campo en la Ciudad de Oaxaca de Juárez, Oax. . . . .	64
Tabla 20.-	Resultados de los análisis realizados en el Laboratorio CIECCA-IMTA, para la Ciudad de Oaxaca de Juárez, Oax. . . . .	65
Tabla 21.-	Resultados de la determinación de la presencia de fibras de asbesto en muestras de agua de suministro de la Ciudad de Oaxaca de Juárez, Oax. . . . .	66
Tabla 22.-	Comparación de índices de agresividad (I.A.) determinados en campo y en el Laboratorio CIECCA-IMTA, con los resultados obtenidos para Oaxaca, Oax. . . . .	67
Tabla 23.-	Características de la red de abastecimiento de agua potable en la Ciudad de San Luis Potosí, S.L.P. . . . .	71
Tabla 24.-	Resultados de los análisis realizados en campo en la Ciudad de San Luis Potosí, S.L.P. . . . .	75
Tabla 25.-	Resultados de los análisis realizados en el Laboratorio CIECCA-IMTA para la Ciudad de San Luis Potosí, S.L.P. . . . .	76
Tabla 26.-	Resultados de la determinación de la presencia de fibras de asbesto en muestras de agua de suministro de la Ciudad de San Luis Potosí, S.L.P. . . . .	77
Tabla 27.-	Comparación de índices de agresividad (I.A.) determinados en campo y en el Laboratorio CIECCA-IMTA, con los resultados obtenidos para la Ciudad de San Luis Potosí, S.L.P. . . . .	78

Tabla 28.-	Municipios que forman el área metropolitana de Monterrey. . . . .	80
Tabla 29.-	Resultados de los análisis realizados en campo en la Ciudad de Monterrey, N.L. . . . .	86
Tabla 30.-	Resultados de los Análisis realizados en el Laboratorio CIECCA-IMTA para la Ciudad de Monterrey, N.L. . . . .	87
Tabla 31.-	Resultados de la determinación de la presencia de fibras de asbesto en muestras de agua de suministro de la Ciudad de Monterrey, N.L. .	88
Tabla 32.-	Comparación de índices de agresividad (I.A.) determinados en campo y en el Laboratorio CIECCA-IMTA, con los resultados obtenidos para la Ciudad de Monterrey, N.L. . . . .	89
Tabla 33.-	Fuentes de captación subterránea para agua potable en la Ciudad de Guadalajara, Jal. . .	93
Tabla 34.-	Resultados de los análisis realizados en campo en la Ciudad de Guadalajara, Jal. . . . .	99
Tabla 35.-	Resultados de los análisis realizados en el Laboratorio CIECCA-IMTA para la Ciudad de Guadalajara, Jal. . . . .	100
Tabla 36.-	Resultados de la determinación de la presencia de fibras de asbesto en muestras de agua de suministro de la Ciudad de Guadalajara, Jal. .	101
Tabla 37.-	Comparación de índices de agresividad (I.A.) determinados en campo y en el laboratorio CIECCA-IMTA, con los resultados para Guadalajara, Jal. . . . .	102
Tabla 38.-	Resultados de los análisis realizados en campo en Cd. Juárez Chih. . . . .	109
Tabla 39.-	Resultados de los análisis realizados en el Laboratorio CIECCA-IMTA para Cd. Juárez. . . .	110
Tabla 40.-	Resultados de la determinación de la presencia de fibras de asbesto en muestras de agua de suministro de Cd. Juárez, Chih. . . . .	111
Tabla 41.-	Comparación de índices de agresividad (I.A.) determinados en campo y en el Laboratorio CIECCA-IMTA, con los resultados obtenidos para Cd. Juárez, Chih. . . . .	112

Tabla 42.-	Resultados de los análisis realizados en campo en la Ciudad de Mexicali, B.C.N. . . . .	119
Tabla 43.-	Resultados de los análisis realizados en el Laboratorio CIECCA-IMTA para la Ciudad de Mexicali, B.C.N. . . . .	120
Tabla 44.-	Resultados de la determinación de la presencia de fibras de asbesto en muestras de agua de suministro de la Ciudad de Mexicali, B.C.N. . .	121
Tabla 45.-	Comparación de índices de agresividad (I.A.) determinados en campo y en el Laboratorio CIECCA-IMTA, con los resultados obtenidos para Mexicali, B.C.N. . . . .	122
Tabla 46.-	Fuente de abastecimiento de agua potable en la Ciudad de Mérida, Yuc. . . . .	125
Tabla 47.-	Resultados de los análisis realizados en campo en la Ciudad de Mérida, Yuc. . . . .	131
Tabla 48.-	Resultados de los análisis realizados en el Laboratorio CIECCA-IMTA para la Ciudad de Mérida, Yuc. . . . .	132
Tabla 49.-	Resultados de la determinación de la presencia de fibras de asbesto en muestras de agua de suministro de la Ciudad de Mérida, B.C.N. . .	133
Tabla 50.-	Comparación de índices de Agresividad (I.A.) determinados en campo y en el Laboratorio CIECCA-IMTA, con los resultados obtenidos para la Ciudad de Mérida, Yuc. . . . .	134
Tabla 51.-	Resultados de los análisis realizados en campo en la Ciudad de Culiacán, Sin. . . . .	143
Tabla 52.-	Resultados de los análisis realizados en el laboratorio CIECCA-IMTA para la Ciudad de Culiacán, Sin. . . . .	144
Tabla 53.-	Resultados de la determinación de la presencia de fibras de asbesto en muestras de agua de suministro de la Ciudad de Culiacán, Sin. .	145
Tabla 54.-	Comparación de índices de agresividad (I.A.) determinados en campo y en el Laboratorio CIECCA-IMTA, con los resultados obtenidos para la Ciudad de Culiacán, Sin. . . . .	146



## 11.- INDICE DE FIGURAS

Figura 1.-	Localización de ciudades seleccionadas para para evaluación de asbestos en agua potable en diez ciudades del país. . . . .	34
Figura 2.-	Sitios de muestreo y parámetros requeridos para el proyecto. . . . .	35
Figura 3.-	Plano de la red de agua potable de la Ciudad de Puebla y sitios de muestreo. . . . .	42
Figura 4.-	Plano de la Ciudad de Veracruz y sitios de muestreo. . . . .	52
Figura 5.-	Plano de la Ciudad de Oaxaca y sitios de muestreo. . . . .	63
Figura 6.-	Plano de la Ciudad de San Luis Potosí y sitios de muestreo. . . . .	74
Figura 7.-	Sitios de muestreo de la Ciudad de Monterrey. . . . .	85
Figura 8.-	Plano de la Ciudad de Guadalajara y sitios de muestreo. . . . .	98
Figura 9.-	Sitios de muestreo de Cd. Juárez Chih. . . . .	108
Figura 10.-	Sitios de Muestreo en la ciudad de Mexicali. . . . .	118
Figura 11.-	Plano de la Ciudad de Mérida y sitios de muestreo. . . . .	130
Figura 12.-	Sitios de muestreo en la Ciudad de Culiacán. . . . .	142