

UMSNH

---

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS  
DE HIDALGO**

***FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL***

**“CALIDAD DEL AGUA DE LOS POZOS DE ABASTECIMIENTO  
DE LA CIUDAD DE MORELIA”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL**

**Presenta:  
Pavel Madrigal Equihua**

**Asesor:  
Dr. Jesús Alberto Rodríguez Castro**

**Morelia Michoacán, Enero de 2005**

---

*Pavel Madrigal Equihua/F.I.C.*

## INDICE

Capitulo 1 Introducción.....	1
1.1.-Antecedentes.....	1
1.2.-Riesgo de contaminación.....	1
1.3.-Importancia de la calidad del agua.....	2
1.4.-Objetivo.....	3
Capitulo 2 Conceptos básicos.....	4
2.1.-importancia de las aguas subterráneas en el suministro de agua potable.....	5
2.2.-Contaminación del agua.....	10
2.3.-Efectos de la contaminación del agua.....	10
2.4.-Actividades principales que causan contaminación de agua subterránea...	12
2.5.-Parámetros de calidad del agua.....	20
2.5.1- pH.....	21
2.5.2.-Oxígeno disuelto.....	21
2.5.3.-Nitrógeno amoniacal.....	22
2.5.4.-Conductividad eléctrica.....	22
2.5.5.-Temperatura del agua.....	23
2.5.6.-Bacterias coliformes.....	23
2.5.7.-Sedimentos.....	24
2.5.8.-Microorganismos.....	25
2.5.9.-Desechos orgánicos.....	25
2.5.10.-Sólidos totales disueltos.....	25
2.5.11.-Arsénico.....	25
2.5.12.-Nitratos.....	25
2.5.13.-Nutrientes.....	26
2.5.14.-Cobre.....	26
2.5.15.-Silicio.....	27
2.5.16.-Calcio.....	27
2.5.17.-Químicos.....	27

2.5.18.-El lixiviado.....	27
2.5.19.-Vulnerabilidad.....	28
2.6.-Vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación.....	26
2.7.-Clasificación de las aguas subterráneas por su origen y tiempo de contacto con el acuífero, origen de las salmueras naturales.....	29
2.7.1 Aguas Vadosas o Meteóricas o Recientes.....	29
2.7.2 Aguas Marinas.....	29
2.7.3 Aguas Fósiles.....	30
2.7.4 Aguas Congénitas.....	30
2.7.5 Aguas Juveniles, Metamórficas, Magmáticas y Volcánicas.....	30
2.7.6 Aguas Minerales.....	31
2.7.7 Aguas Saladas y Salmueras Naturales.....	31
2.8.-Modificaciones de la calidad del agua subterránea durante la infiltración.....	31
2.8.1 Incremento de salinidad.....	31
2.9.-Los Manantiales.....	32
Capitulo 3.-Descripción de la zona de estudio.....	34
3.1.-Localización Geográfica.....	34
3.2.-Orografía.....	34
3.3.-Hidrografía.....	34
3.4.-Actividades Económicas.....	35
3.5.-Clima.....	35
3.5.1.-Precipitación.....	35
3.5.2.-Temperatura.....	35
Capitulo 4.-Resultados.....	36
4.1.-Metodología.....	36
4.2.-Discusión.....	45
Capitulo 5.-Conclusiones.....	61
Bibliografía.....	62
ANEXOS.....	64

## **1.-INTRODUCCION**

### **1.1.-Antecedentes**

En las últimas décadas la ciudad de Morelia, ha sufrido un acelerado crecimiento demográfico, así como una considerable expansión territorial. La mancha urbana actualmente ocupa aproximadamente, 8100 ha. y se estima que el crecimiento desde el centro histórico puede alcanzar un poco más de 9000 ha, de las cuales la mitad correspondería a desarrollos formales y la otra mitad a asentamiento irregulares. La población en 2003 fue de 626160 habitantes y se espera que se alcance la cifra de 903620 habitantes para el año 2023.

Las fuentes de abastecimiento de aguas subterráneas, constituyen parte importante del suministro de Morelia. De casi 100 millones de metros cúbicos al año, 40% proviene de fuentes subterráneas a través de pozos profundos. Conforme a mediciones de gasto llevadas a cabo entre los meses de diciembre de 2002 y enero de 2003. El gasto medio que en conjunto aportan los 89 pozos en servicio es de alrededor de 1080 l.p.s.

### **1.2.-Riesgo de contaminación y consecuencias**

El riesgo de la contaminación del agua por alguna sustancia o elemento, es muy elevado en todo asentamiento humano y Morelia no es la excepción, ya que diariamente se producen desechos que no se eliminan de la manera mas apropiada, porque no se cuenta con sitios indicados para el deposito de cada uno de los desechos, como es el caso de las baterías, los desechos de hospitales, los residuos de los rastros, etc. se puede también mencionar los las alcantarillas, la falta de drenaje en las zonas rurales cercanas a la ciudad, las tuberías de drenaje que se dañan por el desgaste, presiones fuera de diseño, por la mala colocación, etc., que permiten la infiltración de los desechos al suelo y que en determinado momento podrían llegar a los mantos acuíferos. Si se analiza lo antes mencionado, se puede asumir que cualquier actividad humana causa contaminación así que, el riesgo es muy alto si se contempla todo lo anterior.

Una de las consecuencias de esta contaminación es la falta de calidad en el agua que sirve para diversos usos tales como el consumo, el aseo, la recreación, etc. El riego, es también muy importante puesto que los cultivos asimilan los componentes del agua y los concentran en su fruto. Sería catastrófico ya que bajo esta situación los productores, en la cadena alimenticia, representarían un alto riesgo y no se podría desarrollar la vida como hasta ahora.

### **1.3.-Importancia de la calidad del agua**

La conceptualización de la conservación del recurso agua debe entenderse como un proceso que cruza a varios sectores, por lo que la estrategia debe considerar todo: lo económico, lo social, lo biológico, lo político, etcétera. La calidad del agua es importante para mantener el hábitat de todo ser vivo, mas aun, si se considera que todo ser viviente requiere de cierta cantidad de agua que le permita satisfacer sus necesidades y las de su fuente de alimento.

La calidad del agua es fundamental para el alimento, la energía y la productividad. El manejo juicioso de este recurso es central para la estrategia del desarrollo sustentable, entendido éste como una gestión integral que busque el equilibrio entre crecimiento económico, equidad y sustentabilidad ambiental, a través de un mecanismo regulador que es la participación social efectiva.

### **1.4.-Objetivo**

Es por esta razón por la que se decidió llevar a cabo este estudio, con el objeto de contribuir a un mejor conocimiento del estado actual del las fuentes subterráneas de abastecimiento de agua de la ciudad de Morelia. Para la realización de dicho estudio, se optó por utilizar dieciséis pozos de extracción de agua, los cuales se seleccionaron de tal forma que se cubriera la mayor parte de la ciudad de Morelia y así tener una muestra representativa. Con la finalidad de tener una idea general de la calidad del agua en los pozos, se midieron los siguientes parámetros: pH, Conductividad, Turbidez, Do, Temperatura, Total de Sólidos Disueltos, Potencial de Oxido Reducción, Cloro,

Nitrato y Calcio. Con esta información se construyeron curvas de isovalores para resaltar y monitorear tendencias a lo largo de la ciudad.

Al hacer la comparativa de los resultados obtenidos en el presente estudio, con la norma **NOM-127-SSA1-1994**, se encontró que la calidad del agua de los pozos de abastecimiento de la ciudad de Morelia, está dentro de que establecen los máximos permisibles de agua para consumo humano, sin embargo, no se debe dejar pasar por alto que algunos de los pozos monitoreados se salieron de los parámetros establecidos por dicha norma, como el pH, la turbidez, y el nitrato, aunque tampoco significa que el agua este en malas condiciones o que sea peligrosa para el consumo de la población, pero debe considerarse en estudios posteriores.

## **2.-CONCEPTOS BASICOS**

El agua es una molécula simple y extraña, puede ser considerada como el líquido de la vida. Es la sustancia más abundante en la biosfera, donde la encontramos en sus tres estados y es además el componente mayoritario de los seres vivos, pues entre el 65 y el 95% del peso de la mayor parte de las formas vivas es agua, fue además el soporte de donde surgió la vida. Molécula con un extraño comportamiento que la convierte en una sustancia diferente a la mayoría de los líquidos, posee una manifiesta reaccionabilidad y posee unas extraordinarias propiedades físicas y químicas que van a ser responsables de su importancia biológica.

Aproximadamente el 70% de la superficie de la Tierra está cubierta por agua, esta se mantiene en los océanos como una vasta reserva de agua salada; en la Tierra como agua superficial en lagos y ríos, en el subsuelo como agua subterránea, en la atmósfera como vapor de agua y en las capas polares como hielo sólido. El agua transporta materia y energía a través de diferentes estratos en el planeta, lixivia los constituyentes solubles de minerales, los lleva hasta el mar o los deja como depósitos en algunos de los lugares que recorre, también transporta nutrientes del suelo hacia las raíces de las plantas. La energía solar absorbida en la evaporación del agua de los océanos se acumula como calor latente y se libera en el suelo. Esta liberación del calor latente provee la energía que transporta el calor de las regiones ecuatoriales hacia los polos, (Henry y Heinke, 1999).

De acuerdo con los datos del Primer Simposio sobre Potabilización del agua de mar, en Washington D.C. en 1965, se calcula que existe en la Tierra 1300 Millones de km<sup>3</sup> de agua aproximadamente, de los cuales el 97.2 % se encuentra en los océanos y el 2.8% es de agua dulce, de la cual 28.3 millones de km<sup>3</sup> está en los casquetes polares y en las altas cordilleras, 8.1 millones de km<sup>3</sup> de agua disponible en ríos, lagos, arroyos, manantiales y depósitos subterráneos y el resto se encuentra en la atmósfera.

Cuando hablamos de la calidad del agua, la primera idea que nos viene a la cabeza es que al igual que algunos minerales tales como el oro, la plata y el cobre, el agua también debe ser totalmente libre de impurezas. La palabra “calidad” cuando la aplicamos al agua, no se refiere normalmente a un estado de pureza química, sino a las características con que es encontrada en la naturaleza.

Es importante distinguir patrón de calidad al patrón de potabilidad. El primero se refiere a todos los usos posibles del agua, mientras que el segundo se refiere solamente a su utilización para fines de ingestión humana. Entre los posibles usos dentro de los modelos sanitarios pueden ser citados, además del abastecimiento doméstico de agua potable, los usos con animales de pasto, recreación, cría de peces, irrigación agrícola y procesos industriales.

## **2.1 Importancia de las aguas subterráneas en el suministro de agua potable**

Las estadísticas oficiales revelan un constante incremento en el porcentaje de la población de América Latina y el Caribe que tiene acceso a un suministro de agua doméstica adecuado. Esto se ha conseguido a pesar de los grandes incrementos de población y migración a las áreas urbanas. Hacia 1980 se tenía conocimiento que alrededor de 185 millones de personas contaban con alguna forma de suministro de agua adecuado (Tabla 2.1), (OMS, 1982).

Área	Año	Población (en millones)	Población con suministro de Agua adecuado (%)
Total	1960	200	33
	1970	262	37
	1980	343	54
Urbana	1960	100	54
	1970	142	56
	1980	217	75
Rural	1960	100	6
	1970	120	14
	1980	126	19

Cuadro 2.1.-Desarrollo de los suministros de agua potable en la región latinoamericana y caribeña  
(Sólo se incluyen Países Miembros del Banco Interamericano de Desarrollo)



Por lo tanto, para ilustrar el rol vital que desempeñan las aguas subterráneas en el suministro de agua potable en la Región de Latinoamérica y caribeña, se ha tenido que recurrir a estimados cualitativos (Figura 2.1) y a ejemplos específicos.



Figura 2.1.-Importancia del agua subterránea para abastecimiento de agua potable en la zona de Latinoamérica y del caribe (OMS 1987)

(Las ubicaciones son las ciudades en este manual y se dispone de datos sobre incidentes de contaminación de aguas subterráneas.)

El agua que abastece a la Gran Lima en Perú (incluyendo el puerto del Callao) proviene de más de 320 pozos de producción que abastecen hasta 650 MI/d. En algunas otras áreas urbanas, incluyendo Buenos Aires y Santiago de Chile, las aguas subterráneas abastecen una proporción significativa del suministro municipal total. En todos estos casos, los pozos individuales tienen un rendimiento relativamente alto (10-100 l/s), han sido construidos progresivamente en función a la demanda y están

ampliamente diseminados dentro, y en los alrededores, del área urbana (Fig. 2.2) (OMS, 1982).

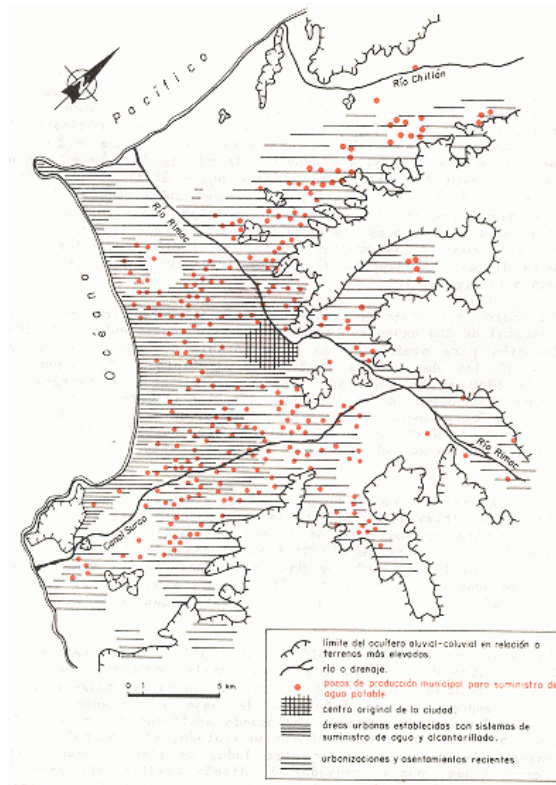


Figura 2.2 Distribución de las fuentes de aguas subterráneas para abastecimiento municipal en Lima Metropolitana, Perú  
(Muestra cómo la mayor parte de los pozos está ubicada en áreas urbanizadas como resultado del rápido crecimiento de población en Lima, Perú.) (OMS 1982)

Un costo de producción relativamente bajo y la normalmente excelente calidad natural de las aguas subterráneas han sido suficientes para justificar su explotación para suministro de agua potable en las regiones tropicales húmedas de América Central y el Caribe. Desde mediados de 1960 se ha explotado rápidamente el agua subterránea para el abastecimiento municipal en San José de Costa Rica, en la Ciudad de Guatemala y en Georgetown, Guyana. Igualmente es de gran importancia para las ciudades de muchas islas del Caribe; Barbados depende totalmente de las fuentes de aguas subterráneas, las cuales abastecen alrededor de 110 MI/d, (OMS, 1984).

La preocupación por la contaminación de las aguas subterráneas se relaciona principalmente a los llamados acuíferos no confinados, sobre todo en lugares donde la zona no saturada es delgada y el nivel freático poco profundo. También pueden existir importantes riesgos de contaminación, incluso donde los acuíferos son semi-confinados, si los acuíferos superficiales son relativamente delgados y/o permeables. Por lo general, los abastecimientos de aguas subterráneas derivados de acuíferos más profundos y altamente confinados, no serán afectados por contaminación desde la superficie del suelo, salvo por los contaminantes más persistentes y a muy largo plazo (OMS, 1982).

En segundo lugar, la inacción resulta de dificultades significativas asociadas con el muestreo adecuado de las aguas subterráneas, con la responsabilidad dividida para el manejo de aguas y con una restringida o mal orientada capacidad analítica de los laboratorios, provocando así la ausencia de un sistema rutinario de monitoreo para contaminantes tales como patógenos, nutrientes, metales pesados y compuestos orgánicos sintéticos (Tabla 2.2a) y (Tabla 2.2b), (OMS 1982).

Constituyente <sup>a</sup>	GUÍA			Fuente de agua sub <sup>c</sup>	Nivel de ocurrencia <sup>d</sup>
	Valor (mg/l)	Criterio <sup>b</sup>	Comentario		
Aluminio (Al)	0.2	E	-	-	n *
{Amonio (NH <sub>4</sub> -N)	0.01	E	WHO, 1992	-	pn ***]
Arsénico (As)	0.5	S	-	-	np **
Cadmio (Cd)	0.005	S	-	-	p *
Cloruro (Cl)	250	E	-	-	np ***
Cobre (Cu)	1	E	-	-	np *
Cromo (Cr)	0.05	S	Cr <sup>6+</sup> tóxico	-	p **
Cianuro (CN)	0.1	S	-	-	p **
{Detergentes (ABS)	0.2	E	OMS, 1974	-	p ***]
Fluoruro (F)	1.5	S	-	-	n **
Hierro (Fe)	0.3	E	Fe <sup>2+</sup> solub.	-	np- ***
Plomo (Pb)	0.05	S	-	-	np *
Manganeso (Mn)	0.1	E	Mn <sup>2+</sup> solub.	-	np- **
Mercurio (Hg)	0.001	S	-	-	np *
Nitrato (NO <sub>3</sub> -N)	10	S	-	-	pn ***
Selenio (Se)	0.01	S	-	-	np *
Sodio (Na)	200	E	-	-	np ***
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	400	E	Mg > 50 mg/l	-	np ***
Zinc (Zn)	5	E	-	-	np **

Tabla 2.2a Resumen de las guías de la OMS para la calidad del agua potable (1984) y su relación con la contaminación de las aguas subterráneas.

#### A. Constituyentes inorgánicos

a).-se han omitido parámetros compuestos tales como Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Disueltos Totales (SDT), pH, etc, que tienen principalmente importancia estética

b).-S de consideración para la salud (tóxico, cancerígeno, mutagénico) E aspectos estéticos (sabor, olor, color) de consideración secundaria.

c).-(las letras mayúsculas indican ocurrencia más frecuente) N que ocurre en forma natural P contaminación causada por el hombre P- producto indirecto de contaminación orgánica mediante la reducción en Eh a niveles en los cuales Fe y Mn son solubles.

d).-Indica el menor o mayor grado de frecuencia relativa y persistencia en aguas subterráneas contaminadas (o producto de cloración de aguas contaminadas por bencenos, ácidos fúlvicos / húmicos y fenoles, respectivamente.

## B: Constituyentes orgánicos

Constituyente	GUÍA		Usos Comunes o Fuentes	Ocurrencia <sup>d</sup>
	Valor	Criterio <sup>a</sup>		
	(µg/l)			
<b>Benceno<sup>f</sup> y Derivados</b>				
benceno	10	S	)gasolina, alquitranes	**
benzo (a) pireno (PAH)	0.01	S	)solventes, tintes	
clorobencenos	0.1	E(S)	desinfectantes	(**)
<b>Alcanos halogenados</b>				
1,2 dicloroetano	10	S	)intermedios,	*
tetracloruro de carbono	3	S	)solventes	**
cloroformo	30	S		(*)
<b>Alquenos halogenados</b>				
1,1 dicloroetileno	0.3	S	)solventes	**
tricloroetileno <sup>e</sup>	30	S	)industriales	**
tetracloroetileno <sup>e</sup>	10	S	)	**
<b>Fenoles halogenados<sup>f</sup></b>				
2,4,6 triclorofenol	0.1 (10)	E(S)	)efluentes de	(**)
pentaclorofenol	0.1 (10)	E(S)	)plantas de gas	(*)
<b>Compuestos pesticidas</b>				
aldrin/dieldrin	0.03	S	insecticida	
clorodano	0.03	S	insecticida	
DDT (diclorodifenil-tricloroetano)	1	S	insecticida	
HCB (hexaclorobenceno)	0.01	S	fungicida	*
heptacloro/epóxido	0.1	S	insecticida	
HCH (lindano)	3	S	insecticida	
metoxicloro	30	S	insecticida	*
2,4 D (ácido dicloro-fenoxiacético)	100	S	herbicida	**

Tabla 2. 2b Resumen de las guías de la OMS para la calidad del agua potable (1984) y su relación con la contaminación de las aguas subterráneas

e guía tentativa sólo para el presente.

f EEC (1982) da una guía de un total de 10 µg/l de hidrocarburos disueltos y de 0.5 µg/l de fenoles sintéticos sobre consideraciones estéticas.

## **2.2.-Contaminación del agua**

La contaminación del agua es un problema local, regional y mundial y está relacionado con la contaminación del aire y con el modo en que usamos el recurso de la Tierra. El agua al caer con la lluvia por enfriamiento de las nubes arrastra impurezas del aire, al circular por la superficie o a nivel de capas profundas, se le añaden otros contaminantes químicos, físicos o biológicos., (Appelo, C.A.J. Y Postma, D. 1993).

Para un piscicultor, el sabor, el olor y los coniformes no constituyen factores negativos en lo que se refiere a la calidad del agua. De esa forma, ellos no son tomados en cuenta al considerar el índice de contaminación. Una coloración verde intensa, que puede ser repugnante para quien bebe el agua, está casi siempre relacionado a un sabor fuerte que es producto de la existencia de plancton, que es deseable como alimento básico para los peces.

Los agentes de salubridad tienen terror de las sales de nitrógeno y fósforo, porque ayudan al desarrollo de las algas, mientras que los piscicultores acostumbran añadir nitratos, fosfatos y excrementos de aves y bovinos al agua. El agua contaminada es, para ellos, la que posee poco oxígeno o sustancias tóxicas para los peces. Mientras que la materia orgánica solamente es considerada nociva cuando ella disminuye el nivel de oxígeno disuelto.

## **2.3.-Efectos de la contaminación del agua**

Los efectos de la contaminación del agua incluyen los que afectan a la salud humana. La presencia de nitratos (sales del ácido nítrico) en el agua potable puede producir una enfermedad infantil que en ocasiones es mortal. El cadmio, presente en los fertilizantes derivados del cieno o lodo puede ser absorbido por las cosechas; de ser ingerido en cantidad suficiente, el metal puede producir un trastorno diarreico agudo,

así como lesiones en el hígado y los riñones. Hace tiempo que se conoce o se sospecha de la peligrosidad de sustancias inorgánicas, como el mercurio, el arsénico y el plomo, (Domenico, P.A. y Schwartz, F.W. 1990).

La contaminación del agua subterránea de cualquier lugar, es una seria preocupación desde el punto de vista de la salud, economía y conservación de los recursos naturales, el cual, aunque es un recurso renovable, puede convertirse en no utilizable y atentar en contra del desarrollo sustentable de la región; asimismo, la caracterización fiel de una área sujeta a explotación de aguas subterráneas, es esencial para conocer todos los posibles factores que pudieran estar influyendo en la calidad de las mismas. Por lo anterior, se hace necesario la realización de estudios que permitan localizar las áreas en donde las aguas subterráneas son más vulnerables a la contaminación, con el fin de sentar las bases que permitan proponer estrategias de planeación del desarrollo de las actividades productivas, minimizando así el impacto sobre la calidad del agua subterránea.

En Estados Unidos, durante décadas las industrias vertieron sus desechos de plaguicidas, pegamentos, líquidos limpiadores de pieles y otros productos químicos sintéticos, a un sitio localizado a 800 metros de los dos pozos principales de abastecimiento de agua potable, y a finales de los setenta encontraron que dichos pozos contenían niveles peligrosos de tricloroetileno y percloroetileno que se habían infiltrado. Dichos pozos fueron clausurados ya que encontraron incremento de leucemia en la población infantil que se localizaba en la zona. También, encontraron que el agua de los pozos contenía residuos de plaguicidas a niveles que podrían ocasionar problemas de salud. Se encontraba un producto de degradación del herbicida DCPA, que era utilizado principalmente en jardines y prados, (UNICEF, 1980).

En el Año de 1997 se realizó un estudio en Río de La Plata Argentina con el fin de determinar la cantidad de nitrógeno en el agua subterránea; dicho estudio comprendió el estudio de veintitrés pozos de esta ciudad. Después de tiempo de estar monitoreando con mucho cuidado se concluyó que había un grado de contaminación

casi en los límites de los permisibles para ese poblado y la fuente de esta contaminación en su mayor parte proviene de la agricultura, por el tipo de fertilizantes que se utilizan y sumándole a esto que no existe un control en el uso de los productos ya que se infiltran a los mantos acuíferos. Otro de los principales agentes de mayor aportación de nitrógeno es la ganadería puesto que las personas que tienen animales acumulan los desechos de estos y los utilizan hasta tiempo después, provocando así una infiltración al entrar en contacto con las lluvias.

En el año de 1988 se realizó un estudio para conocer las características del agua en Lima, Perú., encontrando en 38 de los pozos un contenido elevado de nitrógeno, por lo cual se tomaron medidas de precaución para evitar siguiera el aumento de la contaminación con dicho mineral. La agricultura, que en este país es la mayor aportación de dicho mineral debido a la fertilización que esta requiere y teniendo en cuenta esto, se puede decir que si se tiene el suficiente cuidado con este sector podría bajar de manera considerable; para así tener un agua utilizable de mejor calidad. En este país se optó por tener un control de fertilización con materiales orgánicos y aun así únicamente con las cantidades de fertilizantes necesarias para evitar un saturamiento y así una infiltración profunda donde se pudieran contaminar los mantos acuíferos que abastecen a esta ciudad, (Reyes Ruvalcaba A, 1988).

#### **2.4.-Actividades principales que causan contaminación de aguas subterráneas**

Se presenta una lista general de actividades potencialmente contaminantes (Cuadro 2.3), con sus características clasificadas. Algunas de las actividades que generan riesgo serio de contaminación en países en desarrollo son comparables a aquellas que ocurren en países altamente industrializados, pero las que presentan la amenaza más seria en las naciones en desarrollo difieren significativamente, tanto individual como colectivamente, de sus similares en otros lugares.

Actividad	Tipos de Carga Contaminante			
	Categoría de Distribución	Principales Contaminantes	Tipos de Efectos	Deposición en el Suelo
<b>Urbanización</b>				
SANEAMIENTO SIN ALCANTARILLADO	u/r P-D	n f o	+	+
Fugas de alcantarillado(s)	u/r D	n f o	+	+
ACTIVIDADES DE CALIFICACIÓN DE AGUAS RESIDUALES SIN REVESTIMIENTO(s)	u/r P	o f u	++	+
Descarga de aguas servidas sobre terreno(s)	u/r P-D	n o f	+	+
DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES A LOSÍAS	u/r P-D	n o f	++	+
Distribución de residuos sanitarios o botaderos de basura(s)	u/r P	o f u	+	+
Resacas de combustible	u/r P-D	o f u	+	+
Resacas de aceites	u/r P-D	o f u	+	+
<b>Desarrollo Industrial</b>				
Fugas de tanques y tuberías(s)	u/r P-D	o f u	+	+
Descargas de efluente químico	u/r P-D	o f u	+	+
LAVINAS DE AGUA DE FREGADEROS Y SINKS SIN REVESTIMIENTO	u/r P	o f u	+	+
DESCARGA DE FLUIDOS SOBRE TERRENO	u/r P-D	o f u	+	+
DESCARGA DE EFLUENTES A LOSÍAS	u/r P-L	o f u	++	+
Actividad de recolección de residuos sólidos	u/r P	o f u	+	+
Resacas de aceites	u/r P	o f u	++	+
Resacas de agua	u/r P	o f u	++	+
<b>Prácticas agrícolas(s)</b>				
<b>a. CULTIVOS</b>				
- CON FERTILIZANTES QUÍMICOS	u/r P	o f u	+	+
- Y CON PESTICIDAS	u/r P	o f u	+	+
- Y CON NITRÓGENO (de la descomposición)	u/r P	o f u	+	+
- Y CON LIXIVIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES	u/r P	o f u	+	+
<b>b. Uso de gases, procesamiento de gases</b>				
- Lixiviación de nutrientes sin revestimiento	u/r P	o f u	++	+
- Descarga de efluente sobre terreno	u/r P-D	o f u	++	+
- Descarga de efluente a losías	u/r P-L	o f u	++	+
<b>Extracción minera</b>				
Operación de minas hidrotermales	u/r P-D	o f u	+	+
Descarga de aguas de drenaje	u/r P-D	o f u	++	+
LAVINAS DE AGUA DE FREGADEROS Y SINKS SIN REVESTIMIENTO	u/r P	o f u	+	+
LIXIVIADOS DE RESIDUOS SOLIDOS	u/r P	o f u	+	+

Cuadro 2.3 Resumen de las principales actividades que potencialmente generan una carga contaminante al subsuelo. (Aquellas de mayor importancia en América Latina y el Caribe se dan en mayúsculas)

- (a) Puede incluir componentes industriales.
- (b) También puede ocurrir en áreas no industriales.
- (c) La intensificación de cultivo presenta mayores riesgos de contaminación.

u/r urbano/rural

P/L/D puntual/línea/difusa

n nutrientes

f patógenos fecales

o compuestos micro-orgánicos sintéticos y/o carga orgánica

s salinidad

m metales pesados



Los mapas del peritaje muestran la presencia de uranio en el agua subterránea en niveles que no la hacen potable. Más allá de la radiactividad, que puede provocar casos de cáncer y nacimientos deformes, el uranio es tóxico en sí mismo y beber agua con uranio puede afectar gravemente los riñones.

Las informaciones sobre la existencia de contaminación radiactiva en las napas subterráneas de la zona de Ezeiza son extremadamente preocupantes. El origen de esta información es un peritaje efectuado por el geólogo Fernando Máximo Díaz en el año 2004 sobre el agua subterránea de una zona próxima al Centro Atómico Ezeiza.

En 1985, las autoridades del Centro Atómico Ezeiza presentaron como un gran logro tecnológico un nuevo sistema para deshacerse de los residuos radiactivos líquidos. Simplemente iban a dejarlos filtrar en el suelo (en unas llamadas "trincheras de infiltración"), con el argumento de que las arcillas se encargarían de retener todos los tóxicos y a las napas subterráneas llegaría solamente agua limpia. Dijeron que habían hecho experiencias de laboratorio que les demostraron que el método era inocuo.

Previsiblemente, hay muy altos niveles de contaminación bajo la fuente principal, el Centro Atómico Ezeiza, y esa contaminación disminuye a medida que nos alejamos del Centro Atómico, dispersada por el movimiento del agua subterránea, (www.contaminacionradioactiva.com 2004)

La lluvia, los residuos líquidos dispuestos en el relleno y a veces, las napas subterráneas que entran en contacto con el relleno, tienen un importante rol en la generación de lixiviados que arrastran las sustancias tóxicas allí presentes. El Instituto Nacional de Ciencias de Salud Ambiental de Estados Unidos indica que se han encontrado en los lixiviados provenientes de los rellenos, altos niveles de metales pesados como plomo, cadmio, arsénico y níquel. La exposición a estos metales puede provocar enfermedades de la sangre y los huesos, así como daños en el hígado, reducción de las capacidades mentales y daños neurológicos.

En efecto, las condiciones ácidas de un relleno sanitario, permiten que metales pesados allí presentes puedan disolverse y migrar con el lixiviado. Otras reacciones químicas que se producen en el relleno pueden también cambiar el estado del metal permitiendo que este se una a otras partículas y se desplace con el lixiviado. Cuando los lixiviados llegan a los acuíferos o a los cursos de agua superficial, muchas sustancias tóxicas los contaminan con consecuencias perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana.

Las aguas subterráneas proporcionan el mayor porcentaje del suministro de agua municipal. En el caso de la Ciudad de México, la enorme cantidad de 3,200 M<sup>3</sup>/d (94% del total del abastecimiento de agua en 1982) era suministrada por unos 1,100 pozos perforados en el valle de México y 230 pozos construidos en el valle del Lerma (OMS, 1982).

Sabinas Reynosa.-El área de estudio se localiza al Sudoeste de la Ciudad de Piedras Negras, Coahuila, la formación Sabinas – Reynosa es un depósito granular, constituido por una secuencia sedimentaria de caliche arcilloso, caliche arenosos y conglomerados. En las investigaciones geoquímicas realizadas por nitratos y elementos mayores, se observó que las concentraciones de nitratos, estaban muy por debajo de lo permisible por la norma 10 mg/l. Se comprobó un incremento en los nitratos en la parte central del área investigada, con concentraciones que oscilan entre 20 – 60 mg/l. El incremento de nitratos en el acuífero, en un periodo de 8 años, nos hace suponer que se encuentra vinculado al intenso desarrollo agrícola, ganadero e industrial en la región de los cinco manantiales, por diferente cultivos como son: avena, maíz, sorgo forrajero, trigo y pastizales en praderas de engorda, por su parte la industria ha participado al emplear explosivos, como el Nexamón (Nitrato de Amonio). Que tiene gran contenido de nitratos, dichos explosivos son utilizados por la empresa MICARE (Minera Carbonífera Río Escondido) para la extracción de carbón. El total de muestras analizadas fue de 114 en igual número de aprovechamientos (pozos, norias, aeromotores, manantiales y galerías filtrantes) por absorción atómica y por el método de Sulfato de Brusina, mostraron que el 53 % de ellas, sobrepasan la norma permisible

(10 mg/l). En la configuración de isovalores del Ion nitrato, se lograron definir 5 anomalías con valores que oscilan desde 20 – 60 Mg/l, siendo estas: Allende – Nava, La Saucedá, Santa Mónica, Villa Unión, C.T. Río Escondido y la conformada por el aprovechamiento # 45. El incremento de nitratos en el área de estudio, continúa en aumento, hacia la parte central de la zona, probablemente su incremento se encuentre asociado con el abuso indiscriminado de fertilizantes, pesticidas, excretas del ganado, la falta de servicios sanitarios en las comunidades y el uso de explosivos en las obras minerales, la aplicación de fertilizantes al suelo durante el proceso de irrigación, contribuye a que los lixiviados lleguen al acuífero de la región mediante percolación, pues sus niveles estáticos oscilan entre 5 – 10 metros, contaminando los pozos que abastecen de agua a las diferentes comunidades y por ende al Río Bravo que es donde descarga, (OMS, 1989).

Aunado a esto, el tiradero a cielo abierto de la capital michoacana, es la principal causa de contaminación de los mantos acuíferos, debido a que sus lixiviados penetran y contaminan considerablemente el acuífero de la zona. Pese a que esta situación es un problema que las autoridades conocen, no se atiende como debería de ser, ya que los efectos no son inmediatos e incluso pueden pasar años para que provoque enfermedades a causa de plomo u otros metales.

Un claro ejemplo del retraso en cuanto a materia ambiental en nuestro estado, es la ciudad de Morelia, que siendo la capital del estado no cuenta con un lugar apropiado, como un relleno sanitario para la disposición de desperdicios, lo cual muestra la poca importancia que las autoridades municipales y estatales ante esta problemática. Como consecuencia de esta situación en la ciudad de Morelia, según algunos estudios elaborados por la OOAPAS, y otras instituciones como la UMSNH, se han detectado algunas sustancias que están contaminando el agua del manto acuífero de esta ciudad, esto debido a los lixiviados que produce el tiradero de la ciudad y que se han infiltrado al subsuelo de esa zona, lo cual es un grave problema de contaminación, que afecta de manera directa a la población de Morelia. Debido al mal manejo de los desperdicios se han ocasionado grandes daños al medio ambiente, como es el caso del aire, y de los

mantos acuíferos, así como del suelo, etc. Provocando además el desarrollo de organismos biológico infecciosos que llegan a provocar problemas de salud a las poblaciones, (López G. J. 2005)

El agua que abastece a Morelia puede estar contaminada con residuos de metales pesados, ya que la Planta de Agua Potabilizadora únicamente clorifica el vital líquido y no puede eliminar tóxicos como el plomo, cromo y magnesio, entre otras aleaciones, lo cual provoca daños fatales y enfermedades como la leucemia, alzheimer y el parkinson.

Las aguas superficiales son potabilizadas y provienen presa Cointzio y del manantial La Mintzita. En cuanto a las aguas subterráneas del acuífero del Valle de Morelia se cuenta con 115 obras de captación que se utilizan para reunir y abastecer adecuadamente el agua: 3 cajas captadoras de los manantiales El Salto, La Higuera y San Miguel; y 112 pozos profundos dispersos dentro de la superficie urbana de Morelia. La capacidad instalada de las fuentes permiten proporcionar un volumen equivalente a los 120 hm<sup>3</sup>.

La calidad del agua extraída de los pozos, es moderadamente dura, pero el principal problema lo tienen por la concentración de fierro y manganeso, que aceleran el desgaste y obsolescencia de la infraestructura hidráulica.

Actualmente no existe un déficit de agua potable, sin embargo, de prevalecer los niveles de eficiencia actuales, para el año 2023 la demanda se habría incrementado en más de un 40% (4 131 l.p.s.), requiriéndose la incorporación de nuevas fuentes que aporten 1 025 l.p.s. De otra manera, estableciendo un intensivo programa de recuperación de caudales, alcanzando una eficiencia del 32%, la demanda sólo se incrementaría en un 23% (3 524 l.p.s.).

Debido a que es necesario aprovechar de manera eficiente del agua, es muy recomendable efectuar una estricta vigilancia de la conducción del agua de la presa Cointzio a la planta potabilizadora para evitar las derivaciones clandestinas para riego, sobre todo en el estiaje.

Aunque el acuífero se mantiene en equilibrio, se han observado algunas manifestaciones de sobre explotación local en algunos pozos, como el pozo las Américas que inicio con un gasto de explotación de 100 l.p.s y actualmente solamente aporta 12 l.p.s en promedio. Por otro lado, una gran cantidad de pozos descargan directamente su caudal a la red, pero la variación de presiones debido a la fluctuación de los caudales en la operación de los pozos someten a una situación de estresamiento de las tuberías y válvulas, por lo que es recomendable mejorar la capacidad de regulación mediante tanques.

En las últimas décadas la ciudad de Morelia, ha sufrido un acelerado crecimiento demográfico, así como una considerable expansión territorial. La mancha urbana actualmente ocupa aproximadamente, 8100 ha., y se estima que el crecimiento desde el centro histórico puede alcanzar un poco más de 9000 ha, de las cuales la mitad correspondería a desarrollos formales y la otra mitad a asentamiento irregulares. La población en 2003 fue de 626,160 habitantes y se espera que se alcance la cifra de 903,620 habitantes para el año 2023.

Las fuentes de abastecimiento de aguas subterráneas, constituyen parte importante del suministro de Morelia. De casi 100 millones de metros cúbicos al año, 40% proviene de fuentes subterráneas a través de pozos profundos. Conforme a mediciones de gasto llevadas a cabo entre los meses de diciembre de 2002 y enero de 2003. El gasto medio que en conjunto aportan los 89 pozos en servicio es de alrededor de 1080 l.p.s. Debido al aumento poblacional, las extracciones de agua del subsuelo en la Ciudad de Morelia, han aumentado de forma constante, ocasionando abatimientos considerables en los niveles freáticos, y teniendo como consecuencia problemas hundimientos y fallas del suelo en diversas partes de la ciudad, (Dr. A. Rodríguez)

Por el lado de las aguas subterráneas, se tiene identificado un acuífero dentro de la cuenca del Lago de Cuitzeo, denominado Acuífero Morelia-Queréndaro, el cual tiene una superficie de 964 km<sup>2</sup>. (Tabla 2.3)

Tabla 2.3 Balance aguas subterráneas

Nombre acuífero	Recarga (hm <sup>3</sup> /año)	Extracción (hm <sup>3</sup> /año)	Factor de explotación	Condición geohidrológica
Morelia-Queréndaro	221.280	221.281	1	Equilibrio

Junto con la población, crecen también las necesidades de los servicios básicos como el del agua potable, el alcantarillado y la electricidad. Sin embargo cuando el crecimiento es anárquico y no obedece a un plan de desarrollo que pueda dirigir el crecimiento hacia las zonas que cuentan con el equipamiento y las condiciones necesarias para el adecuado desarrollo de los servicios, la introducción de éstos se dificulta y se encarece.

Morelia al igual que las principales ciudades del país no ha escapado a esta situación. Cuando analizamos las zonas de crecimiento y las contrastamos con los planes de desarrollo, podemos observar que éstos últimos no se han respetado. Muestra de esto son las 2 700 hectáreas de asentamientos irregulares que encontramos dentro de la mancha urbana actual que considera el INEGI, pero además se tienen identificadas dentro de la zona de crecimiento más de 4 600 hectáreas de asentamientos irregulares en gestación.

Esta situación también se ha visto reflejada en el crecimiento de la demanda. De acuerdo con los datos registrados por el INEGI, durante la década de los años setentas, se registraron tasas de crecimiento promedio anual de más del 6%; en virtud de que la demanda de agua esta estrechamente ligada a la población, las fuentes de abastecimiento han tenido que irse incrementando constantemente.

## **2.5.-Parámetros de calidad del agua**

La creciente necesidad de lograr el equilibrio hidrológico que asegure el abasto suficiente de agua a la población se logrará armonizando la disponibilidad natural con las extracciones del recurso mediante el uso eficiente del agua.

México, un país rico en recursos naturales, obtiene el agua que consume la población de fuentes tales como ríos, arroyos y acuíferos del subsuelo. Estos acuíferos se recargan de forma natural en época de lluvias. Sin embargo, la época de lluvias tiene una duración promedio de cuatro meses lo que propicia una escasa captación. Aunado a esto, del total de agua captada por lluvias, aproximadamente el 70% se evapora. La desproporción que existe entre la cantidad de agua que se capta por escurrimiento y las extensiones territoriales que comprenden aunado a la corta temporada de lluvias hace que la disponibilidad del agua sea cada vez menor.

Bajo este panorama México enfrenta actualmente graves problemas de disponibilidad, desperdicio y contaminación del agua. Parte de esta problemática, se enfrenta con la construcción de la Infraestructura Hidráulica que permite satisfacer de agua a los diferentes sectores de la población: el agrícola, el industrial, el doméstico y de servicios y para la generación de energía eléctrica, entre otros, ([www.segam.gob.mx](http://www.segam.gob.mx)).

Las fuentes, los manantiales, las cuencas o cañadas están en acelerada vía de extinción, hay cambios de clima y de suelo, inundaciones, sequías y desertización. Pero es la acción humana la más drástica: ejerce una deforestación delirante, ignora los conocimientos tradicionales sobre todo de las comunidades indígenas locales, retira el agua de los ríos de diferentes maneras, entre otras con obras de ingeniería, represas y desvíos.

### **2.5.1- pH**

El término pH (índice de Ion Hidrógeno) es usado universalmente para determinar si una solución es ácida o básica, es la forma de medir la concentración de iones de hidrógeno en la solución. La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14, esos valores miden el grado de acidez o basicidad de una solución. Los valores inferiores a 7 y próximos a cero indican aumento de acidez, los que son mayores de 7 y próximos a 14 indican aumento de la basicidad, mientras que cuando el valor es 7 indica neutralidad.

Las medidas de pH son de estrecha utilidad, ya que proveen mucha información con respecto a la calidad del agua. Las aguas superficiales tienen pH entre 4 y 9. Algunas veces son ligeramente alcalinas por causa de la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Es claro que, en estos casos, el pH refleja el tipo de suelo por donde el agua circula.

En lagunas con muchas algas, en los días de sol, el pH puede aumentar mucho, llegando a 9 o más. Eso se debe a las algas, que al realizar la fotosíntesis, sacan mucho dióxido de carbono, que es la principal fuente natural de acidez del agua. Generalmente un pH muy ácido o muy alcalino está relacionado a la presencia de desechos industriales.

### **2.5.2.-Oxígeno disuelto**

El oxígeno es una sustancia indispensable para la supervivencia de los animales y de otros muchos seres vivientes tanto acuáticos como terrestres. Pero existe el problema de la baja solubilidad de ese gas en el agua, en comparación con el aire. Un litro de agua, a 20 grados centígrados, expuesto al aire a presión normal y al nivel del mar, contendrá en solución 9.8 partes de oxígeno en un millón de partes del agua (el aire tiene cerca de 22 partes de oxígeno para 100 partes de aire). Esa cantidad aumenta cuando la temperatura es más baja o cuando la presión es más alta.



Los desperdicios orgánicos arrojados en los cuerpos de agua son descompuestos por microorganismos que usan el oxígeno en la respiración. De esa forma, cuanto mayor sea la carga de materia orgánica, mayor será el número de microorganismos que descomponen y, consecuentemente, mayor el consumo de oxígeno. Así pues, la muerte de los peces en los ríos contaminados, en muchos casos, se debe a la ausencia de oxígeno y no a la presencia de sustancias tóxicas, (www.segam.gob.mx).

### **2.5.3.-Nitrógeno amoniacal**

El nitrógeno es uno de los elementos más importantes para la vida, pero es muy escaso en el agua. Sus fuentes principales son el aire (asimilado por algunas algas), materia orgánica en descomposición hojas y aguas fecales. El nitrógeno que proviene de la descomposición de vegetales, animales y excrementos pasa por una serie de transformaciones. En el caso de los vegetales y animales, el nitrógeno se encuentra en forma orgánica. Al llegar al agua, es rápidamente transformado en nitrógeno amoniacal, pasando después para a nitritos y finalmente a nitratos.

Esas dos últimas transformaciones solamente ocurren en las aguas que contengan bastante oxígeno disuelto, pues son efectuadas por bacterias de naturaleza aerobia llamadas nitrobacterias. De esa forma, cuando encontramos mucho nitrógeno amoniacal en el agua, estamos en presencia de materiales orgánicos en descomposición y por lo tanto en un medio pobre en oxígeno.

### **2.5.4.-Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica es la capacidad que el agua tiene de conducir la corriente eléctrica. Este parámetro tiene relación con la existencia de iones disueltos en el agua, que son partículas con cargas eléctricas. Cuanto mayor sea la concentración de iones disueltos, mayor será la conductividad eléctrica del agua. En las aguas continentales, los iones que son directamente responsables de los valores de la conductividad son, entre otros, calcio, magnesio, potasio, sodio, los carbonatos, sulfatos y cloratos.

El parámetro de conductividad eléctrica no nos indica, específicamente, cuales son los iones presentes en una determinada muestra de agua, pero puede ayudar a detectar posibles impactos ambientales que ocurran en la cuenca de desagüe debido a la descarga de desperdicios industriales, minería, aguas fecales, etc. ([www.segam.gob.mx](http://www.segam.gob.mx)).

#### **2.5.5.-Temperatura del agua**

La temperatura es una variable muy importante en el medio acuático, pues influye en el metabolismo de las especies como productividad primaria, respiración de los organismos y descomposición de la materia orgánica. Cuando tenemos altas temperaturas se produce una proliferación de fitoplancton y, por consiguiente, intensa absorción de nutrientes disueltos. En caso de disminución de la temperatura se produce el efecto contrario.

Los organismos tienen comportamiento diferente con relación a la temperatura. De esa forma, pueden ser perjudicados por la contaminación térmica, causada por los residuos a temperaturas elevadas volcados en el agua. Sus efectos son directos, coagulando las proteínas que constituyen la materia prima, o indirectamente, aumentando la toxicidad de algunas sustancias y disminuyendo la tasa de oxígeno disuelto.

#### **2.5.6.-Bacterias Coliformes**

En los cuerpos de agua habitan, normalmente, muchos tipos de bacterias, las cuales son importantes, pues ellas se alimentan de materia orgánica, y por consiguiente son las principales responsables por el proceso de autodepuración. Cuando los cuerpos de agua reciben aguas fecales, ellos pasan a poseer otros tipos de bacterias que pueden ser causantes o no de enfermedades en las personas. Un grupo importante es el de las bacterias Coliformes.

Las bacterias del grupo Coliformes no son normalmente patógenas, pero están presentes en grandes cantidades en el intestino de los seres humanos y en consecuencia en la materia fecal. Se calcula que un ser humano adulto elimina de 50 a 400 billones de esas bacterias en cada evacuación. Su existencia permite detectar heces en el agua en concentraciones extremadamente diluidas, que son difíciles de detectar por los métodos químicos normales. De esa forma, la existencia de estas bacterias en el agua nos sugiere que esa agua recibió excrementos o aguas fecales, (www.segam.gob.mx).

Los "caracteres microbiológicos" se centran en valorar sólo algunos agentes microbianos que denominaremos "indicadores de contaminación fecal" y que en caso positivo, sirvan como elementos orientativos indirectos. Así, se valoran coliformes totales, coliformes fecales, enterococos fecales y clostridium. Esto significa que habrá que practicar técnicas denominadas, de colimetría, enterococometría y clostridiometría, cuantitativas y cualitativas.

Hallazgos por encima de las C.M.A., (Concentración Máxima Admisible), identifican "contaminación de origen fecal" y con ello damos por válido, que cualquier agente microbiano de transmisión fecooral hídrica, puede llegar al organismo del consumidor y provocar enfermedad, siendo ello exponente de un claro problema de contaminación medio ambiental y no se puede destinar a consumo humano. Por otro lado no deberán contener algas, ni parásitos, ni otros elementos formes.

#### **2.5.7.-Sedimentos**

La lluvia y el viento llevan partículas del suelo, arena, arcilla y minerales de la tierra hasta los ríos, en cantidades grandes. Esos minerales naturales se consideran contaminantes. Cada vez más los suelos se ven afectados por el uso de plaguicidas. La siembra de cultivos en pendientes, sin usar prácticas de conservación del suelo y la deforestación (eliminación de árboles y arbustos) promueven este proceso de erosión del suelo.

### **2.5.8.-Microorganismos**

Las bacterias y virus que provienen de los vertidos de aguas servidas, son causa de muchas enfermedades hídricas como la diarrea, hepatitis, cólera, etc.

### **2.5.9.-Desechos Orgánicos**

Las aguas servidas y las aguas de las industrias que tiran desechos orgánicos son las que consumen el oxígeno del agua, provocando así la muerte de los animales acuáticos. Esta cantidad de oxígeno que se consume se mide por la Demanda Bioquímica de Oxígeno, ([www.segam.gob.mx](http://www.segam.gob.mx)).

### **2.5.10.-Sólidos totales disueltos**

La suma de todos los minerales disueltos en una muestra de agua se refiere normalmente como total de sólidos disueltos (T.S.D.). Cuando más alto es el valor de T.S.D. más es la conductividad eléctrica del agua considerada. Aprovechando esta característica, una medida de la conductividad eléctrica (C.E.), en Microsiemens/cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a 25 °C, es usada frecuentemente para proporcionar una estimación rápida y económica del total de sólidos (T.S.D. ppm) disueltos en agua. La C. E. de muestras de agua puede ser determinada rápida y fácilmente en laboratorio o a campo. Debido a que la C. E. es dependiente de la temperatura, todas las lecturas de la C. E. deben ser estandarizadas a 25°C.

### **2.5.11.-Arsénico**

El arsénico es un elemento que se encuentra en la corteza terrestre formando parte de algunas rocas y suelos y de aquí pasa a las aguas en contacto con ellas. En algunas ocasiones puede proceder de efluentes industriales, e incluso la combustión de ciertos combustibles llega a emitir arsénico al medio ambiente.

### **2.5.12.-Nitratos**

Los nitratos, compuestos de nitrógeno y oxígeno se encuentran generalmente en muy baja concentración en el agua superficial y algo más en algunas aguas subterráneas. La presencia de nitratos en el agua suele ser un indicador de su calidad

en general. Las fuentes principales de nitratos en el agua son los terrenos y suelos que los contienen, sea de forma natural o por fertilización de los cultivos así como los vertidos y desechos animales y vegetales.

El mayor aporte de nitrato al agua potable, generalmente subterránea, tiene lugar por lixiviación de los terrenos agrícolas abonados con fertilizantes nitrogenados, las lluvias y el riego de estos terrenos llevan el exceso de nitratos no absorbidos por las plantas, hasta los acuíferos, contaminando así sus aguas. Es decir el exceso de abono ya sea orgánico o mineral nitrogenado es posiblemente la principal causa de contaminación del agua por nitratos, ([www.segam.gob.mx](http://www.segam.gob.mx)).

Los nitratos son muy solubles y en ocasiones acaban en las aguas superficiales actuando como fertilizantes de la vegetación acuática y provocando la eutrofización de grandes masas de agua. Para la reducción o eliminación de los nitratos contenidos en el agua, hay que acudir a técnicas de osmosis inversa e intercambio de iones, o bien mediante tratamiento biológico (desnitrificación).

#### **2.5.13.-Nutrientes**

El excremento y los detergentes contienen fósforo que genera una reproducción desmesurada de las algas en los lagos y embalses, dificultando utilizar el agua para tomar o bañarse.

#### **2.5.14.-Cobre**

El cobre es un mineral que ha demostrado tener efectos benéficos y potenciales efectos tóxicos para la salud del ser humano, dependiendo de la cantidad que se ingiera. En 1993 la OMS incluyó el cobre en forma provisional en un listado de los elementos químicos con significación para la salud humana y recomendó una ingesta mínima diaria de cobre para todas las personas.

### **2.5.15.-Silicio**

El silicio es el segundo elemento más abundante del planeta y se encuentra en la mayoría de las aguas. Es el constituyente común de las rocas ígneas, el cuarzo y la arena. El sílice existe normalmente como óxido (como SiO<sub>2</sub> en la arena y como silicato SiO<sub>3</sub>=). Puede estar en forma insoluble, soluble y coloidal. Muchas aguas naturales contienen menos de 10 mg/l de sílice, algunas pueden llegar a contener hasta 80 mg/l. Las aguas volcánicas la contienen en abundancia.

### **2.5.16.-Calcio**

El calcio es el mineral más abundante en el cuerpo humano y se concentra principalmente en los huesos; un aumento del calcio en el cuerpo podría provocar una disminución en la estatura y manchamiento de los dientes entre otras enfermedades. En el agua un exceso de calcio se denomina como agua dura. El grado de dureza de un agua aumenta, cuanto más calcio y magnesio hay disuelto. Magnesio y calcio son iones positivamente cargados, ([www.segam.gob.mx](http://www.segam.gob.mx)).

### **2.5.17.-Químicos**

El petróleo, la gasolina, los plaguicidas, los químicos industriales, metales y algunos minerales son tóxicos para la fauna acuática y hacen daño para la salud humana. Los ríos, lagos y mares recogen, desde tiempos inmemoriales, las basuras producidas por la actividad humana. El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación, pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que arrojamos los residuos producidos por nuestras actividades.

### **2.5.18.-El lixiviado**

Se define como el líquido proveniente de los residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos. Este puede contaminar las aguas subterráneas o superficiales, degradando su calidad y poniendo en peligro la salud de la población, cuando es utilizada como fuente de abastecimiento para uso recreativo o

pecuario, debido a la acumulación de algunos metales pesados como es el plomo, el cadmio etc., (www.segam.gob.mx).

### **2.5.19.-Vulnerabilidad**

La vulnerabilidad puede entenderse como la sensibilidad en la calidad del agua subterránea ante una carga contaminante impuesta, la cual es determinada por las características intrínsecas del acuífero. Por lo tanto, la vulnerabilidad es inversa a la capacidad de atenuación de contaminantes del acuífero. Este concepto de vulnerabilidad puede ser asociado a vulnerabilidad a la contaminación de aguas subterráneas, "carga contaminante". Por supuesto la severidad de las consecuencias se mide en términos del deterioro de la calidad del agua.

### **2.6.-Vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación**

Debe tenerse claro que el riesgo de contaminación es entendido como la probabilidad de que las aguas subterráneas alcancen niveles de químicos, bacterias, virus, etc. por encima de los cuales peligre la salud humana. Organismos internacionales como la OMS y la EPA recomiendan valores máximos permisibles y en el país existe regulación con respecto a los valores permisibles en agua potable.

El término vulnerabilidad a la contaminación del acuífero es usado para representar las características intrínsecas que determinan su susceptibilidad a ser adversamente afectado por una carga contaminante que cause cambios químicos, físicos o biológicos que estén por encima de las normas de utilización del agua.

Según Foster & Hirata (1988) La vulnerabilidad es primeramente una función de:

- a) la inaccesibilidad de la zona saturada, en sentido hidráulico, a la penetración de contaminantes;
- b) la capacidad de atenuación de los estratos encima de la zona saturada del acuífero, como resultado de su retención física y reacción química con los contaminantes.

Existen muchas técnicas para desarrollar una cartografía de la vulnerabilidad de acuíferos. Las dos más conocidas y utilizadas en Latinoamérica son GOD (Foster & Hirata 1988) y DRASTIC (Aller et al 1987).

La actividad humana puede cambiar características "intrínsecas" del acuífero, como la capacidad de atenuación de las capas sobre el acuífero, el mecanismo de recarga y el espesor de suelo. La amenaza por su parte tampoco es siempre activa. En el sentido estricto de la palabra una ciudad puede cambiar, pero difícilmente dejará de ser ciudad, por lo tanto la amenaza no desaparecerá, por el contrario, normalmente aumentará con el aumento en el tamaño de la ciudad.

## **2.7-Clasificación de las aguas subterráneas por su origen y tiempo de contacto con el acuífero, origen de las salmueras naturales**

### **2.7.1.-Aguas Vadasas o Meteóricas o Recientes**

Son las incluidas en el ciclo del agua en la hidrosfera-litosfera-atmósfera. Se las puede caracterizar fácilmente por poseer algunos radioisótopos de vida no muy larga (tritio, radiosilicio, etc.) de origen atmosférico y una composición isotópica similar a la del agua de lluvia.

En realidad, prácticamente toda el agua de la tierra es meteórica pero sólo se considera como tal la que actualmente interviene en el ciclo y no la que accidentalmente ha sido separada del mismo. Su composición está influida principalmente por la del agua de infiltración y la del material del acuífero, (Schoeller, 1962).

### **2.7.2.-Aguas Marinas**

Son las aguas del mar que han invadido recientemente sedimentos costeros. Son similares en composición a la del mar, quizás con mayor dureza y composición isotópica similar, (Schoeller, 1962).



### 2.7.3.-Aguas Fósiles

Son aguas atrapadas en el terreno y que permanecen en él durante miles de años. No es preciso que sean estacionarias sino que basta con que el movimiento sea lento y el recorrido largo. Son aguas en general muy salinas pues el contacto con el terreno es muy prolongado. El término de aguas fósiles es en ocasiones utilizado impropriamente y se confunde con aguas meteóricas de elevada salinidad. Este concepto ha sido establecido por Schoeller (1962), pero otros muchos autores reservan esta designación al agua en el medio no saturado.

### 2.7.4.-Aguas Congénitas

Son las aguas atrapadas en el momento de la formación de sedimentos. Esta agua atrapada es expulsada después de la consolidación, pero si la roca final es aún porosa puede quedar parte del agua de imbibición en ella, que es el agua congénita.

Son desplazadas y se acumulan en otros materiales donde pueden sufrir una mezcla mayor o menor con aguas vadosas; en este caso no se trata de aguas congénitas de la formación sino de aguas emigradas. No son necesariamente aguas fósiles, pues pueden corresponder a sedimentos muy recientes. Suelen ser fuertemente cloruradas, (Schoeller, 1962).

### 2.7.5.-Aguas Juveniles, Metamórficas, Magmáticas y Volcánicas

Las aguas juveniles son aquellas que proceden del interior de la tierra sin haber estado antes en superficie y su interés es limitado.

Las aguas metamórficas son las desprendidas de sedimentos en proceso de metamorfismo, suelen tener contenidos elevados y pueden ser menos cloruradas que el agua del mar, aunque el valor absoluto sea elevado.

Las aguas de origen magmático y las volcánicas se desprenden de las emisiones de lava, gases volcánicos, etc., y suelen ser de tipo clorurado sódico. Es difícil distinguir

entre estos tipos de agua y su interés es muy limitado, salvo que se relacionen con áreas geotérmicas importantes, (Craig, 1970).

#### 2.7.6.-Aguas Minerales

Son aguas de composición química muy variada, pero que se caracterizan por poseer elementos en disolución en cantidad notable o grande, que las aguas vadasas normales no poseen. Suelen estar relacionadas con fenómenos volcánicos y orogénicos, y muchas veces son termales.

#### 2.7.7.-Aguas Saladas y Salmueras Naturales

En la naturaleza son frecuentes las formaciones que contienen agua salada y salmueras naturales. No es raro encontrar aguas subterráneas cuya mineralización supera notablemente a la actual del agua marina, para las cuales se debe encontrar otro origen.

Entre los posibles procesos modificadores que conducen a un incremento de la salinidad cabe destacar la ultrafiltración, proceso mediante el que un agua forzada a pasar a través de niveles arcillosos continuos, puede dejar atrás gran parte de sus sales; el agua salada o salmuera así originada puede permanecer donde se formó o bien emigrar hacia otras formaciones a merced de la evolución geológica y geohidrológica de los terrenos. Es frecuente que las aguas saladas y salmueras naturales correspondan a aguas profundas pero no siempre es así. Es un proceso de ósmosis inversa natural, (Craig, 1970).

### **2.8.-Modificaciones de la calidad del agua subterránea durante la infiltración.**

#### *2.8.1.-Incremento de salinidad*

Calculando la concentración por evaporación que ha sufrido el agua de lluvia, se encuentra que en la mayoría de los casos el aporte de iones cloruro y sulfato se mantiene inalterado o como mucho sólo ha crecido ligeramente, excepto en terrenos yesíferos o con abundante piritita oxidable en los que el contenido en sulfato puede incrementarse notablemente, (Schoeller, 1963)

En zonas con suelos poco desarrollados y con rocas fácilmente atacables, las aguas freáticas pueden llegar a mostrar un notable aporte de sales. En regiones desérticas y subdesérticas la infiltración es normalmente sólo una pequeña fracción de la lluvia caída.

Si el agua que se infiltra alcanza directamente el nivel freático a través de conductos de circulación rápida, apenas existe contacto con los materiales del terreno no saturado el terreno apenas tiene ocasión de aportar sales y las principales reacciones que tienen lugar son las de oxidación de la materia orgánica aportada por la lluvia o el agua fluvial a expensas del oxígeno disuelto. En general el agua subterránea tiene una mineralización solo algo superior a la del agua de lluvia o del río, algo más bicarbonatada y poco más dura, o poco más sódica si los terrenos son de origen granítico.

Para comprender las razones por las cuales es muy fácil contaminar el agua en fase líquida y vapor, pero no tan fácil contaminarla en fase sólida (hielo), se necesita tener presentes tanto sus propiedades físicas como sus propiedades químicas y biológicas. Como el agua es el medio ambiente líquido universal para la materia viva, resulta que es propensa de manera excepcional a la contaminación por organismos vivos, por materia orgánica e inorgánica soluble.

### **2.9.-Los Manantiales**

Un manantial puede definirse como un punto o zona de la superficie del terreno en la que, de modo natural, fluye a la superficie una cantidad apreciable de agua, procedente de un acuífero o embalse subterráneo. Los manantiales son, a modo de aliviaderos o desagües por los que sale la infiltración o recarga que reciben los embalses subterráneos.

La descarga de estos embalses no se efectúa únicamente mediante los manantiales, ya que, a veces, la zona saturada, al llegar a la superficie del terreno, no da lugar aun flujo concentrado, sino a una zona de flujo diseminado o zona de rezume en la que el agua subterránea alimenta a un río o lago, si la zona de rezume está bajo el nivel del agua de ese río o lago, o se evapora si queda en contacto con la atmósfera (Davis y De Wiest, 1966).

El funcionamiento de los manantiales resulta muy claro, como antes se ha indicado, se tiene en cuenta que, por lo general, son simplemente el desagüe o salida de un medio poroso o embalse subterráneo que recibe una cierta recarga o infiltración. Así pues, los dos factores más importantes a considerar serán los parámetros geométricos e hidrológicos del embalse subterráneo y sus condiciones de recarga, casi siempre dependientes de modo principal de la infiltración de las precipitaciones.

Al mismo tiempo, puede explicar también la existencia de los pequeños manantiales que con frecuencia se encuentran en zonas relativamente elevadas de las montañas, ya que basta una superficie de unas pocas hectáreas para que en estas zonas, por lo general lluviosas y con recarga importante, pueda darse una fuente con un caudal de algunos litros por minuto, que son suficientes para abastecer a una familia.

### **3.-DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO**

#### **3.1 Localización Geográfica**

La Ciudad de Morelia se localiza en la zona centro-norte del Estado. Su cabecera es la capital de Michoacán. Se ubica en las coordenadas 19° 42´ de latitud norte y 101° 11.4´ de longitud oeste, a una altura de 1,951 msnm. Limita al norte con Tarímbaro, Chucándiro y Huaniqueo; al este con Charo y Tzitzio; al sur con Villa Madero y Acuitzio; y al oeste con Lagunillas, Coeneo, Tzintzuntzan y Quiroga. Su distancia a la capital de la Republica es de 315 Km. La superficie del municipio de Morelia es de 1,199.02 km<sup>2</sup> y representa el 2.03% del total del Estado, ([www.municipiosmich.gob.mx](http://www.municipiosmich.gob.mx)).

#### **3.2 Orografía**

La topografía del municipio es muy accidentada. La región montañosa se extiende hacia el sur formando vertientes bastante pronunciadas, que se internan al norte, sobresaliendo los cerros de Punhuato y las lomas antiguamente llamadas de El Zapote, que se unen en la región norte con la sierra de Otzumatlán. Al sur de la ciudad de Morelia se encuentran las lomas de Santa Maria de los Altos; adelante están los cerros de San Andrés, que se unen, en la parte noroeste, con el pico de Quinceo, es el de mayor altura en la zona, con 2,787 msnm, que tienen conexión con las lomas de Tarimbaro y los cerros de Cuto y de Uruétaro, los cuales limitan al valle y los separan del lago de Cuitzeo.

#### **3.3 Hidrografía**

El municipio se ubica en la región hidrográfica número 12, conocida como Lerma-Santiago, particularmente en el distrito de Riego Morelia-Querendaro. Forma parte del lago de Cuitzeo. Sus principales ríos son el Grande y el Chiquito. Sus arroyos mas conocidos son la Zarza y la Pitaya. Su presa más importante es la de Cointzio, aunque con otras menores como las de Umecuaró, Laja Caliente y la Mintzita. También son importantes sus manantiales de aguas termales que son aprovechados como balnearios, figurando Cointzio, El Ejido, El Edén y las Garzas, ([www.municipiosmich.gob.mx](http://www.municipiosmich.gob.mx)).

### **3.4.-Actividades Económicas**

Las principales actividades económicas de esta población son el comercio, la industria servicios y turismo. Sus actividades artesanales son la cantería, cestería y herrería artística. Tiene una población de 626,160 hab.; hasta el año 2003.

### **3.5.-Clima**

Predomina el clima del subtipo templado de humedad media, con régimen de lluvias en verano de 700 a 1,000 milímetros de precipitación anual y lluvias invernales máximas de 5 milímetros anuales promedio. La temperatura media anual es de 14° a 18° centígrados, aunque ha subido hasta 38° centígrados. Los vientos dominantes provienen del suroeste y del noroeste, con variables en julio, agosto y octubre, con intensidad de 2 a 14.5 Km. por hora, ([www.municipiosmich.gob.mx](http://www.municipiosmich.gob.mx)).

#### **3.5.1.-Precipitación**

El clima es uno de los principales elementos para el estudio y la gestión del ambiente; éste no sólo contribuye a la formación del paisaje, sino que además condiciona su evolución y la de sus habitantes.

#### **3.5.2.-Temperaturas**

Los cambios de temperatura pueden determinar como se comporta el ecosistema. Para este estudio se tiene información de las estaciones donde se tienen observaciones, en Morelia el periodo es de 86 años, en la Zona Militar de 21 años, en Jesús del Monte de 61 años y en San Miguel del Monte de 21 años. Se representan los registros de las cuatro estaciones anteriormente citadas.

## **4.- RESULTADOS**

### **4.1.-Metodología**

Para el presente estudio se tomó como base los pozos de abastecimiento de agua de la ciudad de Morelia que fueron posibles monitorear. El OOAPAS (Organismo Operador del Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento) dió la autorización para poder realizar este trabajo, indicándoles a los operadores de los pozos que dieran las facilidades para entrar y tomar las lecturas correspondientes al agua de los pozos. Posteriormente se ubicaron en el mapa los pozos que se monitorearon. Muchos de los pozos que tienen registrados en servicio no fue posible incluirlos dentro del presente estudio por diferentes circunstancias

Después de la ubicación en macro y de la visita local de cada uno de los pozos, se recabó información de cada uno de ellos, parte de dicha información fue proporcionada los operadores que muy amablemente dieron respuesta a todos nuestros cuestionamientos con fines del censo. En esta visita se descartaron algunos puntos a monitorear como son tanques de almacenamiento, estaciones de rebombeo y pozos que actualmente ya no estaban operando, así como los que estaban en reparación o mantenimiento de algún tipo.

Una vez ubicados los pozos en los cuáles se tomaría la lectura, figura 4.1 se procedió a la elaboración de un calendario de visitas, con base en un recorrido pasando por cada uno de los pozos para saber la hora en que se podía tomar la muestra de agua, ya que de no ser así podríamos habernos topado con una serie de horarios encontrados, los cuales no nos hubieran permitido realizar dicha tarea.

Para efectuar dichas lecturas se utilizó el instrumento de medición Sistema de Calidad del Agua U-23 (Quality Water Sistem) de la marca Horiba, proporcionado por el Departamento de Ingeniería Ambiental, de la Facultad de Ingeniería Civil, el cual, consta de una libreta electrónica, conectada a seis sensores capaces de proporcionar parámetros muy exactos, entre los cuales están: Ph, Conductividad, Turbidez, Do,

Temperatura, Profundidad, Salinidad, TDS, Gravedad Especifica, ORP, Cloro,  $\text{NO}_3$ , Calcio; su funcionamiento depende de una calibración de los sensores con soluciones elaboradas especialmente para ellos con valores conocidos para todos los parámetros.

La forma de operación del equipo consiste en sumergirlo en el agua para que automáticamente comience a valorar el agua hasta llegar a los valores estáticos. La calibración de dicho instrumento puede ser automática o manual, todo depende de la forma programada. En las lecturas que se hicieron el instrumento se calibró diariamente durante los días que duró el trabajo de campo, además de una segunda calibración cuando los parámetros salían muy disparados; solamente para corroborar y verificar los resultados obtenidos. Cabe aclarar que para dicha calibración se consideró la altura sobre el nivel del mar.

La obtención de la muestra de agua consistió en coleccionar en un recipiente la suficiente cantidad de agua que era bombeada del pozo. Primeramente se dejaba salir todo el líquido almacenado en el tubo para obtener así el agua recientemente extraída del acuífero. Teniendo esto en mente y evitando cometer errores de lectura, por no tomar la muestra de agua en forma correcta, se realizaron las lecturas correspondientes de cada uno de los pozos en estudio.

Las lecturas fueron realizadas sumergiendo en su totalidad los sensores (al menos dos minutos). Ya sumergidos se anotaba la hora, la fecha, la cota sobre el nivel del mar, sus coordenadas X y Y, lo anterior para su localización exacta en coordenadas UTM, además haciendo las observaciones necesarias.

Es necesario recalcar que las lecturas se hicieron del agua extraída directamente del acuífero, sin la intervención del cloro y cuidando siempre la hora de la extracción de la muestra.



En cada uno de los pozos se tomaron tres lecturas para contar con datos mas confiables, ya que de haber tomado una sola lectura se habría caído en la incertidumbre de información ya que si se utiliza un solo registro no es posible darse cuenta si la lectura se disparaba de la realidad.

Para realizar un buen balance hidrológico se requieren observaciones prolongadas por un periodo mínimo de 30 años, esto es, un periodo de tiempo lo suficientemente largo para garantizar que tenga la observación de las variaciones plurianuales de los parámetros hidrológicos, que parecen seguir ciclos con periodos de 10 años aproximadamente (Arreygue, 1998; Arreygue, 1999; Arreygue et al., 2004).

Por lo que respecta al análisis de las precipitaciones en el área de estudio, sólo fue posible referirse a cuatro estaciones meteorológicas, cuya ubicación se muestra en la figura 4.2: Morelia (lado Este del Tecnológico de Morelia), 21<sup>a</sup> Zona Militar, que se ubica en la calle colcheros de Parangaricutiro; Jesús del Monte y San Miguel del Monte. Que se ubican comino a San miguel del Monte y su registro se asentaba en las oficinas que se encuentran en el lado este del Tecnológico. En donde se realizaron observaciones prolongadas, ejemplo en Morelia el periodo es de 86 años, en la Zona Militar de 28 años, en Jesús del Monte de 55 años y en San miguel del Monte de 22 años. Haciendo mención que la estación Morelia es la que tiene la información más completa, es decir, a partir de 1917 y hasta la actualidad; la estación de Jesús del Monte dejó de operar en 1996, así como San Miguel del Monte en el año de 1986.

En la Figura 4.3, se puede observar que en San Miguel del Monte la precipitación es mucho mayor, ya que se localiza en la sierra y por ende es la zona más alta de la cuenca, donde chocan las corrientes frías que llegan del alto plano y las corrientes cálidas de la costa de Michoacán; mientras que la región de Morelia y la Zona Militar por estar prácticamente a la misma altitud (1940 msnm), los valores son prácticamente iguales.

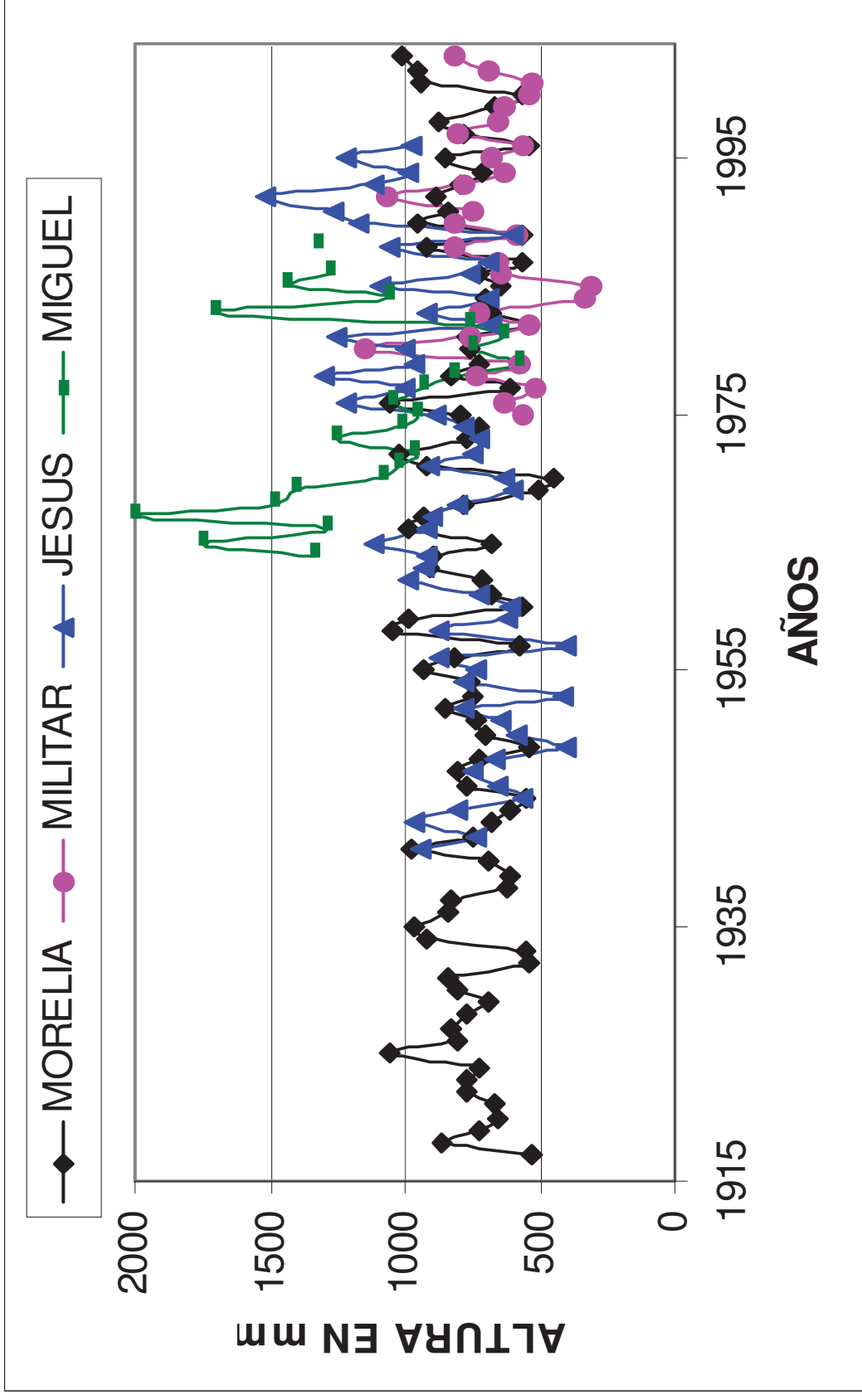


Figura. 4.3.- Precipitación anual de las cuatro estaciones que se localizan cerca de la zona de estudio.

Además la figura 4.3, se observa que al final de la década de los setentas se presentó un periodo de sequía (La Niña), el cual es precedido por un aumento de la precipitación al inicio de la década de los ochentas (históricamente uno de los fenómenos más fuertes de El Niño en los años 82-83), esto nos hace ver que no se comportan siempre igual los eventos excepcionales, por lo que un evento extraordinario se puede presentar sin previo aviso.

En México, y en particular en el área de estudio, predomina el régimen Continental de grandes altitudes que presenta las máximas precipitaciones entre los meses de junio a septiembre y los valores mínimos entre febrero y marzo. En la Figura 4.4, se observa que la estación de San Miguel del Monte es la que sobresale en sus precipitaciones mensuales, principalmente entre los meses de Junio a Septiembre, esto se relaciona con su altitud. Las precipitaciones de Jesús del Monte tienen valores intermedios entre las estaciones de Morelia, La Zona Militar y San Miguel del Monte. En los meses correspondientes de noviembre a mayo los registros de las precipitaciones son muy bajos.

En las Figuras 4.5 y 4.6, se muestra la temperatura anual y mensual respectivamente, la figura 3.5 en la zona de estudio representa que los meses de abril a junio son los más calurosos, observándose también que las temperaturas tienden a aumentar más rápidamente en pocos meses y disminuyen poco a poco a medida que se aproxima diciembre. Es importante mencionar que los resultados obtenidos son promedios mensuales, sin embargo las temperaturas registradas suelen llegar hasta los 38 grados en algunos sitios. La figura 4.6 muestra que el mes de mayo registra la temperatura más alta en las cuatro estaciones.

De acuerdo al presente estudio y a la información obtenida de CNA del estado de Michoacán, la temperatura promedio se calculó en 17.10 C.

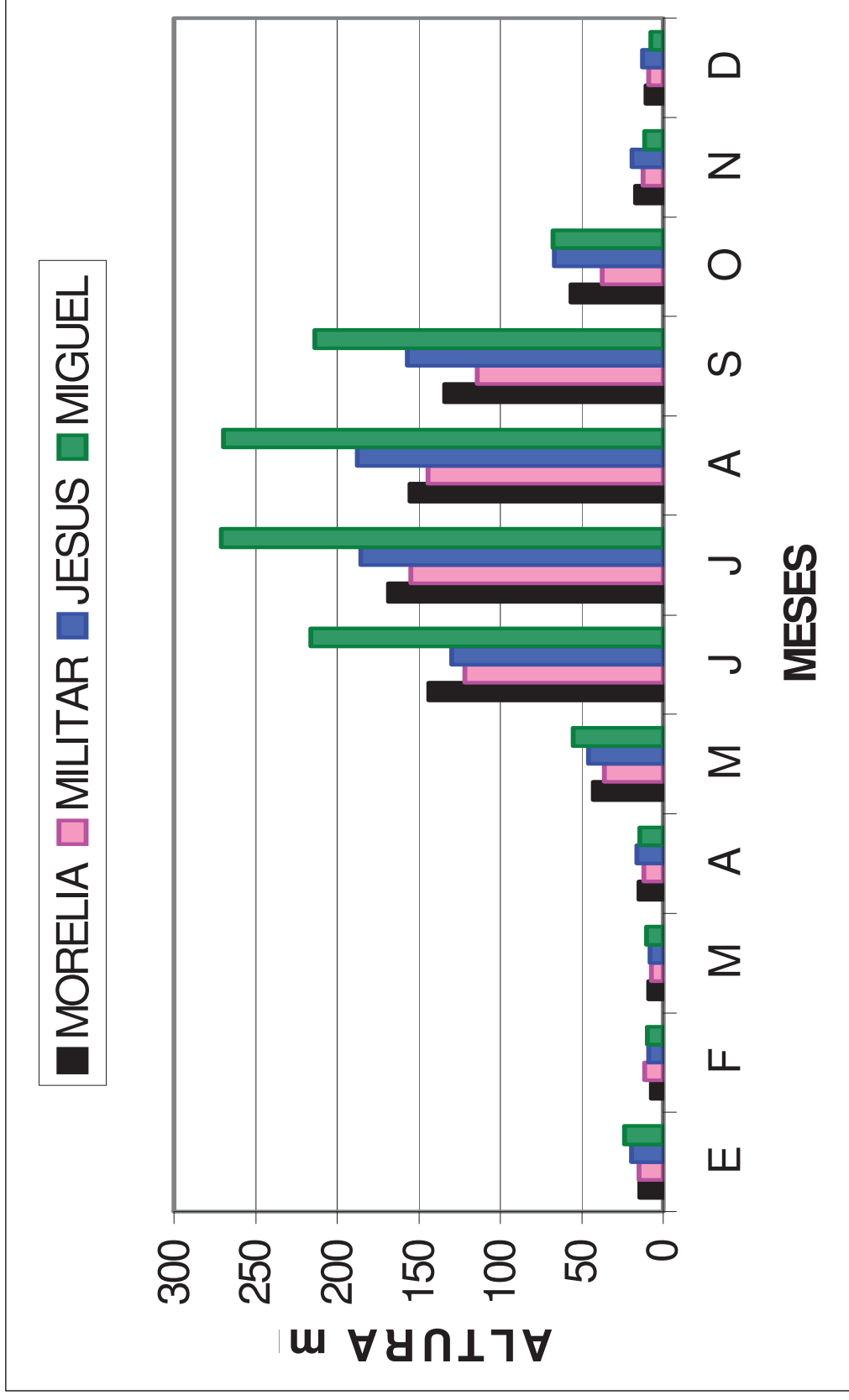


Figura. 4.4.-Precipitaciones mensuales de las cuatro estaciones que se localizan cerca de la zona de estudio.

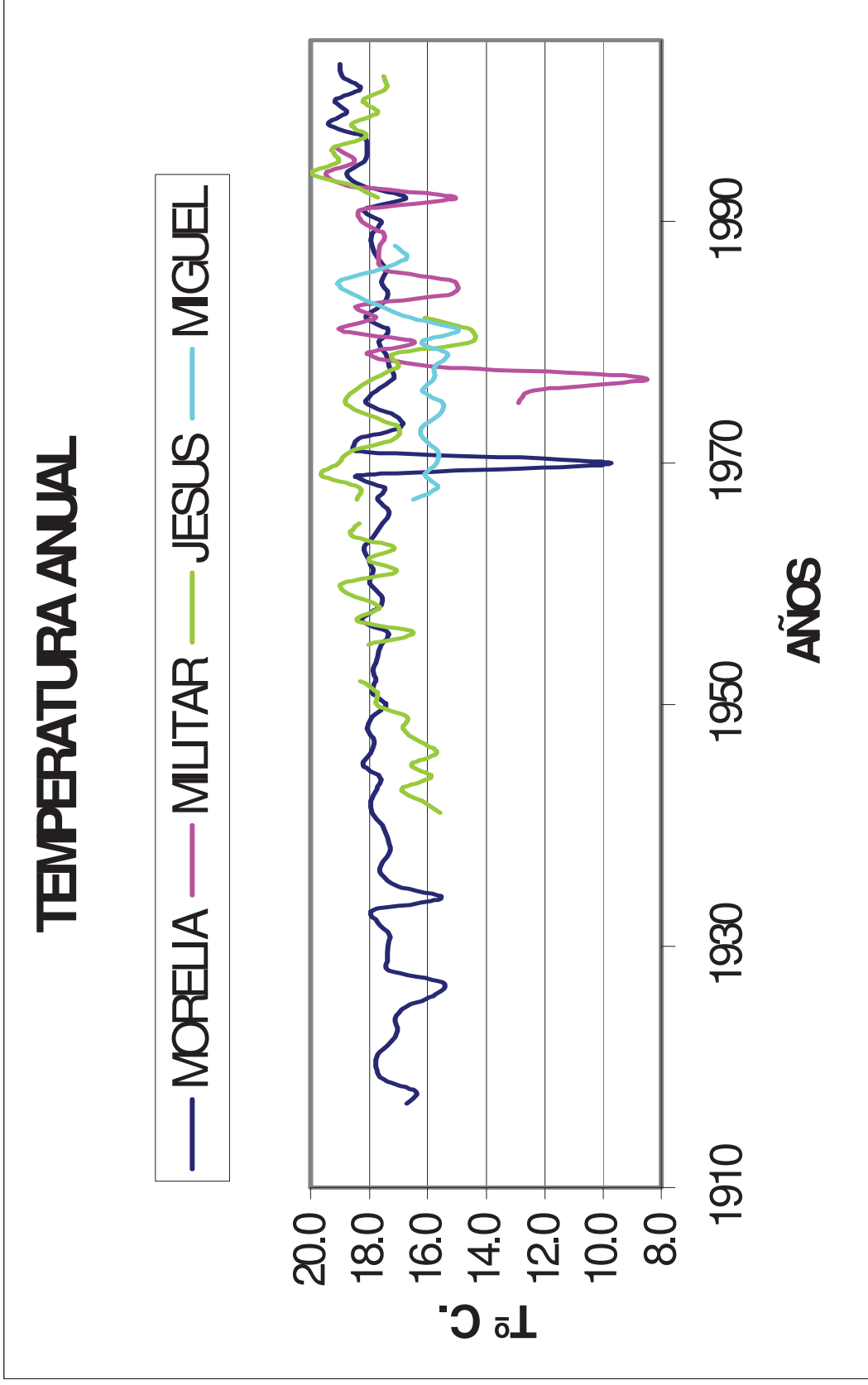


Figura.- 4.5.- Temperatura Anual promedio de las cuatro estaciones del área en estudio.

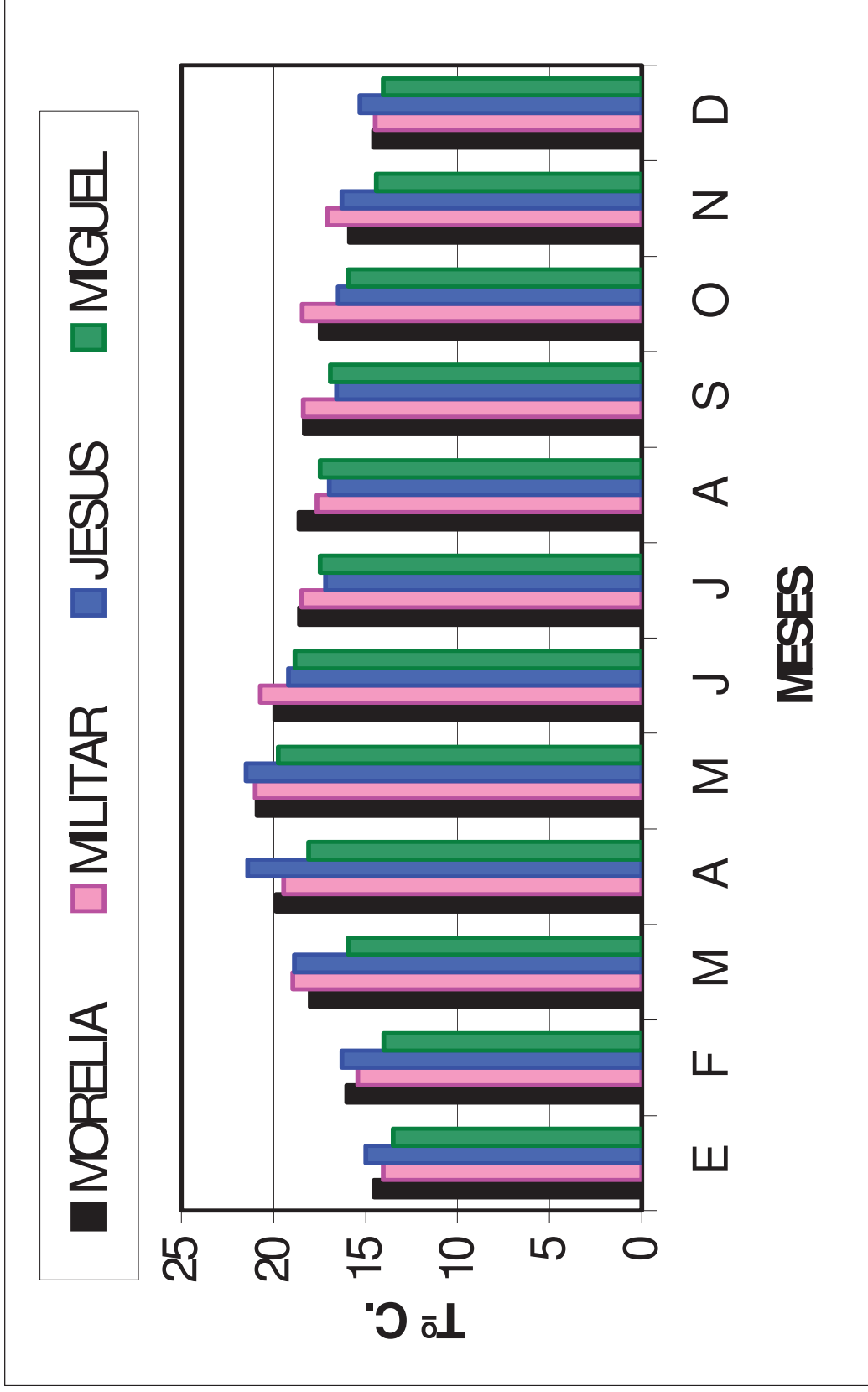


Figura. 4.6.-Representación de la Temperatura Mensual promedio de las cuatro estaciones del área en estudio.

Los resultados de la medición de los componentes del agua en los pozos monitoreados (Tabla 4.1) nos dieron como resultado una serie de valores que a continuación se analizan y comparan para determinar la calidad del agua de esta zona.

Se debe de tomar en cuenta que los parámetros que se obtuvieron son representativos de la ciudad de Morelia y que como ya se había mencionado son los que arrojó el instrumento de medición U-23 de la marca Horiba.

Donde:

Conductividad ( ms / m ).

Turbidez ( ntu ).

Oxígeno Disuelto ( mg / l ).

Temperatura ( °C ).

Profundidad ( m ).

Salinidad ( % ).

Total de sólidos disueltos ( mg / l ).

Gravedad Específica.

Cloro ( mg / l ).

Nitratos ( mg / l ).

Calcio ( mg / l ).

Unidades de medida de los parámetros que se estudiaron principalmente.

Num. de pozo.	Numero Real del pozo.	Ubicación
1	47 Lago I	Calle Laguna Negra Esq. Laguna Seca, col. El Lago.
2	31 Eduardo Ruiz	Batalla de Cuevitas s/n, col Leandro Valle.
3	31 Eduardo Ruiz (Río Cupatitzio)	Calle Río Cupatitzio Esq. Bengala, col Infonavit Quinceo.
4	11 Guadalupe	Calle Anahuac Esq. Con Octava, Col. Guadalupe.
5	Tabiqueros	Periférico Independencia (paseo de la republica), entrada a la colonia Tabiqueros.
6	4 Policía y Transito.	Declaración de independencia s/n.

7	39 Cosmos	Calle Universo Fracc. Cosmos.
8	5 Villa Universidad	Calle Dinamarca Esq. con Italia.
9	1 Boulevard García de León	Boulevard García de León Esq. Av. Camelinas.
10	71 Cumbres de Morelia	Av. Violeta. Carr. A Mil Cumbres.
11	Cambio	Av. Camelinas Esq. Calle Paraguay.
12	3 Las Américas	Av. Enrique Ramírez Miguel s/n.
13	Venus	Av. Del Estudiante esq.calle B.
14	63 Cd. Industrial II	Norte Sur- Esq. Calle Dos.
15	51 Lomas de Santiaguito	Raza azteca Esq. Con Telecomunicaciones.
16	53 la Soledad II	Juan Aguayo Esq. Juan Antonio de la Peña.

*Tabla 4.1.- Pozos utilizados en el monitoreo.*

#### **4.2.-Discusión**

En la Tabla 4.2 que muestra los valores medidos de pH, se observa que todos están por encima del límite inferior de 6.5 y están más cercanos al límite superior cuyo valor es de 8.5. Los valores medidos en los pozos Tabiqueros, Cambio, 31, 53, 63 y 71 exceden el límite superior., resaltando el pozo 71 con un pH de 9.24 que es el más elevado entre los monitoreados, y que se localiza en la colonia Cumbres de Morelia, otro pozo que presenta una concentración mayor al permisible es el 63 que se localiza en Ciudad Industrial, por tal motivo podemos decir que la zona Este de la ciudad, es la de mayor pH, posiblemente debido a las inundaciones que en estas zonas se presentan en la época de lluvias, las bacterias provocan la contaminación de esta agua que ha de infiltrarse en el suelo. Otra zona elevada es el noroeste de la ciudad hacia la colonia El Realito. Se representa esto en la figura 4.7

La Tabla 4.3 de conductividad muestra los valores medidos muy por debajo del máximo permisible que es de 1600 ppm., se tiene que la máxima conductividad se localiza en dos zonas; la primera hacia la Soledad, Ampliación Soledad, Lomas del Tecnológico y Colonia Santiaguito, en el pozo 51, cuyo valor es de 90.9ppm y la segunda zona es hacia las colonias Las Américas, Ocolusen y Cumbres de Morelia, como se muestra en la figura 4.8



La tabla 4.4 muestra los valores de la turbidez y la mayoría de los valores se localizan cerca de la media del permisible. En el pozo 11 se tiene que el valor de 4.5 es muy cercano al permitido por la norma. El pozo 1 rebasa el máximo de la norma de 5ntu, y se localiza hacia oeste de la ciudad. En la figura 4.9 se muestra la distribución de la turbidez y se observa que las zonas que presentan mayores valores son las de las colonias Jardines del Rincón y El Lago, posiblemente debido a los estancamientos de agua en época de lluvia, debido a los inundamientos que en estas zonas se presentan.

En la Tabla 4.5.- se presentan los valores del oxígeno disuelto y aunque no existe una norma para este parámetro puesto que en altas concentraciones solamente variaría el sabor del agua. La máxima concentración del oxígeno disuelto se localiza en el pozo Tabiqueros cuyo valor es de 9.70 y esta concentración se extiende hacia todo el noroeste de la ciudad, debido posiblemente a que en estas zonas la población es todavía muy poca, haciéndose mayor hacia San Isidro y sus alrededores. Esto está representado en la figura 4.10

La Tabla 4.6.muestra la temperatura medida en los pozos monitoreados y no existe una norma establecida que limite la temperatura máxima del agua, ya que basta con dejarla llegar a temperatura ambiente para que sea más agradable beberla. Se tiene que la temperatura mas baja es de 19.7 °C y se encuentra en el pozo 47, en la Colonia El Lago y la máxima es de 33°C en el pozo 53, que se ubica en la Colonia La Soledad, debido posiblemente a la diferencia de profundidad de cada uno de los pozos. Esto se representa en la figura 4.11

En la Tabla 4.7 se presentan los valores medidos del Total de Sólidos Disueltos y se observa que están bajo lo permitido por la norma de calidad del agua para consumo humano de 1000 mg/l, se tiene que el valor mínimo es de 0.19 mg/l en la colonia Tabiqueros y el máximo valor del Total de sólidos disueltos en el área de estudio es de 0.83 mg/l y se encuentra en el pozo 53 en la colonia La Soledad, hacia el norte de la ciudad. En la figura 4.12; se puede observar dos zonas de mayor concentración debido tal vez a las inundaciones que en esta zona se producen en la época de lluvias.

En Tabla 4.8 se presentan los valores del Potencial de Oxido Reducción y aunque no existe una norma para este parámetro, se observa que el valor mínimo es 2.97 que esta en el pozo 11, en avenida Camelinas Esq. Con Paraguay y el valor máximo es de 653.67 que esta en el pozo 39 en el fraccionamiento Cosmos en la calle Universo, donde la zona sur es la de mas alta concentración debido probablemente a la industria que se encuentra al sur de la ciudad, y se ve gráficamente en la figura 4.13

En la Tabla 4.9 se muestran los valores del cloro obtenidos en el monitoreo, y de acuerdo con el máximo permisible de 250mg/l. El valor de 0.47 mg/l en el pozo 71 que se encuentra en la colonia Cumbres de Morelia, es el menor en todo el monitoreo, y el valor de 21.67 mg/l del pozo 53 que se encuentra en la colonia La Soledad es el mas alto y no llega a rebasar el limite máximo permisible. Como el valor registrado esta muy por debajo del permitido por la norma se podría decir que la magnitud del registro se debe a intervención humana y al manejo del equipo, se tiene que la zona de más alta concentración es la norte, como se muestra en la figura 4.14

La Tabla 4.10 muestra el los valores del contenido de calcio en el agua en la zona de estudio y la máxima concentración que se registro es de 26.03 mg/l que esta en el pozo 5, ubicado en la colonia Villa Universidad en la calle Dinamarca Esq. con Italia, podría deberse a la presencia de la industria que esta localizada en la zona sur de la ciudad., no rebasa el permisible según la norma que es de 500 mg/l y la concentración mínima es de 0.60 mg/l en el pozo 11 que se localiza en la colonia Guadalupe, presentándose un incremento hacia el noreste de la ciudad hacia la colonia El Lago, debido tal vez a los capos sembrados que hacia esta zona se localizan, para un mejor entendimiento ver la figura 4.15

En la Tabla 4.11 presenta los contenidos de nitrato en el agua de Morelia, teniendo el valor de 10ppm como máximo permisible según la norma, se observa que en el pozo 47 El Lago en la colonia El Lago 1 el valor sobrepasa el máximo permisible en más de dos veces, esto podría ser por los campos cultivados que se encuentran en esta zona y en pozo 5 Villa Universidad se presenta el segundo valor mas alta pero que

no llega a rebasar el permisible, creando dos zonas de alta concentración, una al noroeste y la segunda hacia el sur como se puede ver en la figura 4.16

Haciendo un análisis general de las condiciones del agua de los pozos de abastecimiento de la ciudad de Morelia de acuerdo con los parámetros medidos y los pozos monitoreados, se tiene que los resultados en conjunto dan una idea global de las condiciones reales del agua. Se puede observar que la zona norte es la que presenta más variaciones en sus lecturas, en general de todos sus parámetros y sobre todo en los parámetros como el pH, conductividad, turbidez y nitrato que son los que mayormente podrían dar una idea de la calidad del agua en la zona, adicionado a esto que los parámetros que no tienen límite permisible como oxígeno disuelto, potencial de oxidación-reducción o los que no llegaron a rebasar los límites máximos como el cloro, calcio, total de sólidos disueltos están distribuidos en la ciudad con tendencias de crecimiento hacia las zonas Este y noroeste de la ciudad y algún caso hacia el sur, como es el nitrato y potencial de oxidación-reducción. Entonces de acuerdo con los parámetros registrados y las tendencias de estos en las figuras, la idea es mucho más clara.

#### 4.2.1.- Parámetros del agua en los pozos monitoreados

Parámetro	Numero de Pozo	Num fig.	Valor Obtenid	Norma
pH	Pozo 47	1	8.08	6.5 a 8.5
	Pozo 31	2	8.65	
	Pozo 31	3	8.51	
	Pozo 11	4	8.47	
	Tabiq	5	8.61	
	Pozo 4	6	7.29	
	Pozo 39	7	7.48	
	Pozo 5	8	7.69	
	Pozo 1	9	8.22	
	Pozo 71	10	9.24	
	Cambio	11	8.72	
	Pozo 3	12	8.23	
	Venus	13	8.34	
	Pozo 63	14	8.54	
	Pozo 51	15	8.46	
	Pozo 53	16	8.61	

Tabla 4.2.-Valores Medidos del pH.

Parámetro	Numero de Pozo	Num Fig	Valor Obtenid	Norma
C O N D U C T I V I D A D	Pozo 47	1	45.33	1600 ppm
	Pozo 31	2	38.30	
	Pozo 31	3	40.73	
	Pozo 11	4	64.10	
	Tabiq	5	18.63	
	Pozo 4	6	58.10	
	Pozo 39	7	48.23	
	Pozo 5	8	76.03	
	Pozo 1	9	69.77	
	Pozo 71	10	55.37	
	Cambio	11	53.17	
	Pozo 3	12	54.03	
	Venus	13	53.23	
	Pozo 63	14	70.50	
	Pozo 51	15	90.90	
	Pozo 53	16	0.14	

Tabla 4.3.-Valores medidos de la conductividad

Parámetro	Numero de Pozo	Num Fig.	Valor Obten.	Norma
<b>TURBIDEZ</b>	Pozo 47	1	3.46	<b>5 utn</b>
	Pozo 31	2	2.72	
	Pozo 31	3	2.48	
	Pozo 11	4	4.50	
	Tabiq	5	1.75	
	Pozo 4	6	2.94	
	Pozo 39	7	2.23	
	Pozo 5	8	2.18	
	Pozo 1	9	5.58	
	Pozo 71	10	2.46	
	Cambio	11	2.52	
	Pozo 3	12	2.25	
	Venus	13	2.50	
	Pozo 63	14	2.53	
	Pozo 51	15	2.64	
	Pozo 53	16	2.70	

Tabla 4.4.-Valores medidos de la Turbidez

Parámetro	Numero de Pozo	Num Fig.	Valor Obten	Norma
<b>Do</b>	Pozo 47	1	7.07	<b>Sin Valor Guía</b>
	Pozo 31	2	9.37	
	Pozo 31	3	8.37	
	Pozo 11	4	7.53	
	Tabiq	5	9.70	
	Pozo 4	6	2.90	
	Pozo 39	7	6.63	
	Pozo 5	8	6.67	
	Pozo 1	9	2.40	
	Pozo 71	10	6.53	
	Cambio	11	5.73	
	Pozo 3	12	4.37	
	Venus	13	4.60	
	Pozo 63	14	5.53	
	Pozo 51	15	8.13	
	Pozo 53	16	3.77	

Tabla 4.5 –Valores medidos del oxígeno disuelto.

Parámetro	Numero de Pozo	Num Fig.	Valor Obtenid	Norma
<b>TEMPERATURA</b>	Pozo 47	1	19.70	<b>Sin Valor Guía</b>
	Pozo 31	2	26.70	
	Pozo 31	3	24.27	
	Pozo 11	4	25.00	
	Tabiq	5	22.73	
	Pozo 4	6	22.63	
	Pozo 39	7	25.93	
	Pozo 5	8	24.97	
	Pozo 1	9	28.43	
	Pozo 71	10	28.17	
	Cambio	11	26.33	
	Pozo 3	12	30.17	
	Venus	13	25.07	
	Pozo 63	14	29.03	
	Pozo 51	15	22.77	
	Pozo 53	16	33.00	

Tabla 4.6.-Valores medidos de la temperatura.

Parámetro	Numero de Pozo	Num Fig.	Valor Obtenid	Norma
<b>TDS</b>	Pozo 47	1	0.30	<b>1000 mg/l</b>
	Pozo 31	2	0.24	
	Pozo 31	3	0.31	
	Pozo 11	4	0.36	
	Tabiq	5	0.19	
	Pozo 4	6	0.38	
	Pozo 39	7	0.33	
	Pozo 5	8	0.43	
	Pozo 1	9	0.43	
	Pozo 71	10	0.34	
	Cambio	11	0.33	
	Pozo 3	12	0.71	
	Venus	13	0.36	
	Pozo 63	14	0.45	
	Pozo 51	15	0.58	
	Pozo 53	16	0.83	

Tabla 4.7.- Valores del Total de sólidos disueltos

Parámetro	Numero de Pozo	Num Fig	Valor Obtenid	Norma
<b>O R P</b>	Pozo 47	1	275.00	<b>Sin Valor Guía</b>
	Pozo 31	2	293.00	
	Pozo 31	3	306.00	
	Pozo 11	4	2.97	
	Tabiq	5	640.33	
	Pozo 4	6	90.67	
	Pozo 39	7	653.67	
	Pozo 5	8	617.67	
	Pozo 1	9	406.00	
	Pozo 71	10	534.67	
	Cambio	11	580.33	
	Pozo 3	12	338.33	
	Venus	13	357.67	
	Pozo 63	14	243.67	
	Pozo 51	15	639.67	
	Pozo 53	16	335.67	

Tabla 4.8.- Valores del Potencial de oxido Reducción.

Parámetro	Numero de Pozo	Num Fig	Valor Obtenid	Norma
<b>C L O R O</b>	Pozo 47	1	2.44	<b>250 mg/l</b>
	Pozo 31	2	1.28	
	Pozo 31	3	3.06	
	Pozo 11	4	6.67	
	Tabiq	5	0.64	
	Pozo 4	6	2.49	
	Pozo 39	7	1.84	
	Pozo 5	8	6.03	
	Pozo 1	9	3.13	
	Pozo 71	10	0.47	
	Cambio	11	4.47	
	Pozo 3	12	6.67	
	Venus	13	1.22	
	Pozo 63	14	1.27	
	Pozo 51	15	6.73	
	Pozo 53	16	21.67	

Tabla 4.9.-Valores medidos del Cloro

Parámetro	Numero de Pozo	Num Fig	Valor Obtenid	Nor- ma
<b>C A L C I O</b>	Pozo 47	1	12.63	<b>500 mg/l</b>
	Pozo 31	2	3.66	
	Pozo 31	3	4.43	
	Pozo 11	4	0.60	
	Tabiq	5	4.20	
	Pozo 4	6	3.47	
	Pozo 39	7	0.73	
	Pozo 5	8	26.03	
	Pozo 1	9	6.90	
	Pozo 71	10	0.00	
	Cambio	11	7.77	
	Pozo 3	12	8.17	
	Venus	13	2.57	
	Pozo 63	14	2.23	
	Pozo 51	15	5.03	
	Pozo 53	16	11.83	

Tabla 4.10.-Valores del medidos calcio.

Parámetro	Numero de Pozo	Num Fig	Valor Obtenid	Norma
<b>N I T R A T O S</b>	Pozo 47	1	25.43	<b>10 ppm</b>
	Pozo 31	2	1.33	
	Pozo 31	3	2.43	
	Pozo 11	4	6.11	
	Tabiq	5	2.58	
	Pozo 4	6	4.30	
	Pozo 39	7	2.04	
	Pozo 5	8	6.37	
	Pozo 1	9	1.37	
	Pozo 71	10	2.31	
	Cambio	11	2.43	
	Pozo 3	12	2.23	
	Venus	13	2.50	
	Pozo 63	14	2.33	
	Pozo 51	15	2.37	
	Pozo 53	16	0.95	

Tabla 4.11.-Valores medidos del nitrato.

#### 4.2.2.- Graficas de resultados de los parámetros del agua en la ciudad (Isovalores)

*Pavel Madrigal Equihua/F.I.C.*

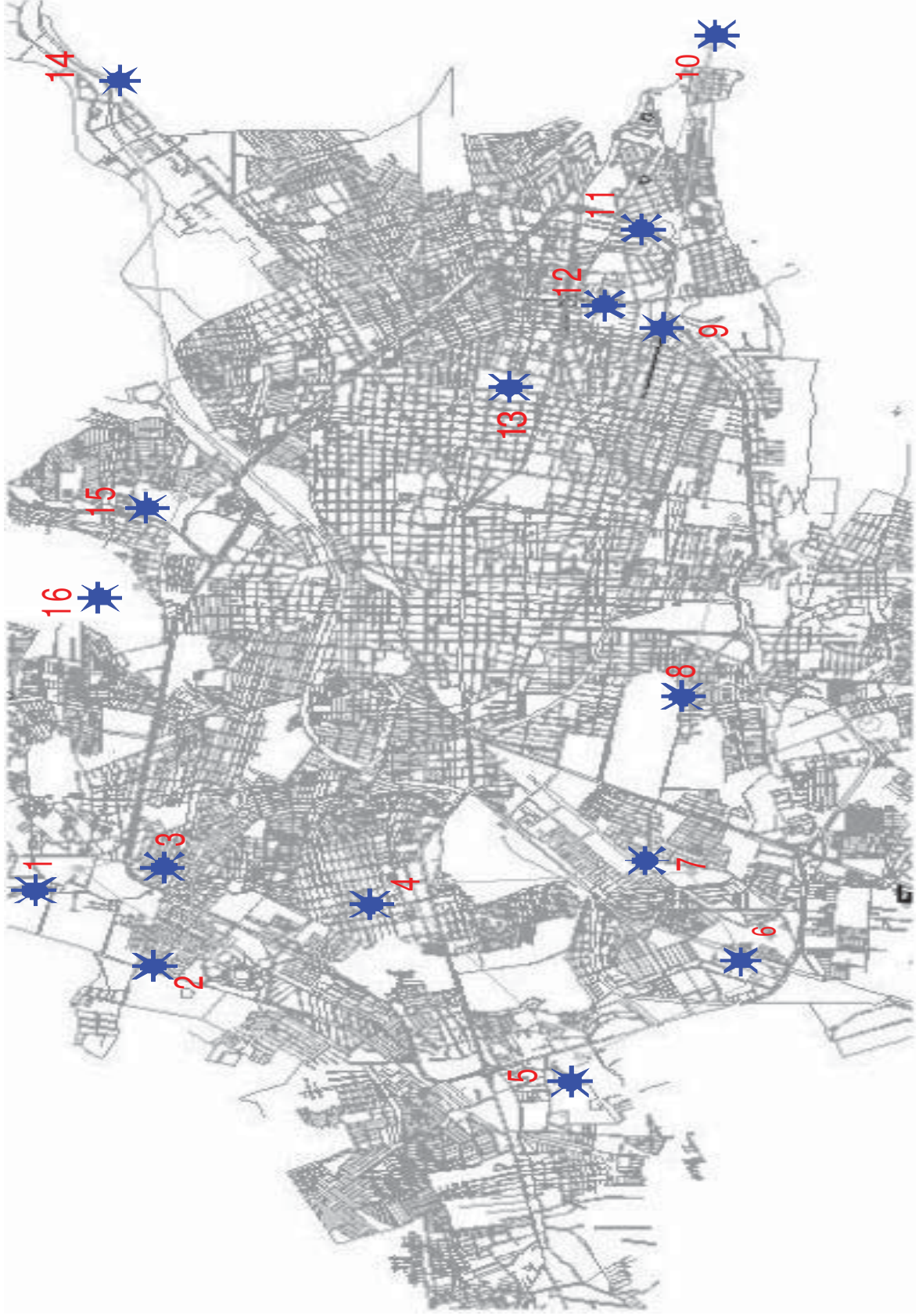


Figura 4.1.- Ubicación de los pozos monitoreados en la ciudad de Morelia.

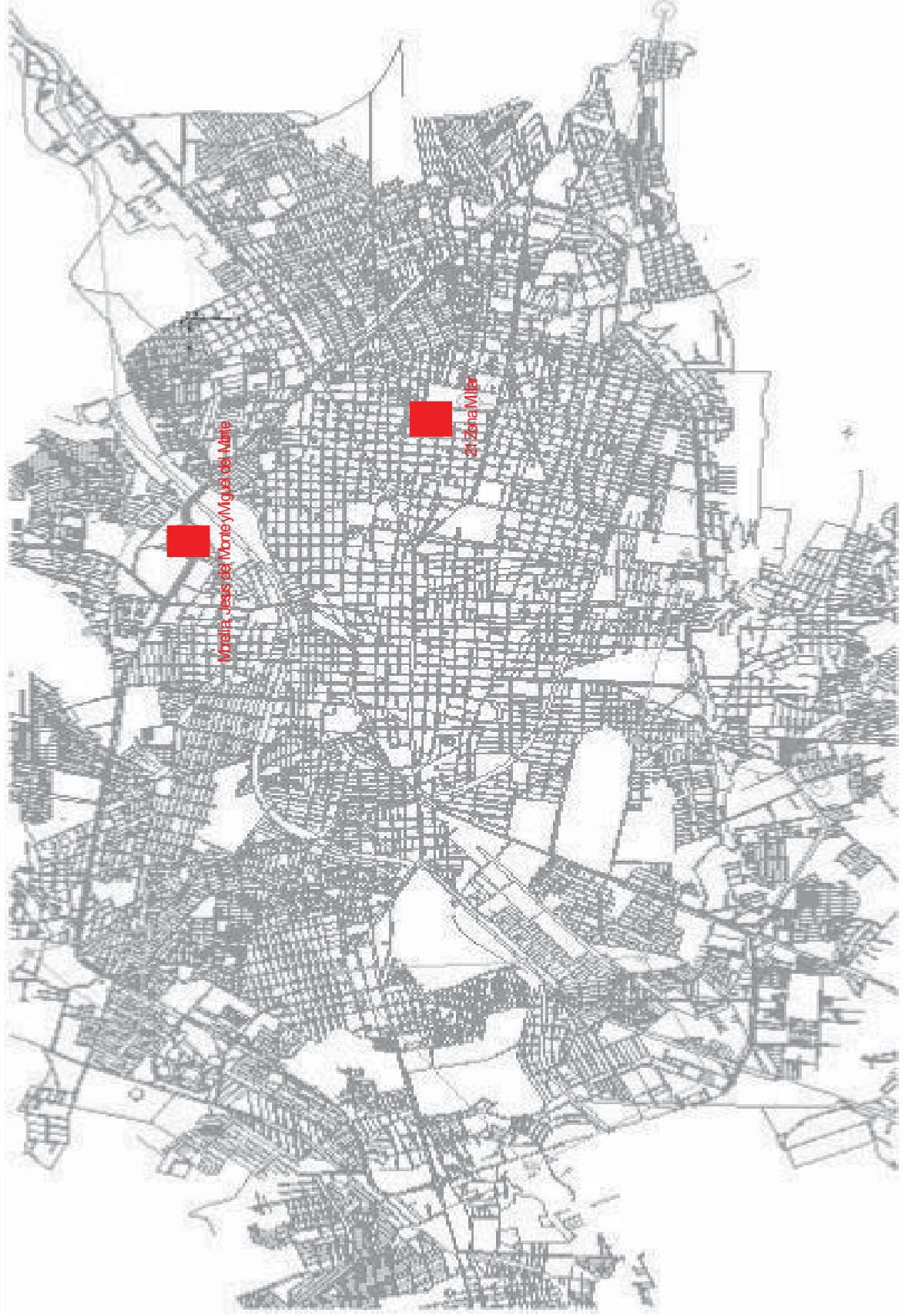


Figura 4.2.- Ubicación de las estaciones climatológicas de la ciudad de Morelia

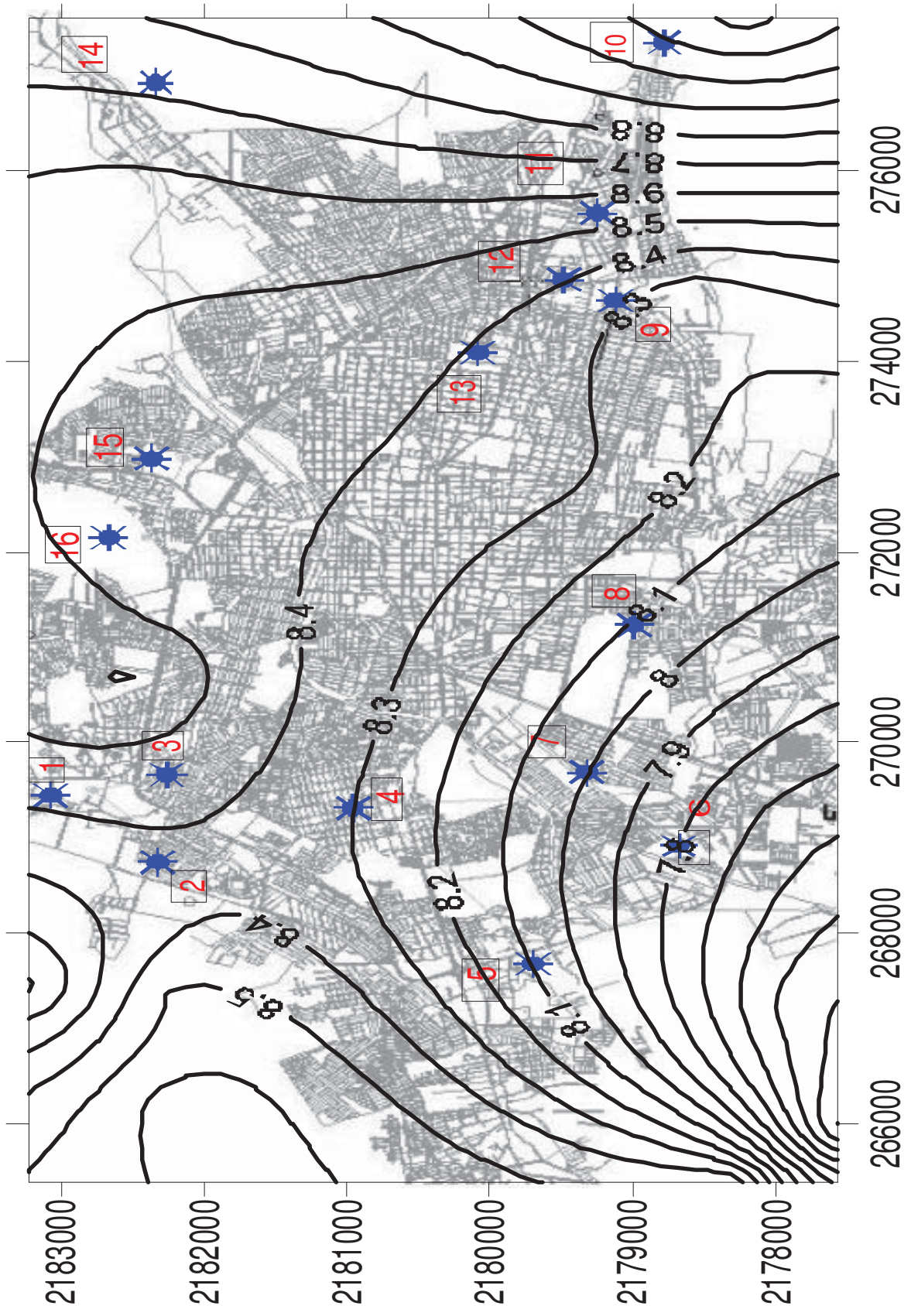


Figura 4.7.-pH en la ciudad de Morelia.



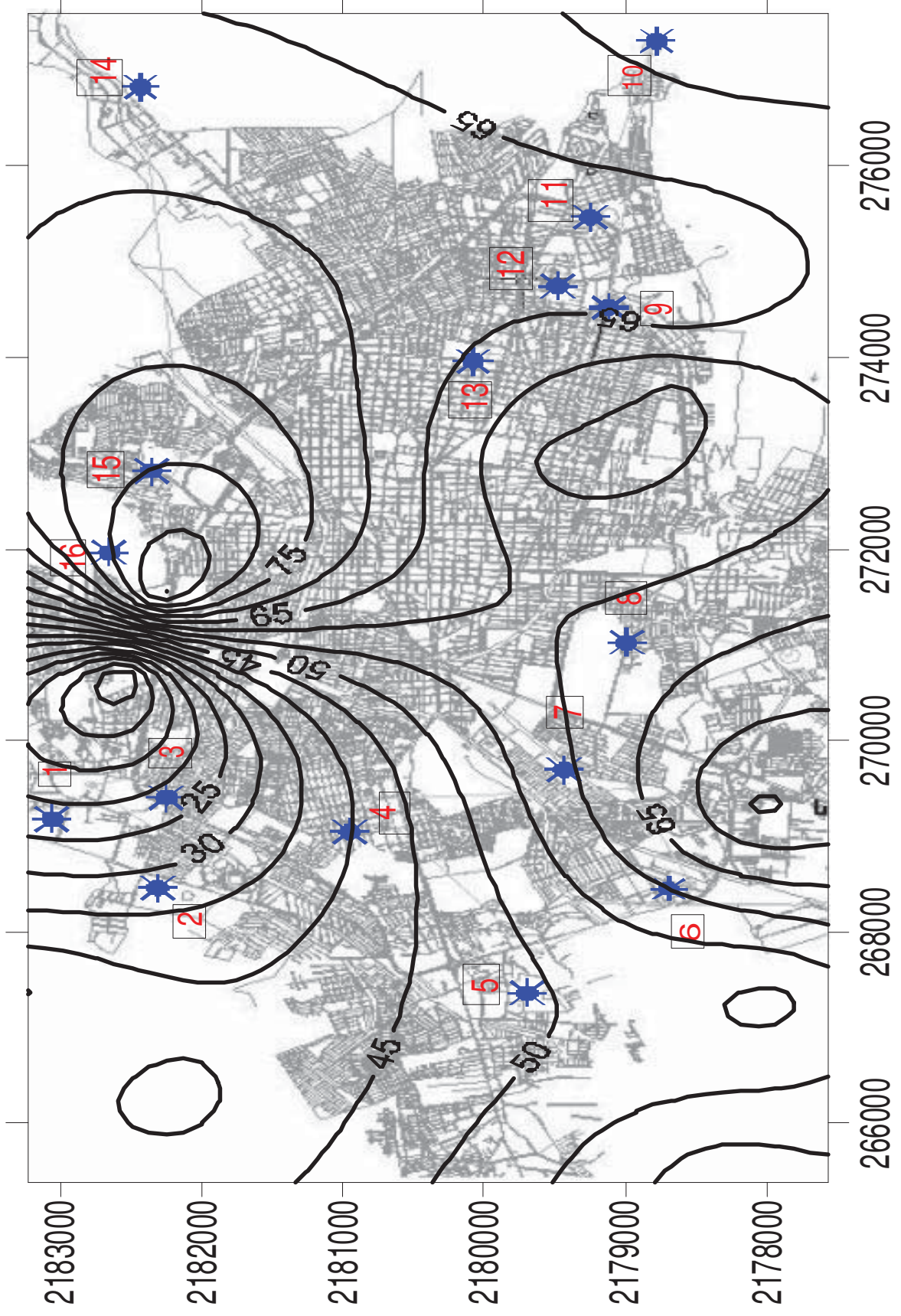


Figura 4.8.-Se muestra la distribución de la Conductividad en la zona de estudio.

UMSNH

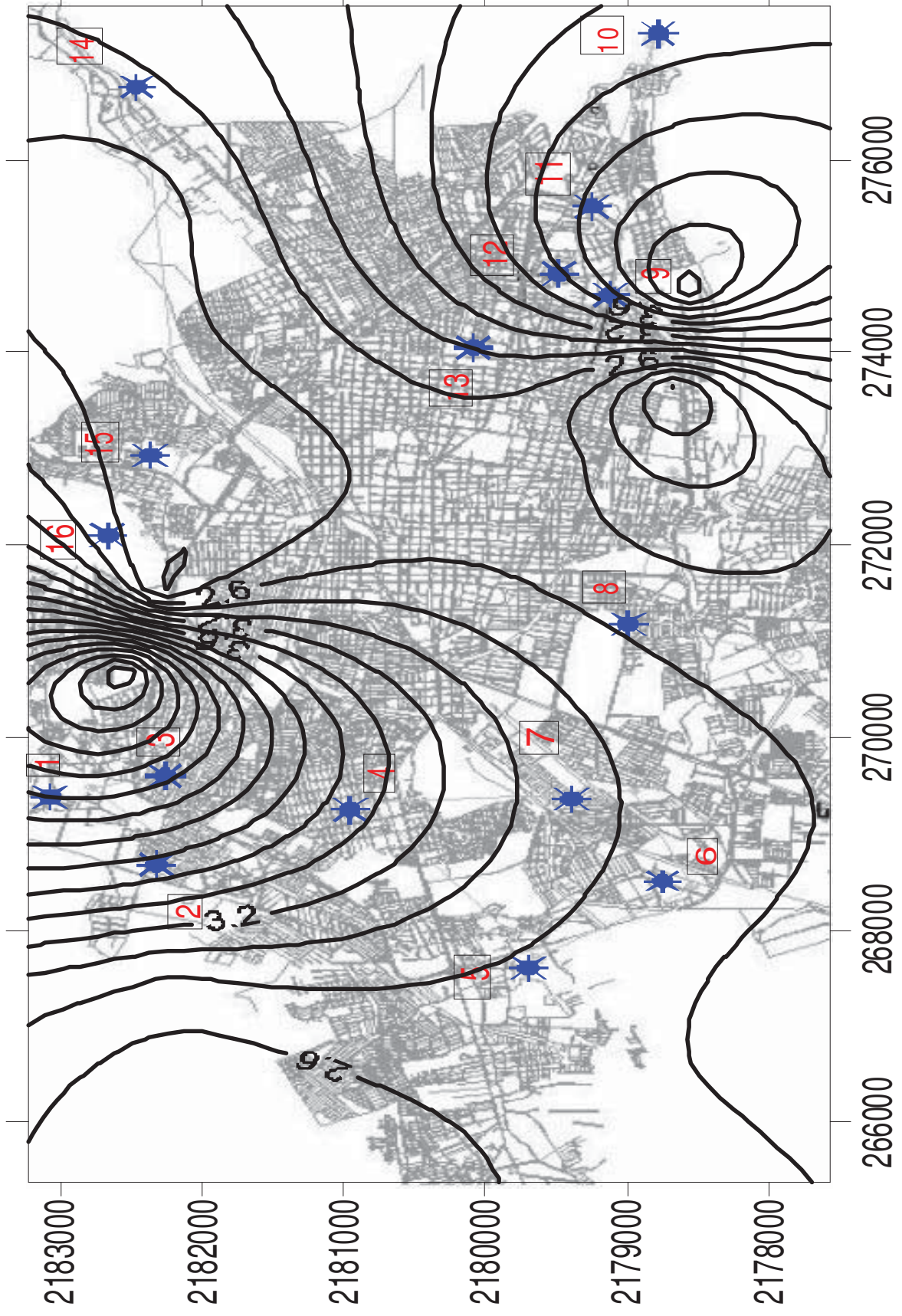


Figura 4.9.- Distribución de la Turbidez en el área de estudio.

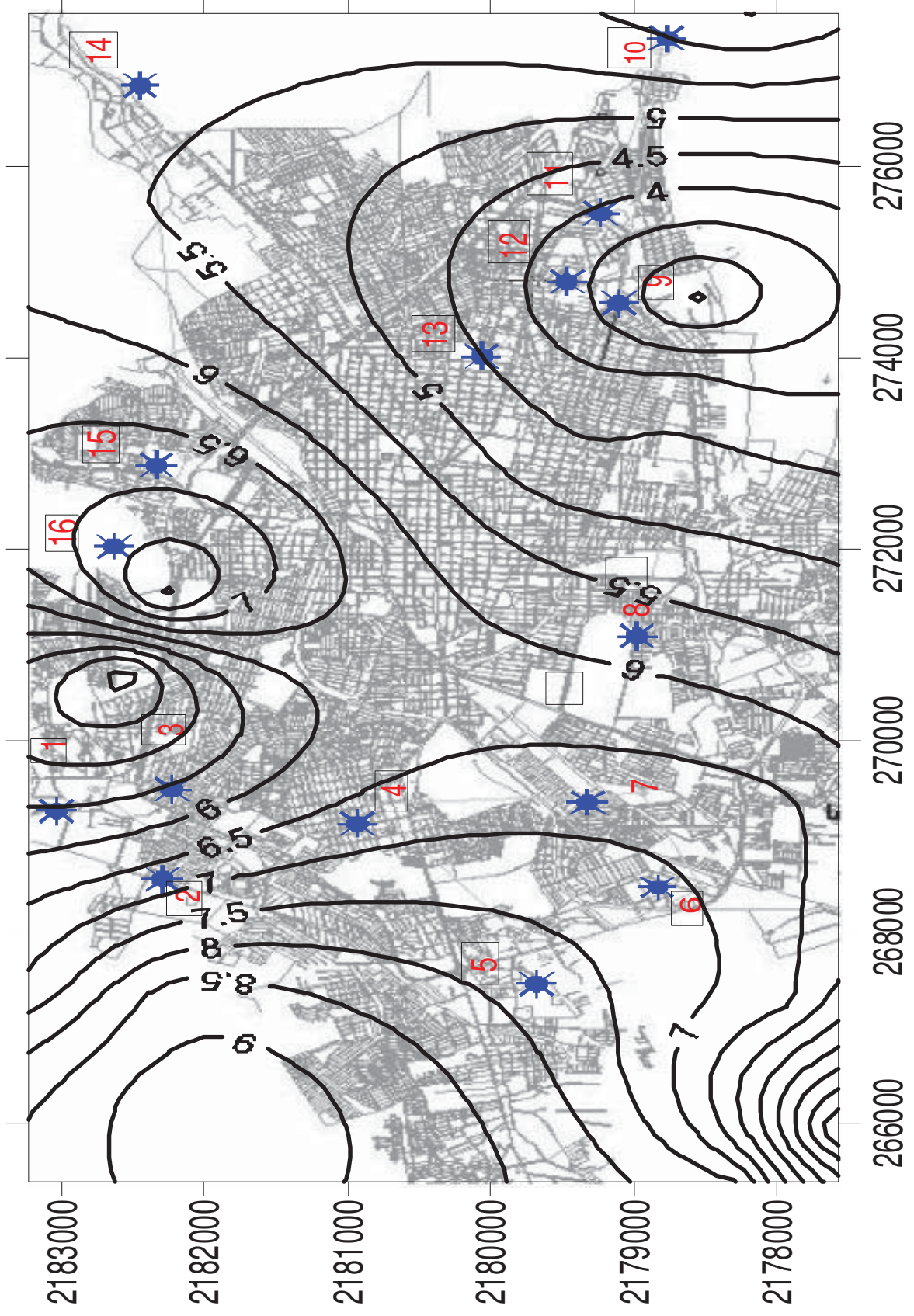


Figura 4.10.- Se muestra la distribución del Oxígeno Disuelto en la ciudad.

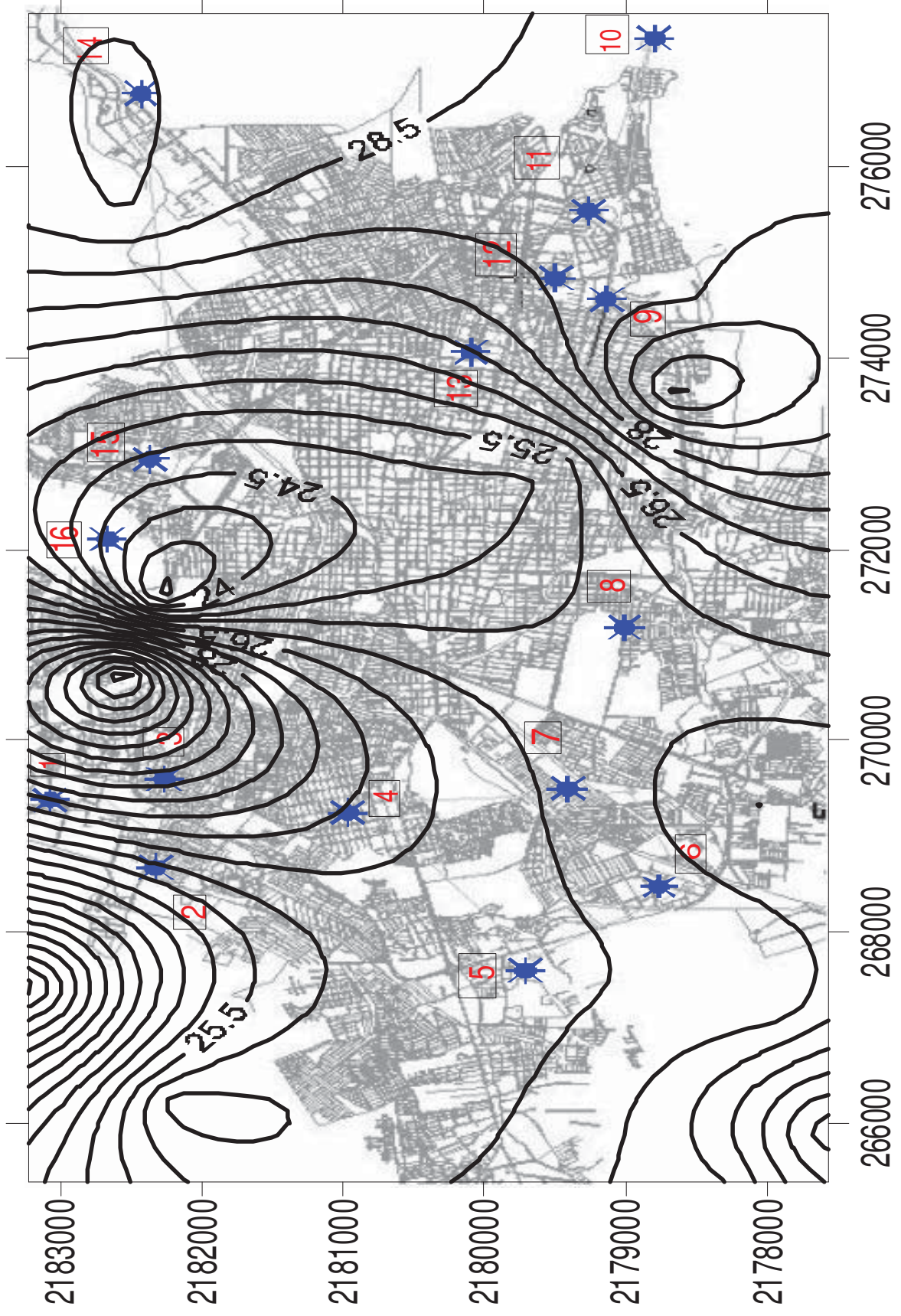


Figura 4.1.1.- Temperatura del agua en la ciudad de Morelia.

UMSNH

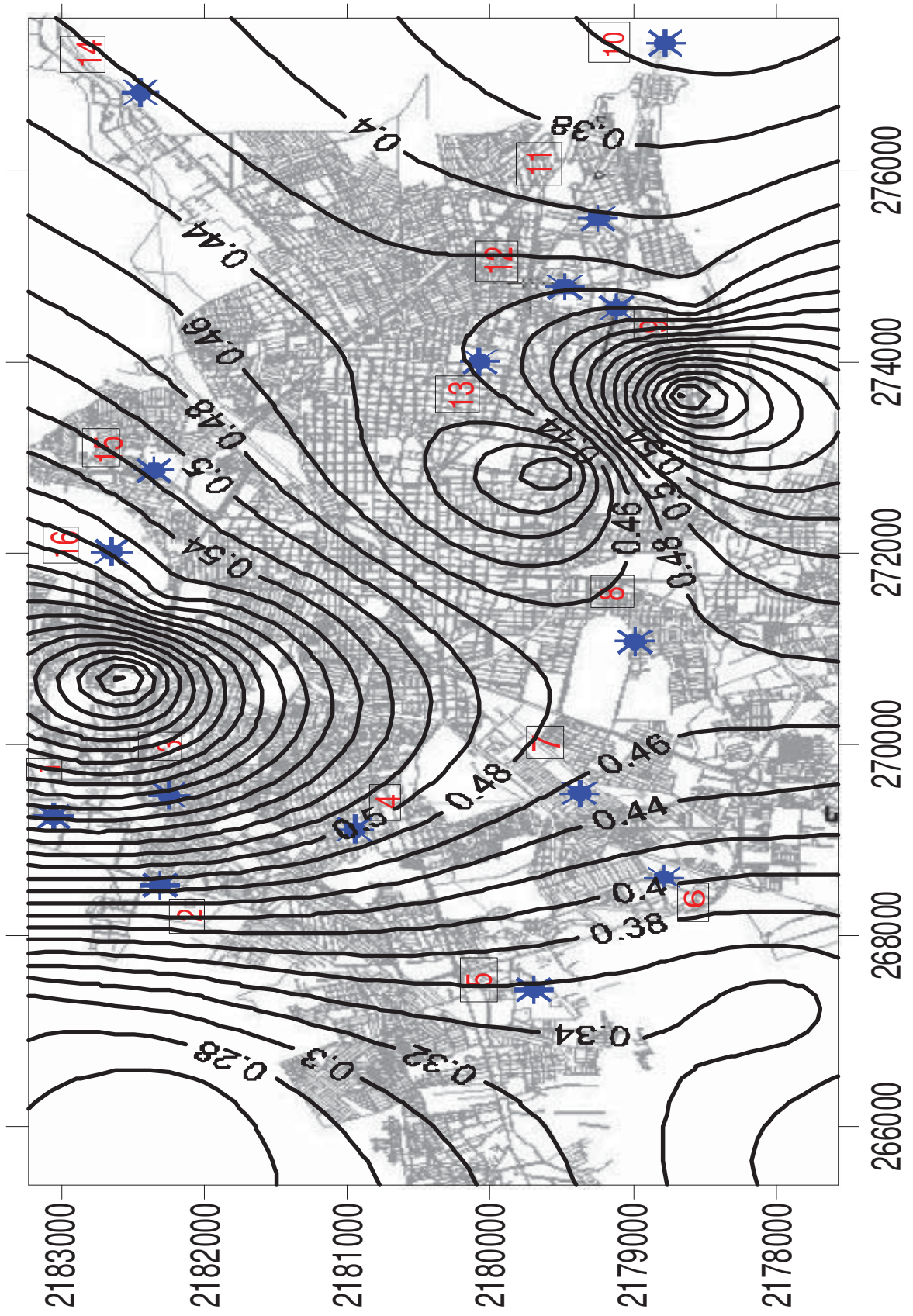


Figura 4.12.-Distribución de los Sólidos Disueltos Totales.

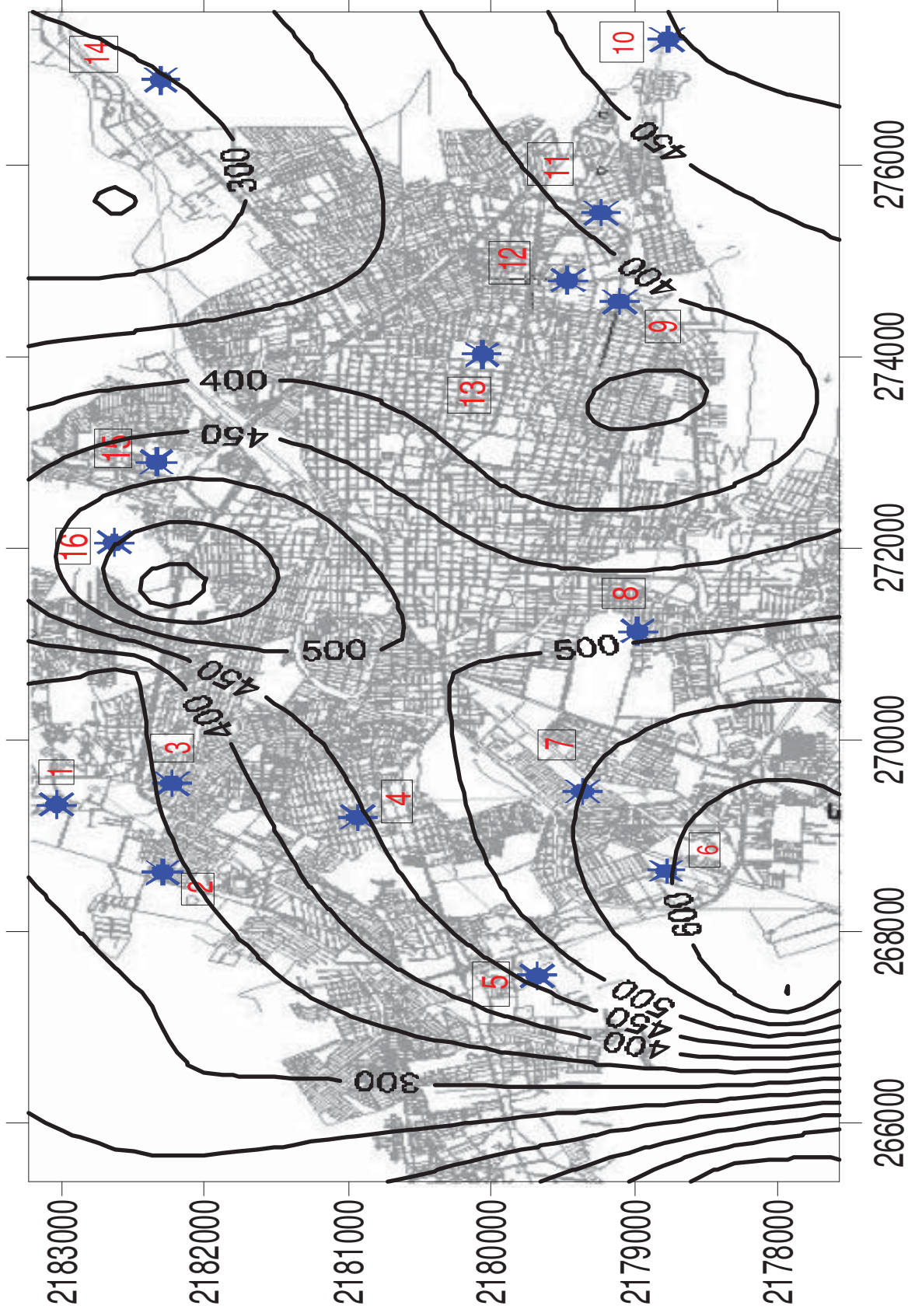


Figura 4.13.- Concentraciones de Potencial de Oxido Reducción en la zona de estudio

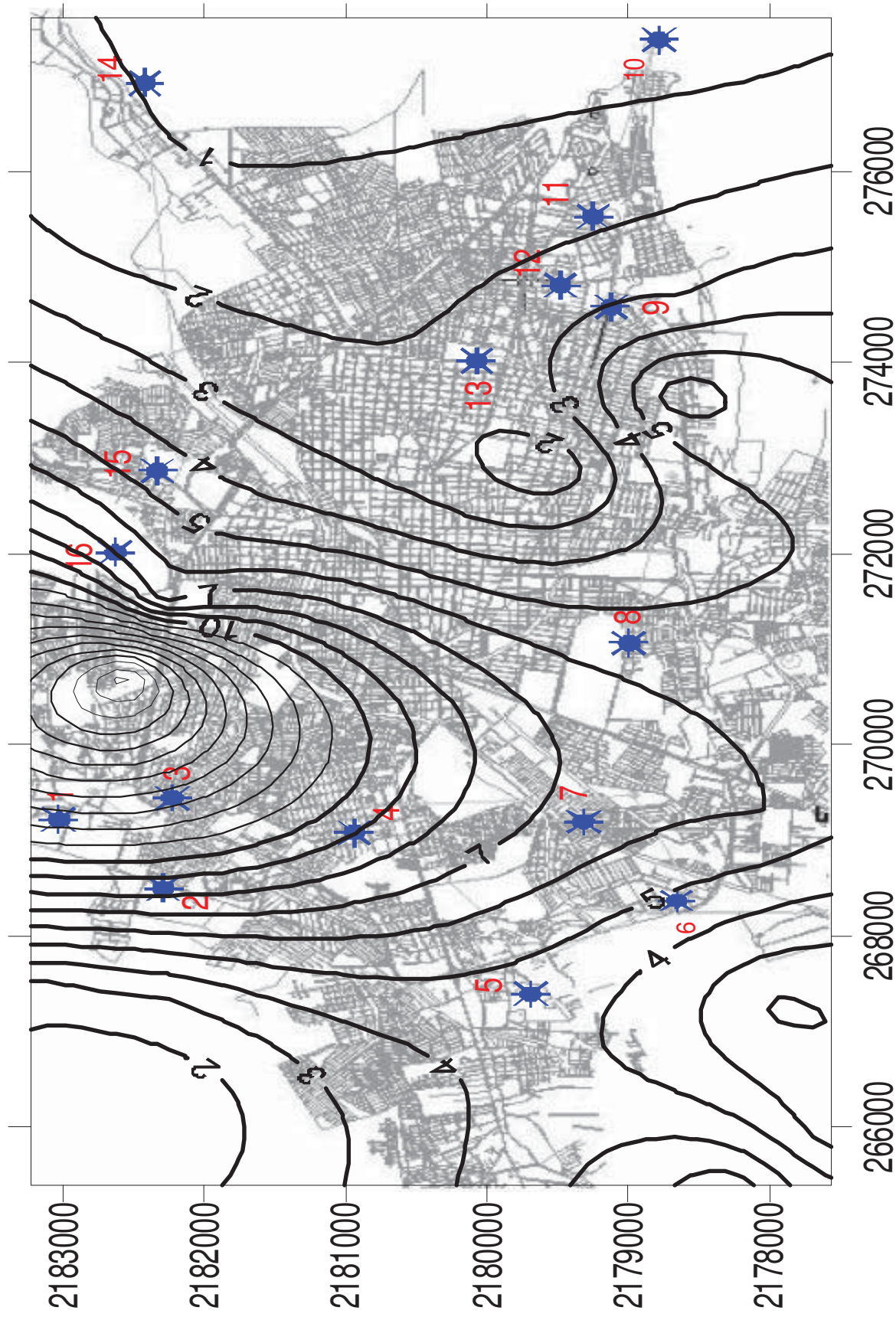


Figura 4.14.- Distribución del Cloro en la ciudad de Morelia.

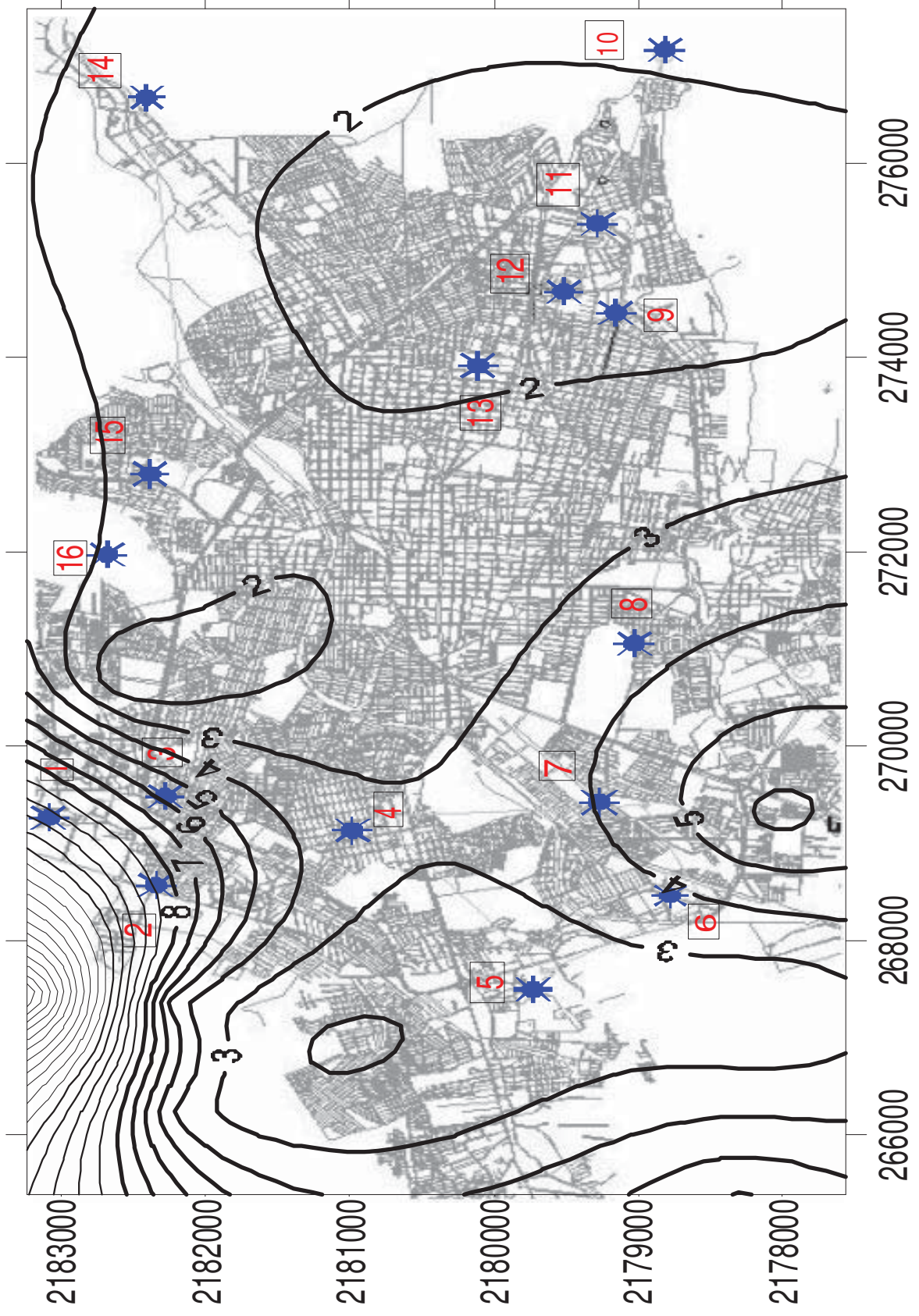


Figura 4.15.-Distribución del Calcio en la ciudad de Morelia.



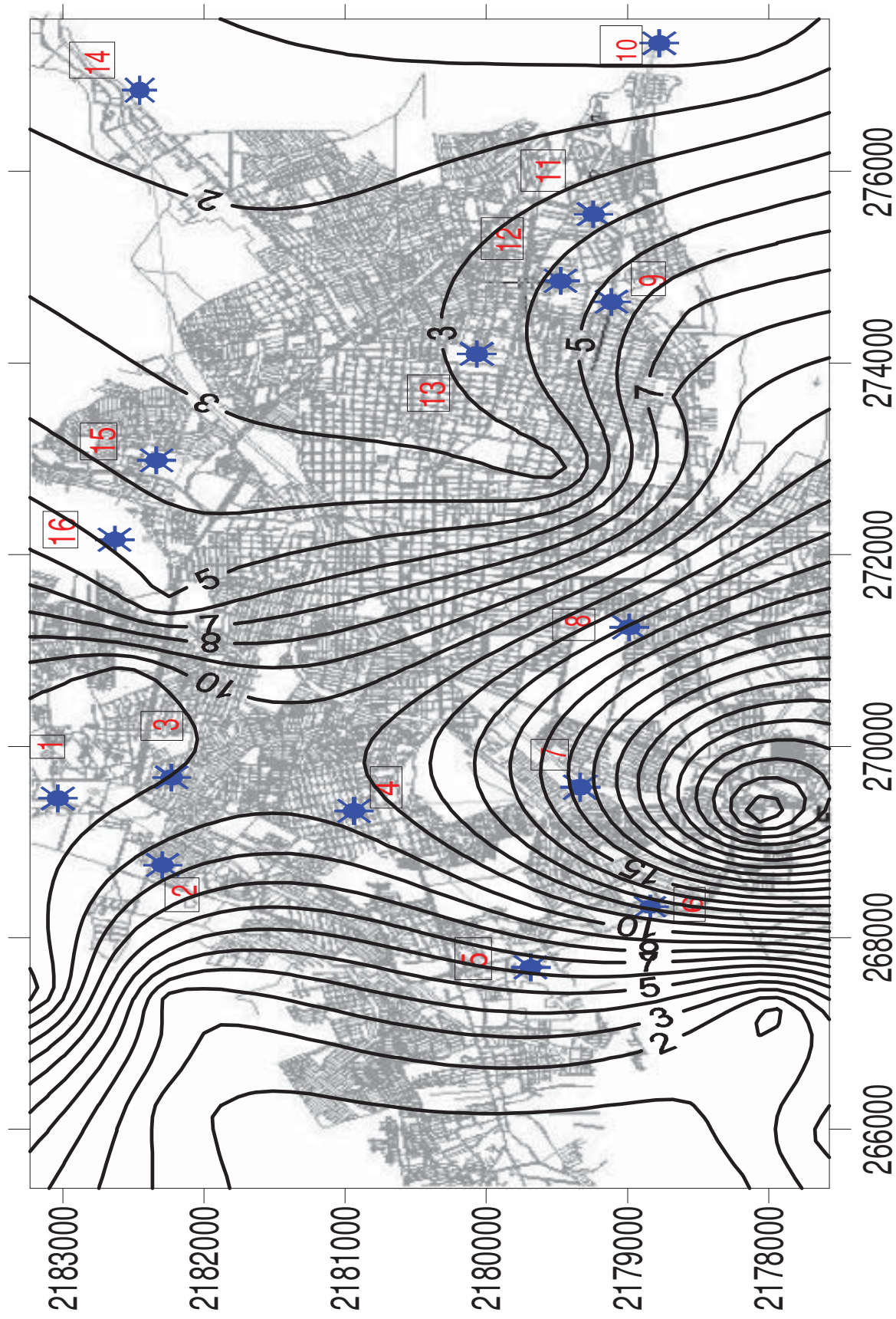


Figura 4.16.- Distribución del Nitrato en la ciudad de Morelia.

## **5.-CONCLUSIONES**

Después de analizar los parámetros obtenidos en este estudio como el pH, se encontró que para este parámetro en algunos casos se sale de lo establecido por la norma. También para la turbidez, se puede ver que en un caso el valor esta por encima del permitido. En la misma situación se encuentra el nitrato que en uno de los pozos monitoreados el valor esta por encima del limite máximo.

Se Puede concluir que aunque no todos los parámetros están por debajo del máximo permisible por la norma **NOM-127-SSA1-1994**, el agua de los pozos en general está en condiciones para consumo humano y no significa que aunque algunos parámetros en determinados pozos se salieron de lo establecido en la norma antes mencionada, el agua de ellos es mala o represente algún peligro para la salud de la población.

Se debe de tener muy presente que este estudio se realizó en un periodo de seis meses Julio-Diciembre y que es la época más húmeda del año. Se tendría que hacer el complemento del presente estudio en época de estiaje, que comprendería los meses de Enero-Junio, para poder dar resultados más particulares sobre la condición del agua de esta ciudad, ya que probablemente la concentración de los contaminantes seria mayor debido a que no tendrían la influencia de las lluvias que pudieran diluirlos.

Las actividades humanas son una de las principales razones por las cuales la calidad del agua se ve afectada, ya que el hombre no depura el agua con la suficiente velocidad con la que la contamina, provocando así un desequilibrio en el ciclo del agua.

La zona mas afectada de acuerdo a la calidad y con base en los resultados obtenidos en este estudio, es la norte, posiblemente debido a las inundaciones que se presentan año con año en esa zona en la época de lluvias, sumándole a esto que se pueden encontrar varios campos de cultivo en al zona y que probablemente los fertilizantes, plaguicidas y demás puedan llegar a filtrarse hasta los acuíferos.

# ANEXOS

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION".**

GUSTAVO OLAIZ FERNANDEZ, Director General de Salud Ambiental, por acuerdo del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 3o. fracción XIV, 13 apartado A fracción I, 118 fracción II y 119 fracción II de la Ley General de Salud; 38 fracción II, 40 fracción I y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 218, 224, 227 y demás aplicables del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios; 8o. fracción IV y 25 fracción V del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud, y

INDICE

0. INTRODUCCION
1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION
2. REFERENCIAS
3. DEFINICIONES
4. LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD DEL AGUA
5. TRATAMIENTOS PARA LA POTABILIZACION DEL AGUA
6. BIBLIOGRAFIA
7. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES
8. OBSERVANCIA DE LA NORMA
9. VIGENCIA

**0. Introducción**

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas.

---

*Pavel Madrigal Equihua/ F.I.C.*

Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor, se debe someter a tratamientos de potabilización.

### **1. Objetivo y campo de aplicación**

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

### **2. Referencias**

NOM-008-SCF1-1993 "Sistema General de Unidades de Medida".

### **3. Definiciones**

3.1 Ablandamiento: Proceso de remoción de los iones calcio y magnesio, principales causantes de la dureza del agua.

3.2 Adsorción: Remoción de iones y moléculas de una solución que presentan afinidad a un medio sólido adecuado, de forma tal que son separadas de la solución.

3.3 Agua para uso y consumo humano: Aquella que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos al ser humano.

3.4 Características bacteriológicas: Son aquellas debidas a microorganismos nocivos a la salud humana. Para efectos de control sanitario se determina el contenido de indicadores generales de contaminación microbiológica, específicamente organismos coliformes totales y organismos coliformes fecales.

3.5 Características físicas y organolépticas: Son aquellas que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, el sabor y olor se ponderan por medio de

los sentidos y el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.

3.6 Características químicas: Son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.

3.7 Características radiactivas: Son aquellas resultantes de la presencia de elementos radiactivos.

3.8 Coagulación química: Adición de compuestos químicos al agua, para alterar el estado físico de los sólidos disueltos, coloidales o suspendidos, a fin de facilitar su remoción por precipitación o filtración.

3.9 Contingencia: Situación de cambio imprevisto en las características del agua por contaminación externa, que ponga en riesgo la salud humana.

3.10 Desinfección: Destrucción de organismos patógenos por medio de la aplicación de productos químicos o procesos físicos.

3.11 Filtración: Remoción de partículas suspendidas en el agua, haciéndola fluir a través de un medio filtrante de porosidad adecuada.

3.12 Floculación: Aglomeración de partículas desestabilizadas en el proceso de coagulación química, a través de medios mecánicos o hidráulicos.

3.13 Intercambio iónico: Proceso de remoción de aniones o cationes específicos disueltos en el agua, a través de su reemplazo por aniones o cationes provenientes de un medio de intercambio, natural o sintético, con el que se pone en contacto.

3.14 Límite permisible: Concentración o contenido máximo o intervalo de valores de un componente, que garantiza que el agua será agradable a los sentidos y no causará efectos nocivos a la salud del consumidor.

3.15 Neutralización: Ajuste del pH, mediante la adición de agentes químicos básicos o ácidos al agua en su caso, con la finalidad de evitar incrustación o corrosión de materiales que puedan afectar su calidad.

3.16 Osmosis inversa: Proceso esencialmente físico para remoción de iones y moléculas disueltos en el agua, en el cual por medio de altas presiones se fuerza el paso de ella a través de una membrana semipermeable de porosidad específica, reteniéndose en dicha membrana los iones y moléculas de mayor tamaño.

3.17 Oxidación: Introducción de oxígeno en la molécula de ciertos compuestos para formar óxidos.

3.18 Potabilización: Conjunto de operaciones y procesos, físicos y/o químicos que se aplican al agua a fin de mejorar su calidad y hacerla apta para uso y consumo humano.

3.19 Precipitación: Proceso físico que consiste en la separación de las partículas suspendidas sedimentables del agua, por efecto gravitacional.

3.20 Sistema de abastecimiento: Conjunto intercomunicado o interconectado de fuentes, obras de captación, plantas cloradoras, plantas potabilizadoras, tanques de almacenamiento y regulación, cárcamos de bombeo, líneas de conducción y red de distribución.

#### **4. Límites permisibles de calidad del agua**

##### **4.1 Límites permisibles de características bacteriológicas**

El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido en la Tabla 1.

Bajo situaciones de emergencia, las autoridades competentes deben establecer los agentes biológicos nocivos a la salud a investigar.

TABLA 1

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 ml 2 UFC/100 ml
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100 ml Cero UFC/100 ml

Los resultados de los exámenes bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100 ml (número más probable por 100 ml), si se utiliza la técnica del número más probable o UFC/100 ml (unidades formadoras de colonias por 100 ml), si se utiliza la técnica de filtración por membrana.

#### 4.2 Límites permisibles de características físicas y organolépticas

Las características físicas y organolépticas deberán ajustarse a lo establecido en la Tabla 2.

TABLA 2

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.



### 4.3 Límites permisibles de características químicas

El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 3. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

TABLA 3

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN-)	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.50
Cloruros (como Cl-)	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros (como F-)	1.50
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Plaguicidas en microgramos/l: Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4 - D	50.00
Plomo	0.025
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> =)	400.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5.00

Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

#### 4.4 Límites permisibles de características radiactivas

El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 4. Los límites se expresan en Bq/l (Becquerel por litro).

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Radiactividad alfa global	0.1
Radiactividad beta global	1.0

### 5. Tratamientos para la potabilización del agua

La potabilización del agua proveniente de una fuente en particular, debe fundamentarse en estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para asegurar su efectividad.

Se deben aplicar los tratamientos específicos siguientes o los que resulten de las pruebas de tratabilidad, cuando los contaminantes biológicos, las características físicas y los constituyentes químicos del agua enlistados a continuación, excedan los límites permisibles establecidos en el apartado 4.

#### 5.1 Contaminación biológica

5.1.1 Bacterias, helmintos, protozoarios y virus.- Desinfección con cloro, compuestos de cloro, ozono o luz ultravioleta.

#### 5.2 Características físicas y organolépticas

5.2.1 Color, olor, sabor y turbiedad.- Coagulación-floculación-precipitación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos, adsorción en carbón activado u oxidación.

### 5.3 Constituyentes químicos

5.3.1 Arsénico.- Coagulación-floculación-precipitación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos, intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.2 Aluminio, bario, cadmio, cianuros, cobre, cromo total y plomo.- Intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.3 Cloruros.- Intercambio iónico, ósmosis inversa o destilación.

5.3.4 Dureza.- Ablandamiento químico o intercambio iónico.

5.3.5 Fenoles o compuestos fenólicos.- Adsorción en carbón activado u oxidación con ozono.

5.3.6 Hierro y/o manganeso.- Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.7 Fluoruros.- Ósmosis inversa o coagulación química.

5.3.8 Materia orgánica.- Oxidación-filtración o adsorción en carbón activado.

5.3.9 Mercurio.- Proceso convencional: coagulación-floculación-precipitación-filtración, cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/l. Procesos especiales: en carbón activado granular y ósmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/l; con carbón activado en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 microgramos/l.

5.3.10 Nitratos y nitritos.- Intercambio iónico o coagulación-floculación-sedimentación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos.

5.3.11 Nitrógeno amoniacal.- Coagulación-floculación-sedimentación-filtración, desgasificación o desorción en columna.

5.3.12 pH (potencial de hidrógeno).- Neutralización.

5.3.13 Plaguicidas.- Adsorción en carbón activado granular.

5.3.14 Sodio.- Intercambio iónico.

5.3.15 Sólidos disueltos totales.- Coagulación-floculación-sedimentación-filtración y/o intercambio iónico.

5.3.16 Sulfatos.-Intercambio iónico u ósmosis inversa.

5.3.17 Sustancias activas al azul de metileno.- Adsorción en carbón activado.

5.3.18 Trihalometanos.- Aireación u oxidación con ozono y adsorción en carbón activado granular.

5.3.19 Zinc.- Destilación o intercambio iónico.

5.3.20 En el caso de contingencia, resultado de la presencia de sustancias especificadas o no especificadas en el apartado 4, se deben coordinar con la autoridad sanitaria competente, las autoridades locales, la Comisión Nacional del Agua, los responsables del abastecimiento y los particulares, instituciones públicas o empresas privadas involucrados en la contingencia, para determinar las acciones que se deben realizar con relación al abastecimiento de agua a la población.

## **6. Bibliografía**

6.1 "Desinfección del Agua". Oscar Cáceres López. Lima, Perú. Ministerio de Salud. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. 1990.

6.2 "Guías para la Calidad del Agua Potable". Volumen 1. Recomendaciones. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. 1985.

6.3 "Guías para la Calidad del Agua Potable". Volumen 2. Criterios relativos a la salud y otra información de base. Organización Panamericana de la Salud. 1987.

6.4 "Guía para la Redacción, Estructuración y Presentación de las Normas Oficiales Mexicanas". Proyecto de Revisión. SECOFI. 1992.

6.5 "Guide to Selection of Water Treatment Processes". Carl L. Hamann Jr., P.E. J. Brock Mc. Ewen, P.E. Anthony G. Meyers, P.E.

6.6 "Ingeniería Ambiental". Revista No. 23. Año 7. 1994.

6.7 "Ingeniería Sanitaria Aplicada a la Salud Pública". Francisco Unda Opazo. UTEHA 1969.

6.8 "Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales". Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales. Gordon M. Fair, John C. Geyer, Daniel A. Okun. Limusa Wiley. 1971.

6.9 "Instructivo para la Vigilancia y Certificación de la Calidad Sanitaria del Agua para Consumo Humano". Comisión Interna de Salud Ambiental y Ocupacional. Secretaría de Salud. 1987.

6.10 "Integrated Design of Water Treatment Facilities". Susumu Kawamura. John Willey and Sons, Inc. 1991.

6.11 "Manual de Normas de Calidad para Agua Potable". Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. 1982.

6.12 "Manual de Normas Técnicas para el Proyecto de Plantas Potabilizadoras". Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. 1979.

6.13 "Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios". Diario Oficial de la Federación. 18 de enero de 1988.

6.14 "Revision of the WHO Guidelines for Drinking-Water Quality". IPS. International Programme on Chemical Safety. United Nations Environment Programme. International Labour Organization. World Health Organization. 1991.

6.15 "WHO Guidelines for Drinking-Water Quality". Volume 1. Recommendations. World Health Organization. 1992.

6.16 "WHO Guidelines for Drinking-Water Quality". Volume 2. Health Criteria and Other Supporting Information. Chapter 1: Microbiological Aspects. United Nations Environment Programme. International Labour Organization. World Health Organization. 1992.

## **7. Concordancia con normas internacionales**

Al momento de la emisión de esta Norma no se encontró concordancia con normas internacionales.

## **8. Observancia de la Norma**

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para los organismos operadores de los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que distribuya agua para uso y consumo humano.

La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Salud y a los gobiernos de las entidades federativas en coordinación con la Comisión Nacional del Agua, en sus respectivos ámbitos de competencia.

### **9. Vigencia**

La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor con carácter de obligatorio, al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D.F., a 30 de noviembre de 1995.- El Director General de Salud Ambiental, Gustavo Olaiz Fernández.- Rúbrica.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Appelo, C.A.J. Y Postma, D. (1993).- "Geochemistry, Groundwater and Pollution". Ed. A.A. Balkema. Rotterdam/Brookfield. Págs. 73-91

Arreygue Rocha E., (2004) Garduño Monroy V. H. Canuti P., Casagli N. e lotty A. Inundaciones Históricas y potenciales de la ciudad de Morelia, relacionadas con el Río Chiquito Págs. 225-240

Craig N. C. (1996). Entropy Diagrams. Journal of Chemical Education. Pags 356-418

Domenico, P.A., Schwartz (1972), Concepts and models in groundwater hydrology: New York, McGraw-Hill Book Company, 405 p.

Davis, S.N. y DE Wiest, R.J.M. (1966). - "Hydrogeology". Ed. John Wiley and Sons, (trad. castellana: Ed. Ariel). Págs. 124-146

López Guillen J. L. (2005) Localización del terreno para la construcción de un Basurero en la ciudad de Uruapan Michoacán. Tesis de licenciatura. Págs. 25-37

Organización Mundial de la Salud, 1989, 1982, 1984, 1987.

Reyes Ruvalcaba A. (1988) estudio de calidad del agua para la ciudad de Lima, Perú. Págs.137-186.

Rodríguez Castro J.: Modelo Preliminar del Acuífero de Morelia.

Schoeller, H. y Aigrot, M.: (1963) La fontaine de Vaucluse. IASH. Asociación Internacional de Ideología Científica. Symposium de Berna pub. Págs. 196-218



**Sitios en Internet**

**[www.contaminacionradioactiva.com](http://www.contaminacionradioactiva.com) (2004)**

**[www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)**

**[www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)**

**[www.segan-gea.org](http://www.segan-gea.org)**

**[www.municipiosmich.gob.mx](http://www.municipiosmich.gob.mx)**

**[www.oms.org.mx](http://www.oms.org.mx)**

**[www.unicef.org](http://www.unicef.org). (1980, 1982, 1998)**