

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**DETERMINACION DE *E. Coli* y METALES PESADOS, COMO INDICADORES DE  
CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL ARROYO  
CERRO GORDO DEL MUNICIPIO DE HIDALGO, DURANGO.**

POR:

**JOSÉ MARTÍN MIRANDA GÓMEZ**

**TESIS**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

Torreón, Coahuila, México

Febrero de 2010.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA**

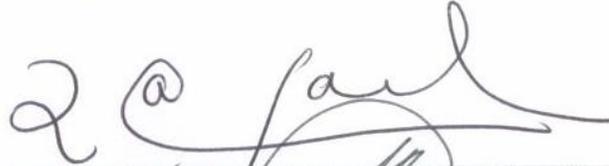
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**DETERMINACION DE *E. Coli* y METALES PESADOS, COMO INDICADORES DE  
CONTAMINACION AMBIENTAL EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL ARROYO  
CERRO GORDO DEL MUNICIPIO DE HIDALGO, DURANGO.**

TESIS DEL C. **JOSÉ MARTÍN MIRANDA GÓMEZ** ELABORADA BAJO LA  
SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA Y APROBADA COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

APROBADA POR:



ASESOR PRINCIPAL:

MCA. Rafael Ávila Cisneros

ASESOR:

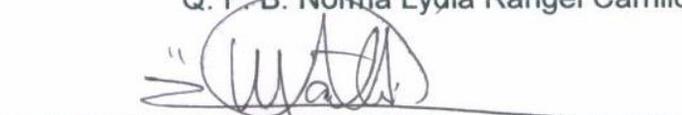
DR. Juan Leonardo Rocha Valdez

ASESOR:

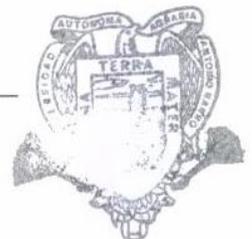
I.I.Q. Elba Margarita Aguilar Medrano

ASESOR:

Q. F. B. Norma Lydia Rangel Carrillo



MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO



Coordinación de la División  
de Carreras Agronómicas

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

Torreón, Coahuila, México

Febrero 2010.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

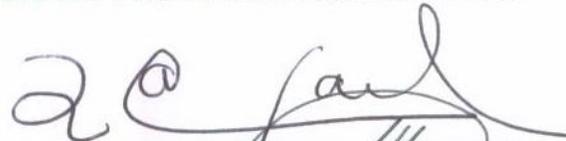
**DETERMINACION DE *E. Coli* y METALES PESADOS, COMO INDICADORES DE  
CONTAMINACION AMBIENTAL EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL ARROYO  
CERRO GORDO DEL MUNICIPIO DE HIDALGO, DURANGO.**

TESIS DEL C. **JOSÉ MARTÍN MIRANDA GÓMEZ** QUE SOMETE A LA  
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

COMITÉ PARTICULAR:

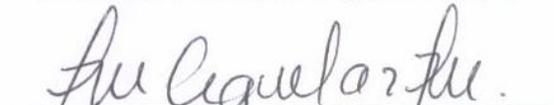
PRESIDENTE:

  
MCA. Rafael Avila Cisneros

VOCAL:

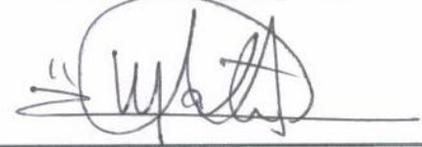
DR. Juan Leonardo Rocha Valdez

VOCAL:

  
I. I. Q. Elba Margarita Aguilar Medrano

VOCAL SUPLENTE:

Dr. Luis Javier Hermosillo Salazar

  
MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO



**COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

Coordinación de la División  
de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México

Febrero 2010.

## DEDICATORIAS

Este trabajo se lo dedico a mis tres queridos padres, el **Sr. José Martín Miranda Perales**, el **Sr. Guillermo Gómez Carrillo** y la **Sra. Luz Ma. Gómez Carrillo** por ser las personas que me dieron la vida, me protegieron cuando cuando era muy pequeño y debil, me compartieron de su sabiduría y sobre todo su amor, también por ser un gran ejemplo a seguir y sobre todo por brindarme su confianza y tratando de convertirme en un hombre de bien y en este trabajo quiero agradecerles por todo bueno

También quiero dedicar este libro a mi apreciable hermano **Esaú Miranda Gómez** por ser también mi amigo y confidente. Por último quiero mencionar a una persona muy especial **Krisna Selene Reyes Días**, por estar a mi lado, en los buenos y malos momentos apoyarme incondicionalmente y también por aconsejarme, darme fortaleza y brindarme su amor. Siempre estaré agradecido con todos ustedes.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios** por cuidarme y guiarme siempre por el camino

**A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, mi ALMA TERRA MATER**, por formarme como profesionista y haberme permitido terminar la ingeniería satisfactoriamente.

**A mis asesores:** Al **MCA. Rafael Ávila Cisneros** y al **DR. Juan Leonardo Rocha Valdez**, por proporcionarme las bases y herramientas necesarias, así como también su apoyo y conocimientos durante mi carrera y permitirme participar como tesista en este trabajo de investigación, el cual me lleva a una superación académica y personal.

A la **I. I. Q. Elba Margarita Aguilar Medrano**, por su gran ayuda y comprensión durante la mencionada investigación, en donde sin cooperación no hubiera podido lograrlo.

**A mi Familia**, Por quererme, ayudarme, brindarme su confianza y hacer de mí una persona con valores.

**A mis amigos**, Por sus consejos y compañía tanto en buenos y malos momentos.

**A mis compañeros de generación**, Por convivir estos cuatro años y medio juntos, compartir su cultura y conocimientos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	III
ÍNDICE DE CUADROS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	XIV
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Justificación.....	2
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Hipótesis.....	4
<b>2 REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Disponibilidad e importancia del agua en el mundo.....	5
2.1.1 Aspectos socioeconómicos y demográficos.....	7
2.1.2 Disponibilidad del agua.....	9
2.1.3 Huella hídrica.....	9
2.1.4 Agua virtual.....	11
2.1.5 Grado de presión sobre los recursos hídricos.....	12
2.1.6 Agua y salud.....	13
2.2 Disponibilidad e importancia del agua en México.....	16
2.2.1 Aspectos geográficos y demográficos.....	16
2.2.2 Contraste regional entre el desarrollo y la disponibilidad de agua....	18
2.3 Situación de los recursos hídricos en México.....	19
2.3.1 Las cuencas y acuíferos del país.....	19
2.3.2 Características de regiones hidrológicas de Durango.....	22
2.3.3 Disponibilidad natural media de agua.....	22
2.3.3.1 Precipitación pluvial.....	25
2.3.4 Aguas superficiales.....	28
2.3.4.1 Ríos.....	28

2.3.5	Aguas subterráneas.....	30
2.3.5.1	Sobre explotación de acuíferos.....	31
2.4	Usos del agua en México .....	32
2.4.1	Uso agrícola.....	34
2.4.2	Uso para abastecimiento público.....	34
2.4.3	Uso en industria abastecida.....	34
2.4.4	Uso en termoeléctricas.....	35
2.4.5	Uso en hidroeléctricas.....	35
2.4.6	Grado de presión sobre el recurso.....	36
2.4.7	Agua virtual en México.....	37
2.5	Infraestructura hidráulica de México.....	38
2.5.1	Infraestructura hidráulica del país.....	38
2.5.2	Principales presas de México.....	38
2.5.3	Infraestructura de agua potable y alcantarillado en México.....	45
2.5.3.1	Cobertura de agua potable en México.....	45
2.5.3.2	Cobertura de alcantarillado en México.....	45
2.5.3.3	Plantas potabilizadoras en México.....	49
2.6	Indicadores ambientales de contaminación del agua en México.....	51
2.6.1	Definición de biomonitoreo.....	52
2.6.2	Definición de calidad biológica.....	53
2.6.3	Definición de Indicador.....	53
2.6.4	Bioindicadores.....	53
2.6.4.1	Antecedentes de los bioindicadores.....	55
2.6.4.2	Importancia de los indicadores.....	56
2.6.4.3	Características de un microorganismo indicador de contaminación fecal.....	56
2.6.4.4	Las ventajas del uso de bioindicadores como herramienta para determinar la calidad de agua.....	57
2.6.4.5	Limitaciones de los bioindicadores.....	57
2.6.5	Principios básicos que deben respetar los indicadores para que, sean de utilidad.....	57

2.6.6	Criterio de selección de los indicadores ambientales.....	58
2.6.7	Grupos de organismos que se emplean como bioindicadores de la calidad del agua.....	59
2.6.7.1	Bacterias.....	59
2.6.7.2	Fitoplancton.....	59
2.6.7.3	Macroinvertebrados bentónicos.....	60
2.6.7.4	Parásitos.....	61
2.6.7.5	Patógenos emergentes.....	61
2.6.7.5.1	<i>Cianobacterias</i> .....	61
2.6.7.5.2	<i>Campilobacter</i> .....	62
2.6.7.6	Peces.....	62
2.6.7.7	Virus.....	62
2.6.8	Índice ambiental.....	63
2.6.8.1	Índice bióticos.....	64
2.6.8.2	Algunos otros índices que se emplean exclusivamente, para la evaluación de la calidad del agua.....	65
2.6.8.3	<i>Escherichia coli</i> como indicador de contaminación fecal.....	65
2.7	Contaminación ambiental por metales pesados en México.....	66
2.7.1	Definición de metal pesado.....	67
2.7.2	Antecedentes sobre la contaminación por metales pesados, en el mundo.....	67
2.7.3	Situación en México.....	69
2.7.4	Principales metales pesados contaminantes.....	70
2.7.4.1	Contaminación ambiental por plomo en México.....	71
2.7.4.1.1	Definición de plomo.....	71
2.7.4.1.2	Antecedentes del plomo.....	71
2.7.4.1.3	Fuentes de contaminación por plomo.....	71
2.7.4.1.4	Toxicidad del plomo.....	72
2.7.4.1.5	Efectos en exposición al plomo.....	72
2.7.4.1.6	Población en peligro.....	73

2.7.4.1.7	Rendimiento de algunos cultivos en presencia del plomo.....	74
2.7.4.1.8	Recomendaciones.....	75
2.7.4.1.9	Situación del plomo en Durango y Coahuila.....	75
2.7.4.2	Contaminación ambiental por arsénico.....	75
2.7.4.2.1	Definición de arsénico.....	75
2.7.4.2.2	Antecedentes de arsénico en el mundo.....	76
2.7.4.2.3	Toxicidad de arsénico.....	77
2.7.4.2.4	Sintomatología por efecto del arsénico.....	78
2.7.4.2.5	Principales fuentes de contaminación por, arsénico.....	78
2.7.5	Costos ambientales de la explotación intensiva.....	78
2.8	Tratamiento y reúso del agua en México.....	79
2.8.1	Descarga de agua residual.....	79
2.8.2	Tratamiento de aguas residuales.....	79
2.8.3	Plantas de tratamiento de agua residuales industriales.....	83
2.8.4	Reúso del agua residual.....	85
2.9	Instrumentos de gestión del agua en México.....	86
2.9.1	Instituciones relacionadas con el agua en México.....	86
2.9.2	Marco jurídico para el uso de las aguas nacionales.....	89
2.9.3	Normas mexicanas relacionadas con el agua.....	89
2.9.3.1	Normas oficiales mexicanas ecológicas y del sector agua.....	89
2.9.3.2	Normas oficiales mexicanas de la secretaría de salud.....	93
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	95
3.1	Descripción del área de estudio.....	95
3.1.1	Localización.....	95
3.1.2	Extensión territorial.....	96
3.1.3	Hidrografía.....	97
3.1.4	Clima.....	98

3.1.5	Características y uso del suelo.....	98
3.2	Recolección de las muestras de agua.....	98
3.2.1	Recolección de la muestra No. 1.....	99
3.2.2	Recolección de la muestra No. 2.....	99
3.2.3	Recolección de la muestra No. 3.....	99
3.2.4	Recolección de la muestra No. 4.....	99
3.2.5	Recolección de la muestra No. 5.....	99
3.2.6	Recolección de la muestra No. 6.....	100
3.2.7	Recolección de la muestra No. 7.....	100
3.3	Análisis de las muestras de agua.....	100
3.3.1	Análisis químico del agua.....	101
3.3.1.1	Determinación de pH.....	101
3.3.1.2	Determinación de arsénico (As).....	101
3.3.1.2.1	Método de determinación.....	102
3.3.1.3	Determinación de plomo (Pb).....	102
3.3.2	Análisis microbiológico del agua.....	103
3.3.2.1	Determinación de <i>Escherichia coli</i> .....	103
3.3.2.1.1	Método.....	103
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	104
4.1	Resultados obtenidos de los análisis químicos y microbiológicos	
4.1.1	Comparación de los resultados con los LMP de agua para consumo humano .....	109
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	113
6	BIBLIOGRAFIA.....	116

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Mayores centros de población del mundo, según población total, en el año 2007.....	8
<b>Cuadro 2.</b> Países del mundo con mayor población, en el año 2005.....	8
<b>Cuadro 3.</b> Países con mayor disponibilidad media per cápita en el año 2007.....	9
<b>Cuadro 4.</b> Países con mayor grado de presión sobre los recursos hídricos, en el año 2008.....	12
<b>Cuadro 5.</b> Decesos relacionados con los temas de agua, saneamiento e higiene en el año 2002.....	14
<b>Cuadro 6.</b> Países con mayor proporción de decesos de origen hídrico, en el año 2002.....	15
<b>Cuadro 7.</b> Ubicación y extensión territorial de México.....	17
<b>Cuadro 8.</b> Distribución de la población, por tamaño de localidad, en el año 2005.....	18
<b>Cuadro 9.</b> Número de estaciones climatológicas e hidrométricas en México, en el año 2007.....	22
<b>Cuadro 10.</b> Características de regiones hidrológicas de Durango.....	22
<b>Cuadro 11.</b> Disponibilidad natural media per cápita, por región hidrológico-administrativa, en el año 2007.....	25
<b>Cuadro 12.</b> Precipitación pluvial normal mensual, por región hidrológico-administrativa, en el periodo de 1971-2000.....	26
<b>Cuadro 13.</b> Precipitación pluvial normal mensual por entidad federativa, en el periodo de 1971-2000.....	27

<b>Cuadro 14.</b> Características de los ríos principales de la Vertiente del Pacífico y Golfo de California, jerarquizados por escurrimiento natural medio superficial.....	29
<b>Cuadro 15.</b> Acuíferos del país, por región hidrológico-administrativa, en el año 2007.....	31
<b>Cuadro 16.</b> Sobre explotación del acuífero en Villa Hidalgo, Durango, en el año 2007.....	32
<b>Cuadro 17.</b> Volumen concesionado para usos consuntivos, por entidad federativa, en el año 2007.....	33
<b>Cuadro 18.</b> Generación de energía termoeléctrica y capacidad instalada, serie anual de 1999 a 2007.....	35
<b>Cuadro 19.</b> Grado de presión sobre el recurso hídrico, por región hidrológico-administrativa, en el año 2007.....	36
<b>Cuadro 20.</b> Capacidad de almacenamiento y uso de las principales presas de México, en el año 2007.....	42
<b>Cuadro 21.</b> Composición de la cobertura nacional de agua potable, serie de datos censales de 1990 a 2005.....	45
<b>Cuadro 22.</b> Composición de la cobertura nacional de agua potable, serie de datos censales de 1990 a 2005.....	46
<b>Cuadro 23.</b> Cobertura de la población con agua potable y alcantillado, según ámbito urbano y rural en México, serie de años censales de 1990 a 2005.....	46
<b>Cuadro 24.</b> Cobertura de la población con agua potable y alcantillado, según ámbito urbano y rural en México, serie de años censales de 1990 a 2005.....	47
<b>Cuadro 25.</b> Cobertura de la población con servicio de agua potable y alcantarillado por entidad federativa, serie de años censales de 1990 a 2005.....	48

<b>Cuadro 26.</b> Plantas potabilizadoras en operación, por región hidrológico-Administrativa, en el año 2007.....	49
<b>Cuadro 27.</b> Plantas potabilizadoras en operación por entidad federativa, en el año 2007.....	50
<b>Cuadro 28.</b> Plantas potabilizadoras en operación por entidad federativa, en el año 2007.....	51
<b>Cuadro 29.</b> Descargas de aguas residuales municipales y no municipales, en el año 2007.....	80
<b>Cuadro 30.</b> Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación, por región hidrológico-administrativa .....	81
<b>Cuadro 31.</b> Plantas de tratamiento de aguas residuales industriales en operación por entidad federativa, en el año 2007.....	84
<b>Cuadro 32.</b> Tipos de tratamiento de aguas residuales industriales, en el año 2007.....	85
<b>Cuadro 33.</b> Instituciones y organismos con los que se coordina la CNA en el año 2007.....	87
<b>Cuadro 34.</b> Fechas de cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996.....	89
<b>Cuadro 35.</b> Resultados de los análisis químicos, de la muestra “Puente carretera a San Fermín”.....	104
<b>Cuadro 36.</b> Resultados de los análisis químicos, de la muestra “Aguas abajo San Fermín”.....	105
<b>Cuadro 37.</b> Resultados de los análisis químicos, de la muestra “Aguas Abajo Villa Hidalgo” .....	106
<b>Cuadro 38.</b> Resultados de los análisis químicos, de la muestra “Presa Villa Hidalgo”.....	106
<b>Cuadro 39.</b> Resultados de los análisis químicos, de la muestra “Puente los Metates” .....	107

<b>Cuadro 40.</b> Resultados de los análisis químicos, de la muestra “Puente del Ejido El Portento” .....	107
<b>Cuadro 41.</b> Resultados de los análisis químicos, de la muestra “Aguas abajo El Portento” .....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Comportamiento de la población mundial por sectores urbano y rural, en el periodo 1950-2010.....	7
<b>Figura 2.</b> Huella hídrica de países seleccionados, en el periodo 1997-2001.....	10
<b>Figura 3.</b> Volumen medio de agua utilizada para producir alimentos seleccionados.....	12
<b>Figura 4.</b> Población de México, en el periodo de 1950 a 2005.....	17
<b>Figura 5.</b> Contraste regional entre el desarrollo y la disponibilidad del agua, en el año 2007.....	19
<b>Figura 6.</b> Regiones hidrológicas de México.....	20
<b>Figura 7.</b> Delimitación de acuíferos por región hidrológica administrativa.....	21
<b>Figura 8.</b> Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico en México en el periodo de 1971-2000.....	23
<b>Figura 9.</b> Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico en México en el periodo de 1950-2005.....	24
<b>Figura 10.</b> Precipitación pluvial normal mensual histórica en México, en el periodo de 1941 a 2000.....	26
<b>Figura 11.</b> Distribución de la precipitación pluvial anual en México del año 1971 al 2000.....	28
<b>Figura 12.</b> Acuíferos del país, por región hidrológico-administrativa, en el año 2007.....	32

<b>Figura 13.</b> Grado de presión sobre el recurso hídrico por región hidrológico-Administrativa, en el año 2007.....	37
<b>Figura 14.</b> Volumen almacenado en las principales presas de México, serie anual de 1990 a 2007.....	39
<b>Figura 15.</b> Porcentaje de almacenamiento por región hidrológico administrativa en las principales presas de México, serie anual de 1990 a 2007.....	39
<b>Figura 16.</b> Principales presas en México por su capacidad de almacenamiento, en el año 2007.....	41
<b>Figura 17.</b> Caudal de aguas potabilizadas, serie anual 1996 a 2007.....	49
<b>Figura 18.</b> Caudal de aguas residuales municipales tratadas, serie anual de 1996 a 2007.....	80
<b>Figura 19.</b> Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales a diciembre de 2007.....	82
<b>Figura 20.</b> Caudal de aguas residuales industriales tratadas, serie anual de 1996 a 2007.....	83
<b>Figura 21.</b> Rehúso de agua residual municipal y no municipal, en el año 2007...	86
<b>Figura 22.</b> Localización del municipio de Villa Hidalgo, Durango. Vista Satelital.	96
<b>Figura 23.</b> Localización del municipio de Villa Hidalgo, Durango. En Mapa.....	97
<b>Figura 24.</b> Comparaciones entre los resultados obtenidos de las siete muestras contra el límite máximo permisible de pH para el agua de consumo humano establecido por la NOM-127-SSA-1994.....	109
<b>Figura 25.</b> Comparaciones entre los resultados obtenidos de las siete muestras contra el límite máximo permisible de arsénico para el agua de consumo	

humano establecido por la NOM-127-SSA-1994..... 110

**Figura 26.** Comparaciones entre los resultados obtenidos de las siete muestras contra el límite máximo permisible de plomo para el agua de consumo humano establecido por la NOM-127-SSA-1994..... 111

**Figura 27.** Comparaciones entre los resultados obtenidos de las siete muestras contra el límite máximo permisible de *Escherichia coli* para el agua de consumo humano establecido por la NOM-127-SSA-1994..... 112

## RESUMEN

La presente investigación se llevó a efecto en la cuenca hidrológica del Arroyo Cerro Gordo, que se encuentra ubicado en la parte norte del estado de Durango. El cual tiene como objetivo conocer algunas características físico-químicas de siete muestras diferentes de agua mediante una muestra representativa. Los parámetros evaluados en las muestras de agua en relación a sus características físicas fueron: pH, determinación de arsénico (As) y plomo (Pb), y análisis de presencia de *Escherichia coli*, la evaluación de dichos parámetros se llevó a cabo mediante un análisis químico que se les realizó a las muestras de agua en el laboratorio de suelos y el laboratorio de agroecología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna utilizando los siguientes métodos analíticos: determinación del pH por medio del potenciómetro modelo 420A de la marca ORION; se utilizó un test (reactor indicador) para la obtención del arsénico (As), para la determinación de plomo (Pb) se utilizó un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Modelo 2380, y por ultimo para determinación de *Escherichia Coli* se basó en la NOM-112-SSA1.

Calculando una media de los resultados obtenidos en el análisis de las 5 muestras de agua se obtuvo los siguientes; arsénico (As) = 0.09 ppm, plomo (Pb) = 0,03 ppm, pH = 7.68 y en cuanto a *Escherichia coli* = 0 NMP/100ml. Como conclusión y de acuerdo con la NOM-127-SSA1 se puede decir que el agua del Arroyo Cerro Gordo se encuentra por encima de los límites máximos permisibles uso y consumo de arsénico y plomo. También se puede decir que la gran cantidad de ganado bovino no representa aún problema por *Escherichia coli*. Para tal efecto como recomendaciones se puede sugerir una nueva línea de estudio, del ¿por qué el plomo está presente en el arroyo

Cerro Gordo?, tomando en cuenta que no existen minas, no existe tampoco un gran parque vehicular, y que la fundidora más cercana está en Bermejillo, Durango a 200 km. aproximadamente; Realizar futuros estudios de plomo en sangre, para evaluar con mayor profundidad los efectos de este contaminante en los habitantes de dicha zona; obtener el máximo provecho a la planta potabilizadora de agua por osmosis inversa para el consumo humano del líquido vital; Evitar que la población ahorre escombros y basura en los cauces fluviales del arroyo; Monitorear las zonas bajo riesgo de aguas contaminadas y por último educar ambientalmente a todos los habitantes de la cuenca.

**PALABRAS CLAVE:** coliformes, metales, contaminación, disponibilidad, agua, arroyo.

## 1. INTRODUCCIÓN

La vida en la Tierra depende del flujo continuo de materiales a través del aire, agua, suelo y cadenas tróficas de la biosfera. El agua es esencial para la vida e indispensable para el mantenimiento de las funciones de los organismos y de los ecosistemas; es el material de construcción de los seres vivos, el medio para transportar materia en el ambiente y facilita el flujo de energía por medio de las circulaciones oceánica y atmosférica. Se requiere, además, para la producción de alimentos, cubrir las necesidades de agua potable de las poblaciones humanas, la higiene personal y la producción industrial y pesquera. Los ríos, lagos y ecosistemas adyacentes también proporcionan servicios, que incluyen el control de inundaciones, el transporte de personas y de bienes, recreación, purificación de aguas residuales municipales e industriales, generación de energía y hábitat para plantas y animales acuáticos. (S.N.I.A., 2004). Sin embargo el crecimiento de la población a nivel mundial y el aumento del uso del agua para diferentes actividades, ha incrementado los niveles de contaminación. Esta contaminación está relacionada con los vertidos de origen doméstico e industrial a los cuerpos de agua. En el caso de los residuos de origen doméstico, la carga contaminante está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos de origen fecal. Estos microorganismos son causantes de enfermedades de origen hídrico, que generan altos porcentajes de morbi-mortalidad en la población. El control de la calidad microbiológica del agua de consumo y de vertido, requiere una serie de análisis dirigidos a determinar la presencia de microorganismos patógenos. El diagnóstico de estos microorganismos, requiere laboratorios especializados y representa varios días de análisis y costos elevados. Como alternativa

a estos inconvenientes, se ha propuesto el uso de indicadores microbianos que se puedan identificar mediante el uso de métodos sencillos, rápidos y económicos. (Red Iberoamericana de potabilización y depuración del agua, 1999).

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la contaminación del agua por medio de Indicadores biológicos como es el caso de la *Escherichia coli*, y de metales pesados tales como el arsénico y plomo en la cuenca hidrológica del Arroyo Cerro Gordo del estado de Durango, a fin de conocer las diferentes fuentes de agua utilizadas, y relacionarlas con sus efectos sobre la salud humana y sobre algunos factores vinculados con el desarrollo rural.

### **1.1. Justificación**

En el análisis de las aguas superficiales es imposible no relacionar el binomio agua-desarrollo, pues el uso de las aguas dulces es un elemento obligado en el desarrollo de las sociedades humanas. Desde tiempo atrás, el uso del agua ha estado creciendo en forma exponencial con los consecuentes problemas de contaminación. La contaminación tiene diferentes efectos, pero cuando ésta perturba a las aguas dulces puede ser descrita como la descarga de materiales hacia un cuerpo de agua natural, el cual sufre efectos adversos en la calidad de vida animal y vegetal presente en el sitio. Por otra parte, el entendimiento del origen de los contaminantes, su tratamiento y su efecto en los ecosistemas acuáticos, es, hoy en día, una parte importante de la interpretación de la ecología acuática. (Badii, Z., 2005).

Las acciones de los seres humanos afectan claramente a un sin número de ecosistemas acuáticos, modificando con ello la evolución natural de los mismos en diferentes escalas. En el afán de hacer rendir más las cosechas de los alimentos necesarios para consumo humano, el hombre ha utilizado sustancias para controlar las plagas y malezas de sus cultivos y resulta innegable que mediante el uso de las mismas, se ha logrado ampliar el horizonte agrícola conforme a la demanda derivada del crecimiento de la población. El uso de estas sustancias de manera indiscriminada e irresponsable acarrea problemas a diferentes organismos y a sus poblaciones; Esto ocurre desde el proceso químico de la manufactura de las sustancias y en donde se generan residuos considerados agentes químicos tóxicos, los cuales si no tienen un manejo adecuado pueden constituirse en un riesgo para el ambiente y la salud humana hasta el uso y la aplicación de los agroquímicos con la consecuente afectación de la integridad de los atributos ecológicos de los sistemas naturales acuáticos y terrestres.

En la actualidad se han desarrollado diversas técnicas para evaluar los efectos que traen consigo las variadas actividades antropogénicas que presentan un impacto probable en la salud humana y en el ecosistema. Entre los diferentes instrumentos de evaluación están la metodología del análisis de riesgo ecológico y ambiental y junto con ellas, el uso de indicadores biológicos para monitorear la salud o la integridad de los ecosistemas acuáticos. (Badii, Z., op. cit.).

Y además hay que establecer la relación que existe entre la contaminación del agua en el arroyo Cerro Gordo del Municipio de Hidalgo, Durango que aún conservan sus características naturales, pero que han sido afectados por la presencia de sustancias químicas de uso agrícola, la población de ganado bovino y la respuesta de los

diferentes componentes biológicos de las comunidades acuáticas; considerando, de manera primordial, que es necesario que esta región conozca la calidad de agua que cruza el arroyo del mencionado municipio.

## 1.2. Objetivos

- Determinar la presencia de *Escherichia coli* como indicador biológico de contaminación fecal en el recurso agua del arroyo Cerro Gordo.
- Realizar estudios para evaluar la presencia de arsénico (As) en los cuerpos de agua.
- Analizar la existencia de trazas del metal pesado plomo (Pb) en el mencionado arroyo.
- Determinar el pH de las muestras extraídas del mencionado cuerpo de agua, para ver su relación con la existencia de microorganismos.

## 1.3. Hipótesis

H<sub>1</sub>: De acuerdo con la gran cantidad de ganado bovino en dicha zona, el recurso agua del Arroyo Cerro Gordo, se encuentra fuera de los rangos de la NOM-127-SSA1-1994, en relación a los límites permisibles de características bacteriológicas como es el caso de la *Escherichia coli*.

H<sub>2</sub>: Los cuerpos de agua del área de estudio están fuera de los límites marcados por la normatividad oficial para consumo humano en cuanto a la cantidad permisible de arsénico (As) y plomo (Pb).

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### **Disponibilidad e Importancia del Agua en el Mundo.**

Albaina, (2007), considera que el agua constituye el elemento más abundante de la Tierra. Efectivamente, en una imagen que hiciéramos del espacio, en el planeta predomina el color azul del agua. Ésta cubre un 70% de la superficie del planeta, por lo tanto, uno se puede preguntar si la Tierra es el nombre más adecuado para nuestro planeta. Seguramente bautizamos con Tierra a nuestro planeta, utilizando, como es habitual, una visión antropogénica.

Según el hidrólogo Falkenmark, (2002), Un 70% de la superficie de la tierra es agua, pero la mayor parte de ésta es oceánica. En volumen, sólo 3% de toda el agua del mundo es agua dulce, y en su mayor parte no se halla generalmente disponible. Unas tres cuartas partes de toda el agua dulce se halla inaccesible, en forma de casquetes de hielo y glaciares situados en zonas polares muy alejadas de la mayor parte de los centros de población; sólo un 1% es agua dulce superficial fácilmente accesible. Ésta es primordialmente el agua que se encuentra en los lagos y ríos y a poca profundidad en el suelo, de donde puede extraerse sin mayor costo. Sólo esa cantidad de agua se renueva habitualmente con la lluvia y las nevadas y es, por tanto, un recurso sostenible. En total, sólo un centésimo del uno por ciento del suministro total de agua del mundo se considera fácilmente accesible para uso humano.

Pero las cifras per cápita sobre la disponibilidad de agua presentan un cuadro engañoso. El agua dulce mundialmente disponible no está equitativamente distribuida en el mundo, ni en todas las estaciones del año, ni de año a año. En algunos casos el agua no está donde la queremos, ni en cantidad suficiente. En otros casos tenemos demasiada agua en el lugar equivocado y cuando no hace falta. "Vivimos bajo la tiranía del ciclo del agua", observa el hidrólogo Falkenmark (op. cit), refiriéndose al ciclo hidrológico de la tierra.

El ciclo hidrológico de la tierra actúa como una bomba gigante que continuamente transfiere agua dulce de los océanos a la tierra y de vuelta al mar. En este ciclo de

energía solar, el agua se evapora de la superficie de la tierra a la atmósfera, de donde cae en forma de lluvia o nieve. Parte de esta precipitación vuelve a evaporarse dentro de la atmósfera. Otra parte comienza el viaje de vuelta al mar a través de arroyos, ríos y lagos. Y aun otra parte se filtra dentro del suelo y se convierte en humedad del suelo o en agua de superficie. Las plantas incorporan la humedad del suelo en sus tejidos y la liberan en la atmósfera en el proceso de evapotranspiración. Gran parte del agua subterránea finalmente vuelve a pasar al caudal de las aguas de superficie.

Rodríguez, (2007). Comentó que a escala global, el agua dulce no es escasa. Sin embargo la disponibilidad de los recursos hídricos no es la misma en los diferentes continentes, ni tampoco existe una relación entre la población y la disponibilidad de agua dulce. Además, en cada continente existe disparidad entre regiones, algunas de las cuales se encuentran en situaciones extremas de desarrollo, se pueden detectar grandes diferencias entre ciudades, pueblos y comunidades de la misma región. La escasez de agua dulce puede generar conflictos tanto entre países como dentro de un mismo país o región. El agua no es un recurso estático como la tierra; el agua es cíclica, con importantes variaciones en el tiempo, en el espacio y en la calidad y todo ello es valorado por las personas y los ecosistemas. *Muchas sociedades visualizan el agua bajo otros aspectos: cultura especial, religión y valores sociales, y no tan solo como un bien económico, estos otros valores influyen en la toma de decisiones de los responsables políticos sobre la gestión del agua.*

Rodríguez (op. cit.), También definió el agua como algo difícil de identificar y medir, ya que es un recurso fugitivo, fluye, se evapora, se filtra y se condensa y que a partir de los diferentes estados de ésta se establecen las bases de la economía de mercado y los derechos de propiedad sobre ella. El agua puede tener también un impacto muy negativo, cuando se presenta en forma de *inundación* o, en su ausencia, en forma de *sequía*, dándose este tipo de condiciones de forma alternante en un mismo lugar. La disponibilidad media anual en esta situación es poco representativa y por tanto no tiene ningún sentido medir la escasez de agua de forma física.

## 2.1. Aspectos socioeconómicos y demográficos en el mundo.

La Comisión Nacional del Agua (2008), en un estudio que contó con todos los recursos económicos a su alcance publica un trabajo muy profundo sobre las cuencas de México. Entre sus aportaciones menciona que en el año 1950, la población mundial ascendía a 2 534 millones de personas, mientras que para el 2005, había aumentado a 6 515 millones. Se estima que para el 2010, la población mundial será de 6 907 millones, y que este crecimiento futuro se concentrará principalmente en los países menos desarrollados, donde la población está creciendo a un ritmo cinco veces superior al de los países desarrollados. Asimismo, indica que una característica más de la demografía mundial es la tendencia a la concentración en centros urbanos, y en las regiones menos desarrolladas del mundo ésta es aún más marcada.

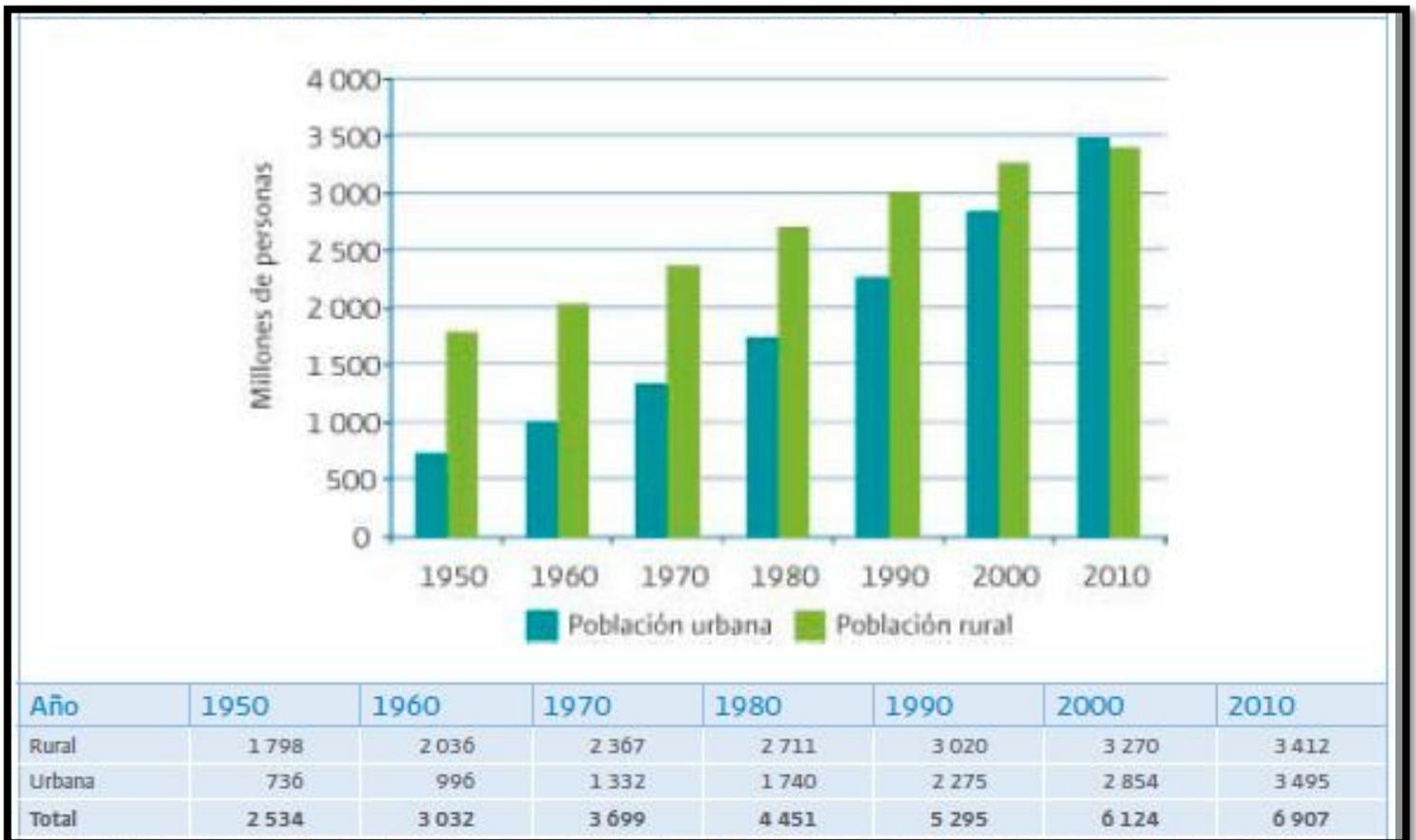


Figura No 1. Comportamiento de la población mundial por sectores urbano y rural, periodo 1950-2010 FUENTE: UNDESA. World Population Prospects: The 2006 Revision and World Urbanization Prospects: The 2007 Revision, <http://esa.un.org/unup>. Junio de 2008.

Como consecuencia de dicha tendencia a la concentración en centros urbanos, se observa que la población mundial se concentra cada vez más en las grandes ciudades.

No.	Centro urbano	Población (millones de habitantes)
1	Tokio, Japón	35.67
2	Ciudad de México, México	19.35
3	Nueva York, EUA	19.04
5	Sao Paulo, Brasil	18.84
9	Dhaka, Bangladesh	13.49
15	Rio de Janeiro, Brasil	11.75
20	Yakarta, Indonesia	9.13

Cuadro No. 1 Mayores centros de población del mundo, según población total, 2007

NOTA: a Población de la Zona Metropolitana del Valle de México.

FUENTE: UNDESA. World Population Prospects: The 2006 Revision and World Urbanization Prospects: The 2007 Revision, <http://esa.un.org/unup>. Junio de 2008.

CONAPO. Proyecciones de Población de México, 2005-2050. México 2007.

SEDESOL, INEGI y CONAPO. Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México. 2005. México.

País	Población	Extensión territorial	Densidad de Población
	(millones de Habitantes)	(miles de Km <sup>2</sup> )	(hab/km <sup>2</sup> )
China	1 312.98	9 598.09	137
India	1 134.40	3 287.26	345
EUA	299.85	9 632.03	31
Brasil	186.83	8 514.88	22
Bangladesh	153.28	144	1064
Rusia	141.95	17 098.24	8
Japón	127.9	377.91	338
México	105.79	1 964.38	54
Etiopía	78.99	1 104.30	72
Sudáfrica	47.94	1 219.09	39

Cuadro No. 2 Países del mundo con mayor población.

2005FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de UNDESA. World Population Prospects: The 2006 Revision and World Urbanization Prospects: The 2007 Revision, <http://esa.un.org/unup>. Junio de 2008.

INEGI. Anuario de Estadísticas por Entidad Federativa, Edición 2007. México, 2007.

INEGI. Censos Generales y Conteos.

### 2.1.2. Disponibilidad del agua.

La disponibilidad natural media per cápita de un país resulta de dividir sus recursos renovables entre el número de habitantes. Según este criterio, México se encuentra en el lugar número 89 mundial son 177 países de los cuales se dispone de información, en términos de disponibilidad media per cápita. Cabe aclarar que en el caso de México, la disponibilidad nacional esconde una fuerte variación regional.

No.	País	Precipitación media (milímetros)	Disponibilidad miles de millones de m <sup>3</sup> )	Disponibilidad natural per cápita (m <sup>3</sup> /hab/año)
1	Groenlandia	350	603	10 595 305
2	Guayana Francesa	2 895	134	680 203
3	Islandia	1 940	170	574 588
9	Canadá	537	2 902	93 549
13	Nueva Zelanda	1 732	327	78 146
14	Perú	1 738	1 913	69 446
15	Bolivia	1 146	623	67 472
16	Paraguay	1 130	336	65 076
18	Chile	1 522	922	57 291
20	Colombia	2 612	2 132	46 302
25	Brasil	1 782	8 236	44 081
62	EUA	715	3 051	10 293
89	México	760	458	4 312
107	Turquía	593	214	2 891

**Cuadro No. 3 Países con mayor disponibilidad media per cápita, 2007**

NOTA: 1 km<sup>3</sup> = 1 000 hm<sup>3</sup> = mil millones de m<sup>3</sup>.

FUENTE: FAO. Information System on Water and Agriculture, Aquastat.

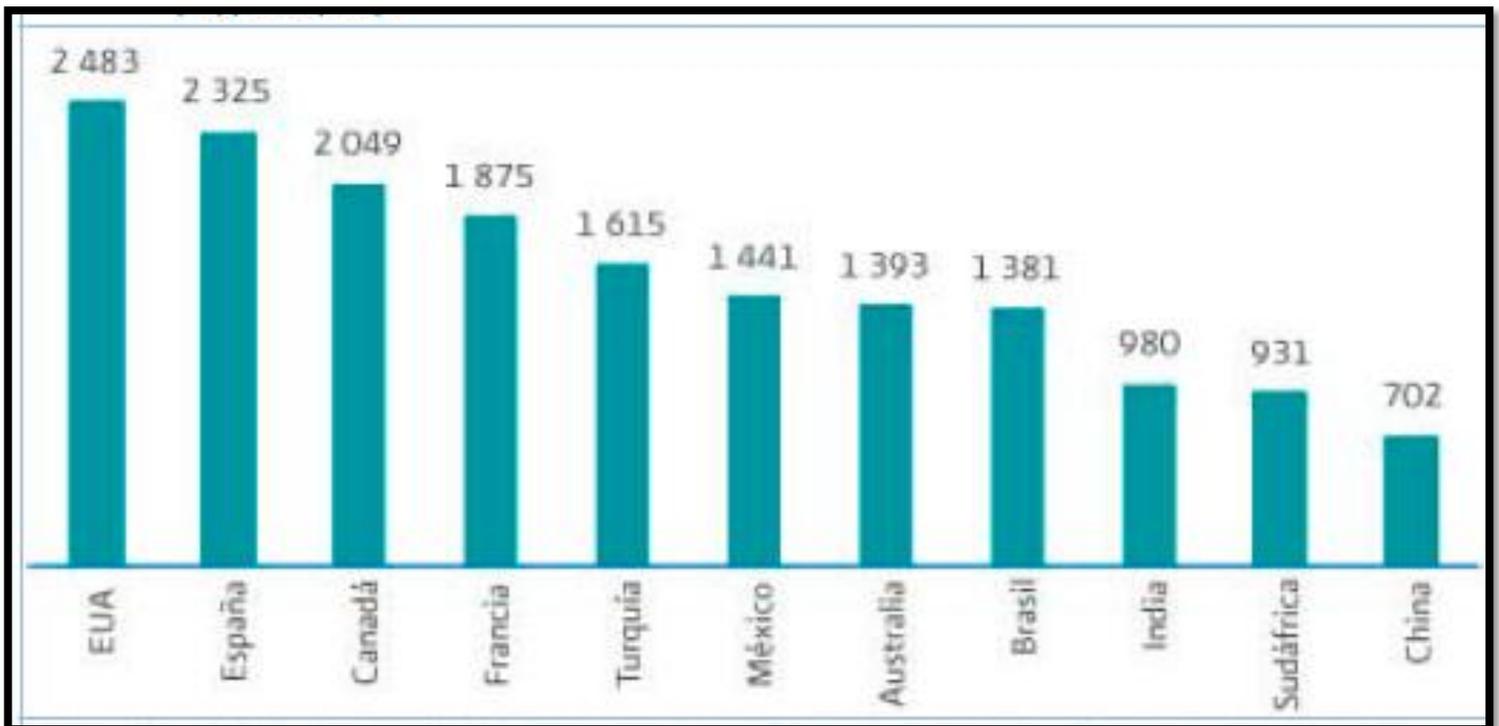
[www.fao.org/AG/AGL/aglw/aquastat/main/index.stml](http://www.fao.org/AG/AGL/aglw/aquastat/main/index.stml). Junio de 2008.

CONAGUA. Subdirección General Técnica. Año 2008.

### 2.1.3. Huella hídrica.

Una forma de medir el impacto de las actividades humanas en los recursos hídricos es la denominada huella hídrica (“waterfootprint”), la cual resulta de sumar el agua que utiliza cada persona para sus diversas actividades y la que es necesaria para producir los bienes y servicios que consume. Los cuatro factores principales que determinan la huella hídrica de un país son: el nivel de consumo, el tipo de consumo (por ejemplo la cantidad de carne que consume cada persona), el clima y la eficiencia con la que se utiliza el agua. De acuerdo con este concepto, cada ser humano utiliza en promedio

1 240 metros cúbicos de agua por año; sin embargo las diferencias son muy grandes entre los países. Por ejemplo, en México la huella hídrica es de 1 441 metros cúbicos de agua por persona al año, mientras que en los Estados Unidos de América (el país con la huella hídrica más grande), se requiere 2 483 y en China (uno de los países con una huella más pequeña) 702. En estas cuentas se incluye tanto el agua extraída de los acuíferos, lagos, ríos y arroyos (denominada agua azul), como el agua de lluvia que alimenta los cultivos de temporal (denominada agua verde).



**Figura No. 2. Huella hídrica de países seleccionados, 1997-2001 (m³/persona/año)**

Fuente: Hoelstra, Arjers Y., Globalization of Water: Sharing the planet's freshwater resources. Año 2008.

#### **2.1.4. Agua virtual.**

Un concepto íntimamente ligado al de la huella hídrica es el que se refiere al contenido de agua virtual. El contenido de agua virtual de un producto es la cantidad de agua que fue empleada en su proceso productivo. El intercambio comercial entre países conlleva implícito un flujo de agua virtual entre ellos, que corresponde al agua que se empleó en la generación de los productos o servicios importados o exportados.

El volumen total de agua virtual intercambiado entre los países del mundo es de 1 625 kilómetros cúbicos por año, del cual aproximadamente el 80% corresponde a productos agrícolas, mientras que el resto corresponde a productos industriales.

El cultivo de un kilogramo de maíz requiere en promedio en el mundo 900 litros de agua, mientras que el de un kilogramo de arroz blanco requiere de 3 400 litros. Por otro lado, la producción de un kilogramo de carne de res requiere en promedio de 15 500 litros, que incluyen el agua que bebe la res a lo largo de su vida y el agua requerida para cultivar los granos que le sirven de alimento. A continuación se indica el contenido de agua virtual promedio de diferentes productos. Los valores son diferentes en cada país, dependiendo de condiciones climáticas y eficiencia en el uso del agua.

La importación de agua virtual puede ser una opción para reducir los problemas de escasez de agua en algunos países. Los países exportadores de agua virtual deberán evaluar el impacto de dicha actividad en la disponibilidad del recurso hídrico y las posibles distorsiones derivadas de subsidios aplicados en la producción agrícola.

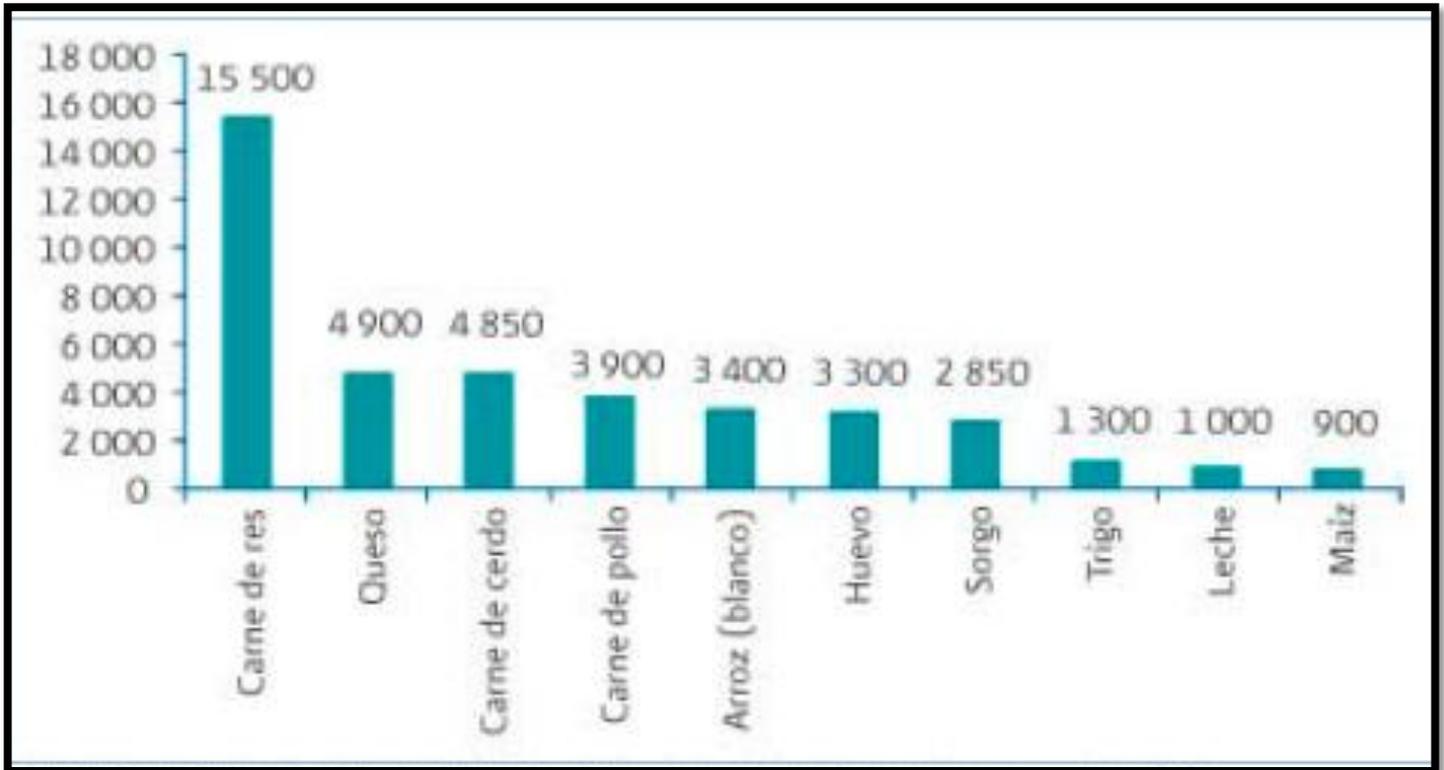


Figura No. 3. Volumen medio de agua utilizada para producir alimentos seleccionados (litros/kg)

Fuente: Hoelstra, Arjers Y., Globalization of Water: Sharing the planet's freshwater resources. Año 2008.

### 2.1.5. Grado de presión sobre los recursos hídricos.

A continuación se indica los países con un mayor grado de presión sobre los recursos hídricos, lo cual resulta de dividir la extracción entre la disponibilidad. Es de notar que, por su baja disponibilidad, los países del Medio Oriente figuran entre los países que sufren una presión más fuerte sobre los recursos hídricos, mientras que México se encuentra en el lugar 55 sobre 155 evaluados según este indicador.

No.	País	Disponibilidad (km <sup>3</sup> )	Extracción total (km <sup>3</sup> )	Grado de presión sobre los recursos hídricos (%)
1	Kuwait	0.02	0.45	2250
3	Emiratos Árabes Unidos	0.15	2.31	1540
5	Oatar	0.05	0.29	547
10	Malta	0.05	0.06	120
20	Sudán	64.50	37.31	58
41	Sudáfrica	50.00	12.50	25
5	México	458.10	78.95	17

Cuadro No. 4. Países con mayor grado de presión sobre los recursos hídricos, 2008

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de:

FAO.Information System on Water and Agriculture, Aquastat. [www.fao.org/AG/AGL/aglw/aquastat/main/index.stml](http://www.fao.org/AG/AGL/aglw/aquastat/main/index.stml). Junio de 2008.

CONAGUA. Subdirección General Técnica. Subdirección General de Administración del Agua.

### **2.1.6. Agua y salud.**

Estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), indican que en el mundo anualmente mueren aproximadamente 1.5 millones de personas por enfermedades diarreicas. La mayor parte de estas personas son niños menores de 5 años, principalmente de países en vías de desarrollo. Entre las enfermedades diarreicas se encuentran el cólera, la tifoidea y la disentería, entre otras, todas ellas relacionadas con vías de transmisión “fecal-oral”. La mayor parte de estas muertes se pueden evitar con acciones en los temas de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Se estima que el mejorar el alcantarillado y saneamiento reduce en 32% la frecuencia de las enfermedades diarreicas, mientras que mejoras en el abastecimiento de agua tienen un impacto del 25%. Las mejoras en la calidad del agua reducen en 31% las enfermedades diarreicas. Cabe aclarar que además de las acciones de agua y saneamiento, las medidas de higiene, entre ellas la educación sobre el tema y la insistencia en el hábito de lavarse las manos, reducen las enfermedades diarreicas en un 37%.

Es importante tener en cuenta que las acciones en los temas de agua, saneamiento e higiene están íntimamente relacionadas y producen un efecto combinado. El efecto puede variar en función de las circunstancias locales. Además de las enfermedades diarreicas, las helmintiasis intestinales, la malnutrición, la esquistosomiasis y la encefalitis japonesa son causa de la muerte de aproximadamente 800 mil personas adicionales al año en el mundo. Estas enfermedades están relacionadas con el abastecimiento de agua potable, el alcantarillado y saneamiento, y la higiene.

Enfermedad o Problema	Niños 0 - 14 años	Países desarrollados	Países en vías de desarrollo	Total
Diarrea	1370	15	1508	1523
HelminCIAS intestinales	8	0	12	12
Malnutrición (sólo relativa a proteínas y energía)	71	0	71	71
Consecuencias de malnutrición	792	9	783	792
Esquistosomiasis	0	0	15	15
Subtotal de enfermedades asociadas al agua, saneamiento e higiene	2241	24	2389	2413
Malaria	482	0	526	526
Dengue	14	0	18	18
Encefalitis japonesa	7	0	13	13
Subtotal de eventos por falta de un mejor manejo de los recursos	503	0	557	557
Ahogados	106	33	244	277
Subtotal por falta de seguridad de medio adecuados del agua	106	33	244	277
Otros tipos de decesos infecciosos	162	15	312	327
<b>Total de decesos</b>	<b>3012</b>	<b>72</b>	<b>3502</b>	<b>3574</b>

**Cuadro No. 5. Decesos relacionados con los temas de agua, saneamiento e higiene en el año 2002 (miles de personas)**  
FUENTE: WHO, UNICEF. Safer water, better health. Costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health. Año. 2008.

De acuerdo con la OMS, el país con mayor número de decesos por problemas asociados al agua lo tiene Angola, con casi un 25% del total de decesos. México ocupa el lugar 128 de 192 países analizados. A continuación se presentan los países con mayor porcentaje de decesos por enfermedades y problemas asociados al agua.

No.	País	% de decesos de origen hídrico	Número de decesos (personas)
1	Angola	24.1	73 900
2	Nigeria	23	56 200
3	Mali	20.9	50 800
7	Sierra Leona	19.5	25 700
10	Liberia	17.8	12 400
12	Mauritania	17.7	7 100
14	Nigeria	16.7	335 200
16	Afganistán	16.2	78 500
123	Brasil	2.3	28 700
126	Turquía	2	8 600
128	México	1.9	9 000
160	EUA	0.4	8 700
180	Francia	0.2	1 000

**Cuadro No. 6. Países con mayor proporción de decesos de origen hídrico, año 2002**

FUENTE: WHO, UNICEF. Safer water, better health. Costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health. Año, 2008.

Invertir en agua potable, alcantarillado y saneamiento tiene beneficios económicos que se han estimado a nivel mundial en 7 mil millones de dólares al año en ahorros por gastos de instituciones prestadoras de salud y 340 millones en gastos individuales. Del orden de 320 millones de días productivos ganados cada año para personas entre 15 y 59 años de edad, 272 millones de días de asistencia a las escuelas, 1 500 millones de días saludables de niños menores de 5 años, todo esto asciende a 9.9 miles de millones de dólares al año. En lo que se refiere a tiempo productivo por tener acceso cercano al agua, se ganaría un estimado de 63 mil millones de dólares al año. Finalmente el evitar los decesos tiene un impacto de 3.6 mil millones de dólares al año debido a la posibilidad de ingresos futuros. Todas estas cifras sumadas arrojan un total de 84 mil millones de dólares en beneficios, comparado con 11.3 mil millones de dólares en inversiones requeridas para cumplir con las Metas de Desarrollo del Milenio. Toda esta información proviene de la OMS.

## **2.2. Disponibilidad e Importancia del Agua en México.**

### **2.2.1. Aspectos geográficos y demográficos.**

La superficie de México comprende una extensión territorial de 1 964 375 km<sup>2</sup>, de los cuales 1 959 248 km<sup>2</sup> son superficie continental y 5 127 km<sup>2</sup> son superficie insular. Adicionalmente, a este territorio debe sumarse la Zona Económica Exclusiva de mar territorial, que comprende 3 149 920 km<sup>2</sup>, por lo que la superficie total del país es de 5 114 295 km<sup>2</sup>.

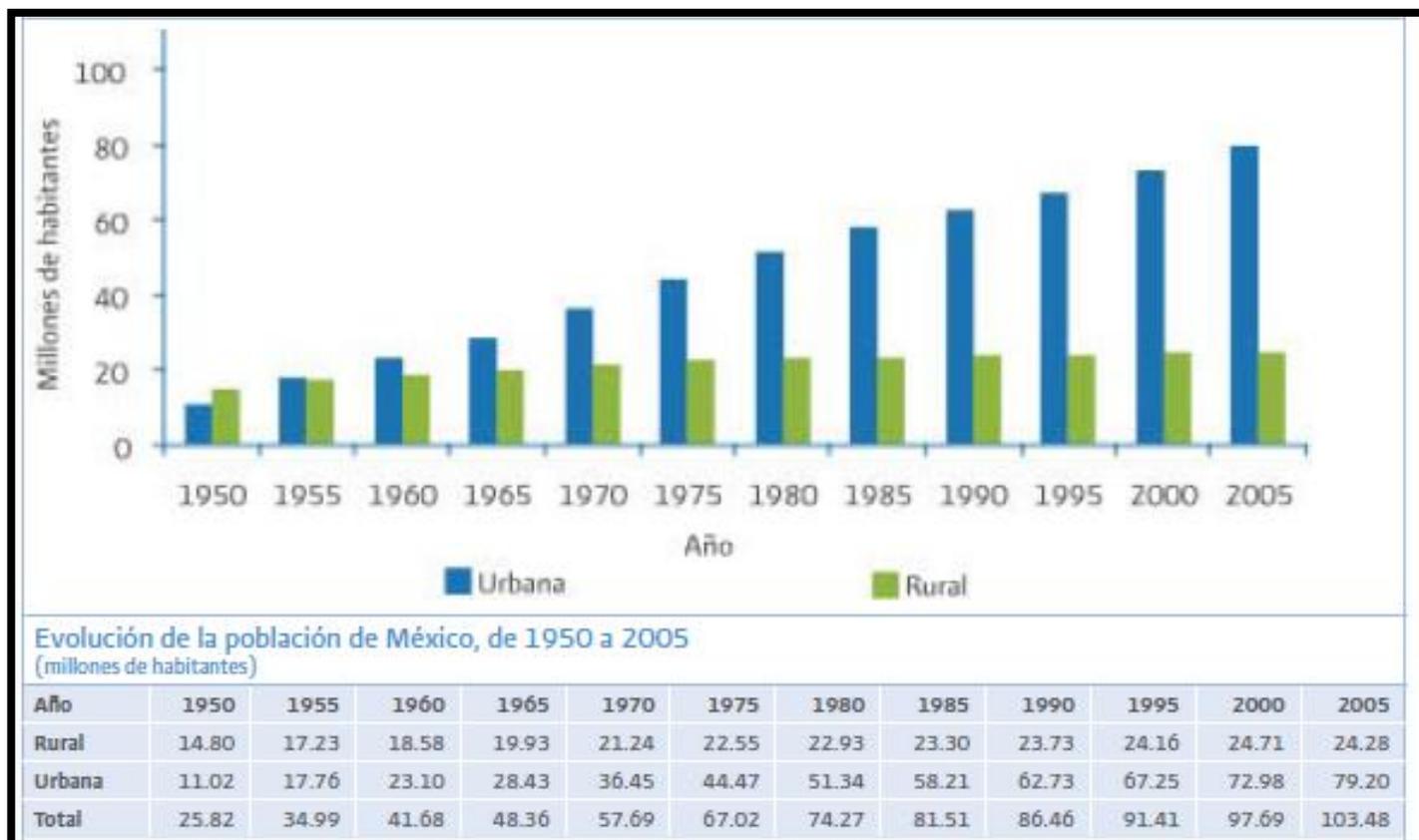
México se encuentra ubicado entre los meridianos 118°42' y 86°42' de longitud oeste y entre las latitudes 14°32' y 32°43' norte, se encuentra en las mismas latitudes que los desiertos de Sahara y Árabe. Por las características del relieve de México, en el país existe una gran variedad de climas. Dos terceras partes del territorio nacional se consideran áridas o semiáridas, mientras que el sureste es húmedo, con precipitaciones promedio que rebasan los 2 000 mm por año en algunas zonas. El 63% de la población del país habita en cotas superiores a los 1 000 metros sobre el nivel del mar. México está integrado por 31 estados y un Distrito Federal (D.F.), constituidos por 2 439 municipios y 16 delegaciones del D.F. respectivamente.

De 1950 a 2005, la población del país se cuadruplicó, y pasó de ser predominantemente rural (57.4%) a principalmente urbana (76.5%). Al mismo tiempo la tasa de crecimiento media anual disminuyó significativamente. La mayor tasa se presentó en el periodo 1960-1970 (3.40%), para después decrecer hasta llegar a un valor de 1.02% en el periodo 2000-2005. A continuación se muestra la tendencia de crecimiento de la población rural, urbana y total en el periodo de 1950 a 2005.

Extensión Territorial		Fronteras	
Área Total	1 964 375 Km <sup>2</sup>	3 152 Km con EUA	
Área Continental	1 959 248 Km <sup>2</sup>	950 Km con Guatemala	
Área Insular	5 127 Km <sup>2</sup>	193 Km con Belice	
Zona económica exclusiva del mar territorial	3 149 920 Km <sup>2</sup>		
Superficie Total	5 114 295 Km <sup>2</sup>		
Longitud de la Línea de Costa		Coordenadas geográficas extremas:	
11 122 Km		<b>Norte:</b> 32°43'06" latitud norte, marcado en el Monumento 206, en la frontera con los EUA	
7 828 Km en el Océano Pacífico		<b>Sur:</b> 14°32'27" latitud norte. Desembocadura del río Suchiate, frontera con Guatemala.	
3 294 Km en el Golfo de México y Mar Caribe		<b>Este:</b> 86°42'36" longitud oeste. Extremo suroeste de la Isla Mujeres en el Caribe mexicano	
		<b>Oeste:</b> 118°27'24" longitud oeste. Punta Roca Elefante de la Isla de Guadalupe, en el Océano Pacífico.	

**Cuadro No. 7. Ubicación y extensión territorial de México**

FUENTE: INEGI. Anuario de Estadísticas por Entidad Federativa, Edición 2007. México, 2007.



**Figura No. 4. Población de México, de 1950 a 2005 (millones de habitantes)**

NOTA: La población se interpoló al 31 de diciembre de cada año con base en los datos censales.

Se considera que la población rural es aquella que integra localidades con menos de 2 500 habitantes, en tanto que la urbana se refiere a poblaciones con 2 500 habitantes o más.

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de INEGI. Censos Generales y Conteos.

Aproximadamente el 10% de la población rural se encuentra dispersa en pequeñas localidades de menos de 100 habitantes, a las cuales es muy costoso dotar de los servicios de agua potable y alcantarillado. De acuerdo con el último conteo del año 2005, en México existen 187 938 localidades habitadas, repartidas de la siguiente forma, según su población:

<b>Población de localidad</b>	<b>Número de localidades</b>	<b>Población (millones de habitantes)</b>	<b>Porcentaje</b>
Más de 500 000	34	29.12	28.2
De 50 000 a 499 999	162	26.45	25.61
De 2 500 a 49 999	2 994	23.41	22.67
De 100 a 2 499	47 233	21.84	21.15
Menos de 100	137 515	2.44	2.36
<b>Total</b>	<b>187 938</b>	<b>103.26</b>	<b>100</b>

**Cuadro No. 8. Distribución de la población, por tamaño de localidad, 2005 (millones de habitantes)**

FUENTE: INEGI. II Conteo de Población y Vivienda 2005.

NOTA: Los datos de esta tabla son en la fecha del Conteo y por ello difieren de los de la gráfica G1.1, los cuales fueron interpolados.

### **2.2.2 Contraste regional entre el desarrollo y la disponibilidad de agua**

El país se puede dividir en dos grandes zonas: la zona norte, centro y noroeste, donde se concentra el 77% de la población, se genera el 87% del PIB, pero únicamente ocurre el 31% del agua renovable; y la zona sur y sureste, donde habita el 23% de la población, se genera el 13% del PIB y ocurre el 69% del agua renovable. La siguiente figura ilustra la disparidad entre esas dos zonas en cuanto a su disponibilidad y su actividad económica.

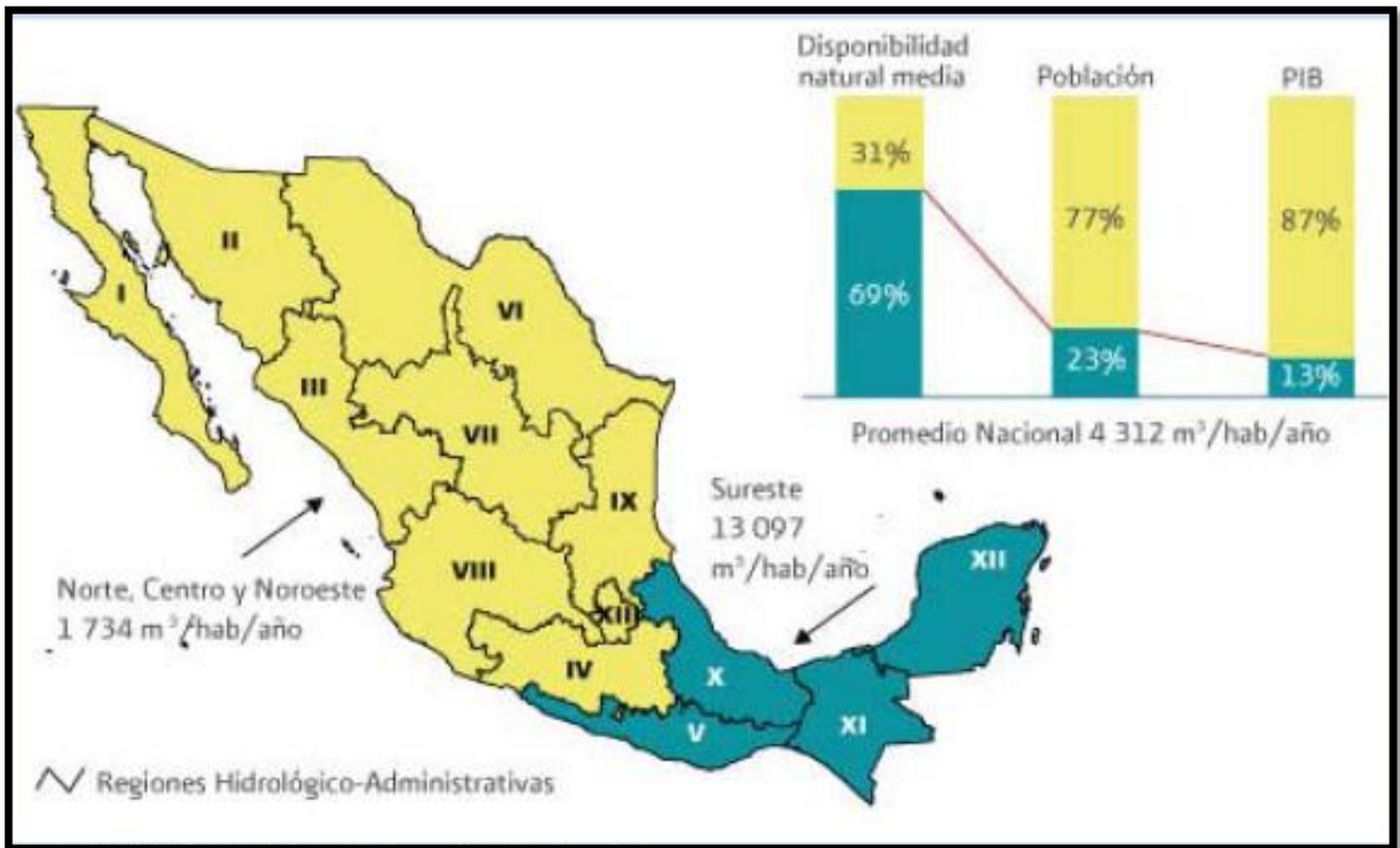


Figura No. 5. Contraste regional entre el desarrollo y la disponibilidad del agua, 2007

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de:

CONAGUA. Subdirección General Técnica.

INEGI. Censos Económicos 2004. México. 2005.

## 2.3 Situación de los Recursos Hídricos en México.

### 2.3.1 Las cuencas y acuíferos del país.

En el ciclo hidrológico, una proporción importante de la precipitación pluvial regresa a la atmósfera en forma de evapotranspiración, mientras que el resto escurre por los ríos y arroyos delimitados por las cuencas hidrográficas o bien se infiltra en los acuíferos.

De acuerdo con los trabajos realizados por la CONAGUA, el INEGI y el INE, se han identificado 1 471 cuencas hidrográficas en el país, las cuales, para fines de publicación de la disponibilidad de aguas superficiales, se han agrupado y/o subdividido en 728 cuencas hidrológicas. Las cuencas del país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas, y estas a su vez están agrupadas en las 13 Regiones Hidrológico-Administrativas que se mencionan en el capítulo anterior.



**Figura No. 6. Regiones Hidrológicas**  
 FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Técnicas.

### Regiones Hidrológicas:

- |                                 |                              |  |                                |
|---------------------------------|------------------------------|--|--------------------------------|
| 1. Baja California Noroeste     | 11. Presidio-San Pedro       | 21. Costa de Oaxaca                        | 30. Grijalva-Usumacinta        |
| 2. Baja California Centro-Oeste | 12. Lerma-Santiago           | 22. Tehuantepec                            | 31. Yucatán Oeste              |
| 3. Baja California Suroeste     | 13. Río Huicicila            | 23. Costa de Chiapas                       | 32. Yucatán Norte              |
| 4. Baja California Noreste      | 14. Río Ameca                | 24. Bravo-Conchos                          | 33. Yucatán Este               |
| 5. Baja California Centro-Este  | 15. Costa de Jalisco         | 25. San Fernando-Soto La Marina            | 34. Cuencas Cerradas del Norte |
| 6. Baja California Sureste      | 16. Armería-Coahuayana       | 26. Pánuco                                 | 35. Mapimí                     |
| 7. Río Colorado                 | 17. Costa de Michoacán       | 27. Norte de Veracruz (Ríos Tuxpan-Nautla) | 36. Nazas-Aguanaval            |
| 8. Sonora Norte                 | 18. Balsas                   | 28. Papaloapan                             | 37. El Salado                  |
| 9. Sonora Sur                   | 19. Costa Grande de Guerrero | 29. Coatzacoalcos                          |                                |
| 10. Sinaloa                     | 20. Costa Chica de Guerrero  |  |                                |

En lo que se refiere a las aguas subterráneas, el país está dividido en 653 acuíferos o unidades hidrogeológicas, conforme a lo publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 5 de diciembre de 2001, y como se muestra a continuación:



**Figura No. 7. Delimitación de acuíferos por Región Hidrológico-Administrativa**  
FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Técnicas.

La CONAGUA cuenta con 4 058 estaciones en operación para medir las variables climatológicas e hidrométricas. Las estaciones climatológicas miden temperatura, precipitación pluvial, evaporación, velocidad y dirección del viento. Las estaciones hidrométricas miden el nivel, el caudal de agua de los ríos y los volúmenes de agua almacenados en las presas, así como la extracción por obra de toma. La estaciones hidroclimatológicas miden algunos parámetros climatológicos e hidrométricos.

Tipo de Estación	Número de Estaciones
Climatológica	3 348
Hidrométrica	499
Hidroclimatológicas	211
Total	4 058

**Cuadro No. 9. Número de estaciones climatológicas e hidrométricas en México, 2007**

De un total de 5 880 estaciones climatológicas, 3 348 están en operación.

De éstas 1 062 se consideran como estaciones de referencia.

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General Técnica.

### 2.3.2. Características de regiones hidrológicas de Durango.

Región Hidrológica	Extensión territorial Continental (Km <sup>3</sup> )	Precipitación normal anual 1971-2000 (mm)	Escorrentamiento natural medio superficial interno (hm <sup>3</sup> /año)	Importaciones (+) o exportaciones (-) de otros países (hm <sup>3</sup> /año)	Escorrentamiento natural medio superficial total (hm <sup>3</sup> /año)	Número de cuencas hidrológicas
33. Yucatán Este	38 308	1 239.8	1 125	864	1 989	1
34. Cuencas Cerradas del Norte	90 829	407.8	1 701		1 701	22
35. Mapimi	62 639	355.7	957		957	6
36. Nazas-Aguanaval	93 032	422.1	1 912		1 912	16
37. El salado	87 801	428.2	2 637		2 637	8

**Cuadro No. 10. Características de regiones hidrológicas de Durango.**

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General Técnica.

### 2.3.3. Disponibilidad natural media de agua.

Anualmente México recibe del orden de 1 488 miles de millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, el 72.5% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 25.4% escurre por los ríos o arroyos y el 2.1% restante se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos, de tal forma que anualmente el país cuenta con 458 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable, a lo que se denomina disponibilidad natural media. La siguiente gráfica muestra los componentes y valores de dicha disponibilidad:

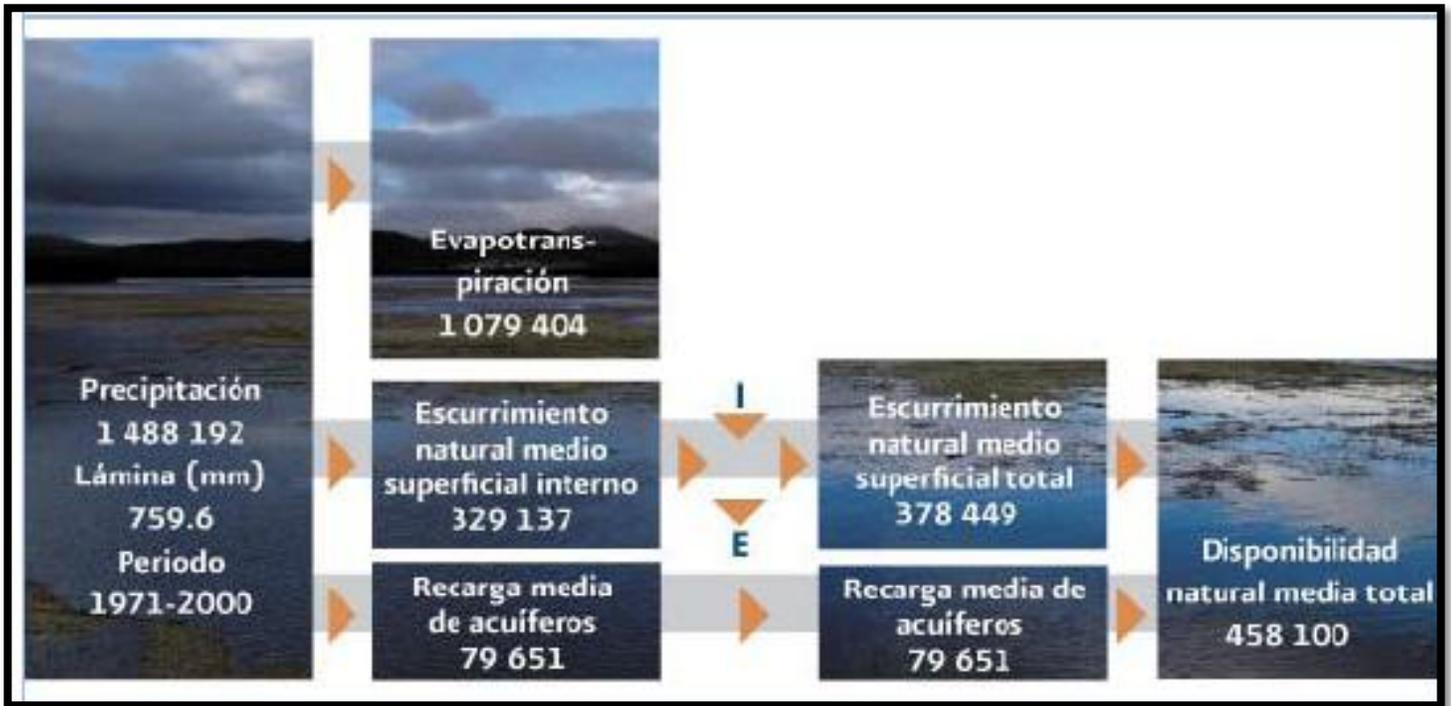


Figura 8. Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico en México en el periodo 1971-2000. (millones de metros cúbicos, hm<sup>3</sup>)

Las importaciones de otros países se refieren al volumen de agua que se genera en las ocho cuencas compartidas con los tres países con los que México tiene fronteras (Estados Unidos de América, Guatemala y Belice) y que escurre hacia nuestro país. Las exportaciones se refieren al volumen de agua que México debe entregar a Estados Unidos de América conforme al Tratado de Aguas de 1944.

En adición al agua dulce que es renovada por la lluvia, el país cuenta con reservas de agua almacenadas principalmente en los acuíferos, pero también en los lagos naturales y artificiales del país; sin embargo, esta agua no se considera en los cálculos de disponibilidad natural media, ya que no es renovable.

La disponibilidad natural media per cápita, que resulta de dividir el valor nacional entre el número de habitantes, ha disminuido de 18 035 m<sup>3</sup>/hab/año en 1950 a tan sólo 4 312 en el 2007. En la siguiente gráfica se puede apreciar cómo ha disminuido su valor:

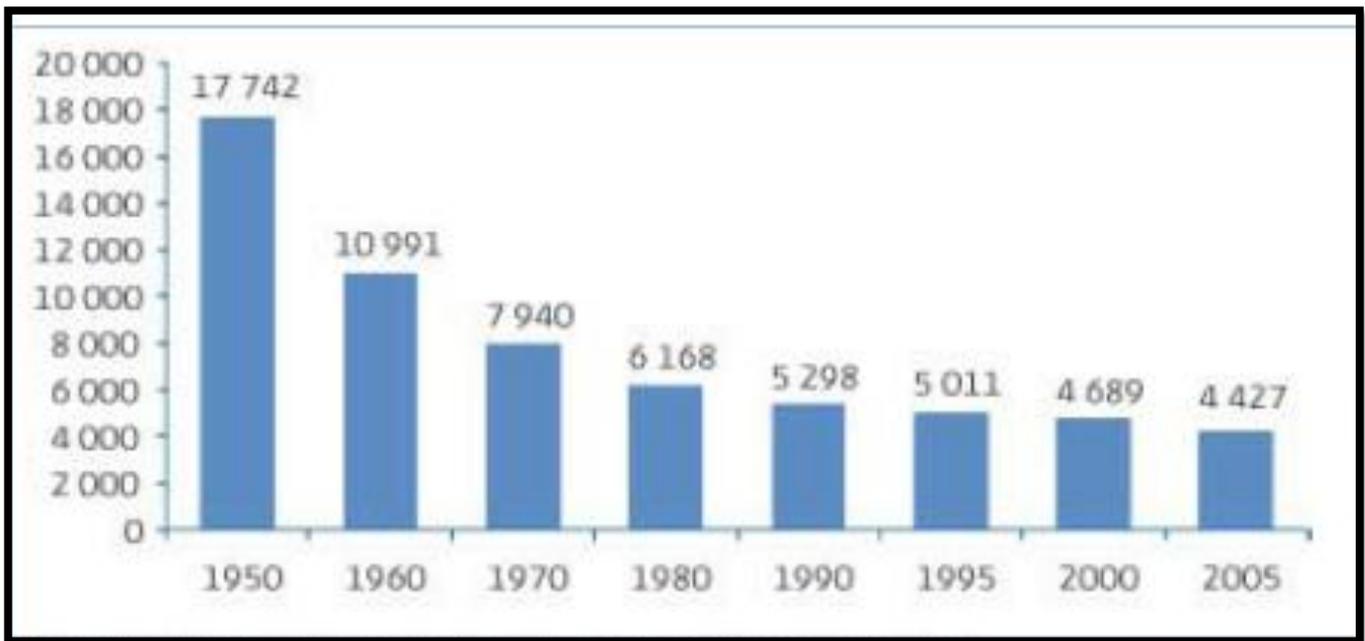


Figura No. 9. Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico en México en el periodo de 1950 al 2000.

(millones de metros cúbicos, hm³)

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General Técnica. 2008.

Cabe aclarar que la disponibilidad se debe analizar desde tres perspectivas:

- Distribución temporal, ya que en México existen grandes variaciones de la disponibilidad a lo largo del año. La mayor parte de la lluvia ocurre en el verano, mientras que el resto del año es relativamente seco.
- Distribución espacial, ya que algunas regiones del país tienen precipitación abundante y baja densidad de población, mientras que en otras ocurre exactamente lo contrario.
- Área de análisis, ya que el problema del agua es predominantemente de tipo local. Los indicadores calculados a gran escala esconden las fuertes variaciones que existen a lo largo y ancho del país.

En algunas Regiones Hidrológico-Administrativas, como en la XIII Aguas del Valle de México, VI Río Bravo y VIII Lerma-Santiago-Pacífico, el valor de la disponibilidad natural media per cápita es preocupantemente bajo. En la siguiente tabla se pueden observar los valores de la disponibilidad en cada una de las regiones del país:

<b>Disponibilidad natural media total</b> (m <sup>3</sup> /hab/año)	<b>Población a Dic 2007</b> (millones de habitantes)	<b>Disponibilidad natural per cápita 2007</b> (m <sup>3</sup> /hab/año)	<b>Escorrentamiento natural medio superficial total</b> (m.ll.m <sup>3</sup> /año)	<b>Recarga media total de acuíferos</b> (m.ll.m <sup>3</sup> /año)
1. Península de baja California	4 616	3.58	3 367	1 249
2. Noroeste	8 204	2.57	5 074	3 130
3. Pacífico Norte	25 627	3.96	22 364	3 263
4. Balsas	21 651	10.54	17 057	4 601
5. Pacífico Sur	32 794	4.12	30 800	1 994
6. Río Bravo	12 024	10.7	6 857	5 167
7. Cuencas Centrales del Norte	7 780	4.12	5 506	2 274
8. Lerma-Santiago-Pacífico	34 037	20.63	26 351	7 686
9. Golfo Norte	25 500	4.94	24 227	1 274
10. Golfo Centro	95 455	9.58	91 606	3 849
11. Frontera Sur	157 754	6.5	139 739	18 015
12. Península de Yucatán	29 645	3.9	4 329	25 316
13. Aguas del Valle de México	3 008	143	1 174	1 834
<b>Total</b>	<b>458 100</b>	<b>21.09</b>	<b>378 449</b>	<b>79 651</b>

**Cuadro No. 11. Disponibilidad natural media per cápita, por región Hidrológico-Administrativa, 2007**

NOTAS: Las sumas pueden no coincidir por el redondeo de las cifras.

Las cantidades expresadas en esta tabla son de carácter indicativo y para fines de planeación; no pueden ser utilizadas por sí solas para realizar concesiones de agua o determinar la factibilidad de un proyecto.

a Las medias se refieren a valores históricos de acuerdo con la disponibilidad de estudios hidrológicos.

b Se consideran las aguas residuales que se generan en la Zona Metropolitana del Valle de México.

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado con base en datos de:

CONAGUA. Subdirección General Técnica.

CONAPO. Proyecciones de la Población de México 2005-2050. México, 2007.

### 2.3.2.1 Precipitación pluvial

La precipitación normal del país en el periodo de 1971-2000 fue de 759.6 milímetros. Los valores “normales”, de acuerdo con la OMM corresponden a los promedios calculados para un periodo uniforme y relativamente largo, el cual debe tener como mínimo 30 años de datos, lo que se considera como un periodo climatológico mínimo representativo, y que inicie el 1° de enero de un año que termine en uno y finalice el 31 de diciembre de un año que termine en cero. Cabe destacar que la distribución mensual de la precipitación en particular acentúa los problemas relacionados con la disponibilidad del recurso, ya que el 68 % de la precipitación normal mensual cae entre los meses de junio y septiembre.

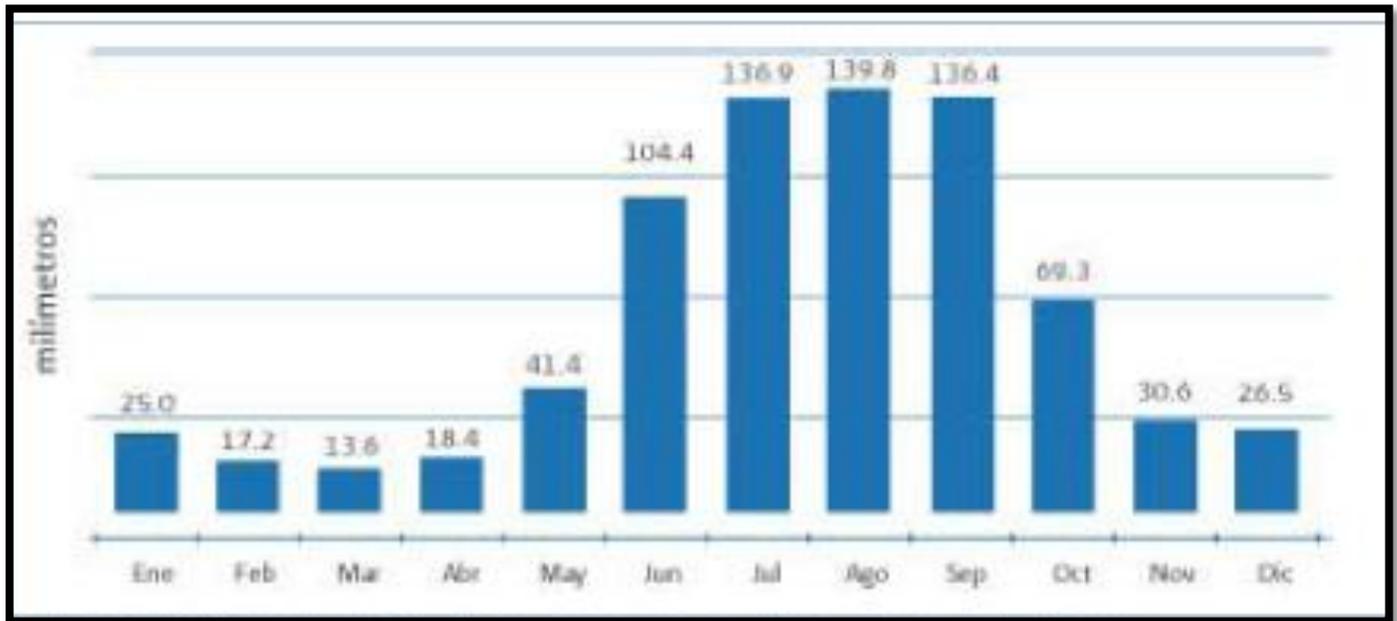


Figura No. 10. Precipitación pluvial normal mensual en México, en el periodo de 1971-2000(milímetros)  
 FUENTE: CONAGUA. Subdirección General Técnica, Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional.

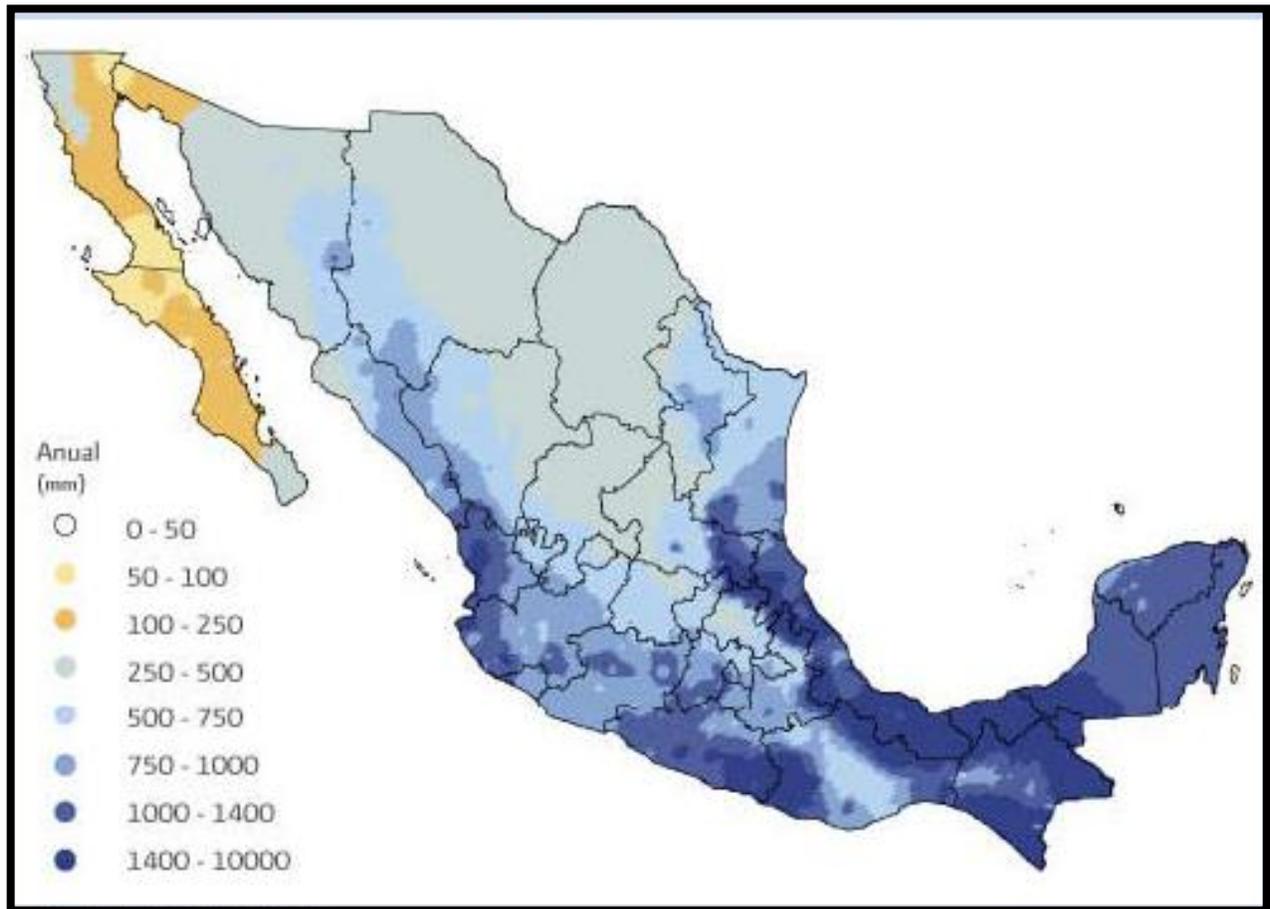
Región Hidrológico-Administrativa	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1. Península de Baja California	23.1	21.8	17.1	4.2	1.1	0.5	9	22.6	25.4	11.5	11.2	20.7	168.3
2. Noroeste	25.4	22.9	13.2	5.6	4.8	18.1	112.9	107.3	57.6	28.3	19.7	32.3	448.1
3. Pacífico Norte	26.7	12.5	6.8	5.3	9	63.2	187.6	191.3	134.8	52.5	29.2	28.7	747.7
4. Balsas	14.7	5.2	6.3	13.9	51.9	186.9	198.1	191.9	188.3	82.5	16.1	7.2	963
5. Pacífico Sur	9	8.1	7.7	20.4	79.3	243.5	205.8	223.8	247.4	110.6	20.6	9.1	1184.6
6. Río Bravo	16	12.3	9.6	16.1	29.9	48.8	75.1	81	80.4	35.4	14.8	16.5	435.9
7. Cuencas Centrales del Norte	15.8	6.2	5.2	12.2	27	58.9	86.5	85	71.5	31.9	13.1	14.4	427.6
8. Lerma-Santiago-Pacífico	21.3	6.2	3.8	6.5	23.7	131.4	202.9	185.6	145.7	58.4	17.3	12.2	817.9
9. Golfo Norte	26.3	17.2	20.9	40.5	75.8	140.3	143.3	129.6	176.6	81.6	30.4	28.5	910.9
10. Golfo Centro	44.3	34.4	29.7	40.3	84.6	224.4	252.7	252.6	279.4	163.6	86.9	59.8	1552.8
11. Frontera Sur	59.4	53.6	38.2	52.1	137	275	219.1	266.1	332.6	222.5	112.9	77.3	1845.6
12. Península de Yucatán	46.6	31.6	28.4	37.9	84.6	170.7	161.1	175.8	212.2	144.7	73.7	51.9	1219.2
13. Aguas del Valle de México	9.3	8.3	12.6	27.9	56.1	105.2	115.7	105.9	98.7	50.8	12.6	7	610.2
Total	25	17.2	13.6	18.4	41.4	104.4	136.9	139.8	136.4	69.3	30.6	26.5	759.6

Cuadro No. 12. Precipitación pluvial normal mensual, por Región Hidrológico-Administrativa, en el periodo de 1971-2000 (milímetros)  
 FUENTE: CONAGUA. Subdirección General Técnica, Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional.

A continuación se presenta la precipitación normal por entidad federativa en el periodo de 1971 a 2000. Se observa por ejemplo que en Tabasco, la entidad más lluviosa, la precipitación durante dicho periodo fue 13 veces mayor que en Baja California Sur, la entidad más seca. En la mayor parte de las entidades federativas, la precipitación ocurre predominantemente entre junio y septiembre, con excepción de Baja California y Baja California Sur, donde ésta se presenta principalmente en el invierno.

Entidad Federativa	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Aguascalientes	18.1	5.7	2.8	7.2	21.1	75.9	130.2	114.7	78.8	35.8	10.8	11.3	512.5
Baja California	30.8	34.6	30.6	7.8	1.7	0.6	3.9	8	9	10.9	13.5	24.2	175.7
Baja California Sur	15.6	9.1	3.8	0.6	0.6	0.5	14.2	37	41.5	12.1	8.9	17.2	161
Campeche	48.2	32.3	26.2	33.6	79.3	190.3	174.5	204.3	240.4	166.9	86.4	54.5	1336.8
Coahuila de Zaragoza	14.4	10.2	8.3	16.9	33.4	48.7	54.7	61.4	69.7	33	14.1	14.2	379
Colima	29.1	3.3	1.5	0.8	13.6	130.7	206.7	217	217.2	88.8	27.2	10.5	946.4
Chiapas	40.6	37.5	31.9	51.7	148.1	287.5	229.1	275.3	333.3	191.3	84.9	52.6	1763.9
Chihuahua	17.1	13.7	7.4	7.5	12.3	30	113.2	109	75.4	30.6	15.9	20.9	462
Distrito Federal	9.6	6.6	12.3	29.6	69.2	168.6	194	192.3	161.4	73.6	12.9	7.2	937.4
Durango	20.1	7.1	4.7	6.2	13.9	67.4	138.3	136.7	99.5	38.2	18.8	19.7	570.6
Guanajuato	13	5.8	5.7	13.7	36.1	101.6	142.4	121.8	96.8	41.2	10.2	8.5	596.8
Guerrero	13.3	4.2	3.7	6.8	45.2	237.7	234.4	245.4	262.5	117.7	16.8	7.3	1195
Hidalgo	20	17.5	22.2	39.3	67.7	124.5	131.3	119.5	155.7	82.2	32.3	19.6	831.8
Jalisco	22.9	6.4	3.4	4.5	20.6	150.2	224.1	201	162.7	64.7	20.5	12.2	893.1
México	13.3	8.1	10.2	23	61.9	155.7	176.5	165.7	145.1	66.9	15.5	8.8	850.6
Ocampo	21.8	4.3	4	6.9	30.8	157.2	208.6	197.6	145.4	77.7	18.2	8.7	911.1
Morelos	10.8	4	5.7	14.8	62.1	211	193.8	199.9	187.2	72.5	14	5.5	981.4
Nayarit	28.8	8.8	2.2	1.8	9.7	198.1	311.2	315.5	252.5	74.5	23.6	19.2	1185.8
Nuevo León	24	16	18.4	35.5	64.8	78.1	56.8	79.5	118.7	53.1	20.1	19.5	584.5
Oaxaca	14.3	13.8	12.9	27.8	90.2	225.3	205.9	214.1	223.7	101.6	33.1	19.2	1181.8
Puebla	19.1	17	21.4	39.5	83.3	183.6	166.9	160.3	190.6	95.9	35.7	20.7	1034.1
Querétaro Arteaga	15.4	10.2	15.6	27.3	52.6	120.4	133.9	117.7	133.4	60.8	22.4	14.8	724.4
Quintana Roo	53.9	35.2	32.9	44.7	96.8	167.8	155.6	160.4	204	144.5	79.5	59.2	1234.4
San Luis Potosí	20.5	10.7	13	29.7	59.8	110.8	126.5	98.8	127	56.5	19.8	19.3	692.5
Sinaloa	25.3	12.2	6.5	4.2	4.5	43.3	184	194.4	136.2	57.7	32.8	29	730.1
Sonora	24.5	22.3	13	5.2	4	14.7	105.4	101	53.4	27.2	18.9	31.7	421.2
Tabasco	115	101	57.4	55.3	107.6	241.2	191.4	242.3	332.3	315.1	194.5	149.3	2102
Tamaulipas	26.1	15.3	19.1	40	75.9	116.1	99.4	107.7	145.9	67.2	24	26.9	763.6
Tlaxcala	8	8.9	15.7	38.5	75.3	130.9	120.8	116.9	107.9	55.1	14.6	7.5	700
Veracruz Ignacio de la Llave	53.1	40.1	33.6	43.1	84.2	217.8	250.7	246.4	293.5	178.7	97.9	71.4	1610.6
Yucatán	38.8	29.4	28.1	37.3	80.1	148.3	148.6	152.6	184.5	120.1	54.3	44.5	1066.6
Zacatecas	17.9	6.2	3.2	7.4	21.4	69.4	103.7	99.5	71.8	33.9	12.9	13.7	460.8
Nacional	25	17.2	13.6	18.4	41.4	140.4	136.9	139.8	136.4	69.3	30.6	26.5	759.6

**Cuadro No. 13. Precipitación pluvial normal mensual por entidad federativa, periodo de 1971-2000 (milímetros) FUENTE: CONAGUA.** Subdirección General Técnica, Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional.



**Figura No. 11. Distribución de la precipitación pluvial anual en México (1971-2000)**

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General Técnica, Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional.

La precipitación acumulada ocurrida en la República Mexicana del 1° de enero al 31 de diciembre del año 2007 alcanzó una lámina de 812.2 mm, lo cual fue 6.9% superior a la normal del periodo de 1971 a 2000 (759.6 mm).

### **2.3.5. Aguas superficiales.**

#### **2.3.5.1. Ríos.**

Los ríos y arroyos del país constituyen una red hidrográfica de 633 mil kilómetros, en la que destacan 50 ríos principales por los que fluye el 87% del escurrimiento superficial del país y cuyas cuencas cubren el 65% de la superficie de la extensión territorial continental del país.

Dos terceras partes del escurrimiento superficial pertenece a siete ríos: Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas, Pánuco, Santiago y Tonalá.

La superficie de sus cuencas representa el 22% de la del país. Los ríos Balsas y Santiago pertenecen a la vertiente del Pacífico y los otros cinco a la vertiente del Golfo

de México. Por la superficie que abarcan, destacan las cuencas de los ríos Bravo y Balsas, y por su longitud, destacan los ríos Bravo, y Grijalva-Usumacinta.

Los ríos Lerma, Nazas y Aguanaval pertenecen a la vertiente interior.

No.	Río	Región Hidrológico Administrativa	Escorrentamiento natural medio superficial (millones de m <sup>3</sup> /año)	Área de la Cuenca (Km <sup>2</sup> )	Longitud del Río (Km <sup>2</sup> )	Orden máximo
1	Balsas	IV Balsas	16 587	117 406	770	7
2	Santiago	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	7 849	76 416	562	7
3	Verde	V Pacífico Sur	5 937	18 812	342	6
4	Ometepec	V Pacífico Sur	5 779	6 922	115	4
5	Fuerte	III Pacífico Norte	5 176	33 590	540	6
6	Papagayo	V Pacífico Sur	4 237	7 410	140	6
7	San Pedro	III Pacífico Norte	3 417	26 480	255	6
8	Yaqui	II Noroeste	3 166	72 540	410	6
9	Culiacán	III Pacífico Norte	3 161	15 731	875	5
10	Suchiate	XI Frontera Sur	2 737	203	75	2
11	Ameca	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	2 236	12 214	205	5
12	Sinaloa	III Pacífico Norte	2 126	12 260	400	5
13	Armería	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	2 015	9 795	240	5
14	Coahuayana	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	1 867	7 114	203	5
15	Colorado	I Península de Baja California	1 863	3 840	160	6
16	Baluarte	III Pacífico Norte	1 838	5 094	142	5
17	San Lorenzo	III Pacífico Norte	1 680	8 919	315	5
18	Acaponeta	III Pacífico Norte	1 438	5 092	233	5
19	Piactla	III Pacífico Norte	1 415	11 473	220	5
20	Presidio	III Pacífico Norte	1 250	6 479	NO	4
21	Mayo	II Noroeste	1 232	15 113	386	5
22	Tehuantepec	V Pacífico Sur	950	10 090	240	5
23	Coatán	XI Frontera Sur	751	605	75	3
24	Tomatlán	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	668	2 118	NO	4
25	Marabasco	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	648	2 526	NO	5
26	San Nicolás	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	543	2 330	NO	5
27	Elota	III Pacífico Norte	506	2 324	NO	4
28	Sonora	II Noroeste	408	27 740	421	5
29	Concepción	II Noroeste	123	25 808	335	2
30	Matape	II Noroeste	90	6 606	205	4
31	Tijuana	I Península de Baja California	78	3 203	143	4
32	Sonoyta	II Noroeste	16	7 653	311	5
		Total	81 781	56 3906	8 318	

No.	Río	Región Hidrológico Administrativa	Escorrentamiento natural medio superficial (millones de m <sup>3</sup> /año)	Área de la Cuenca (Km <sup>2</sup> )	Longitud del Río (Km <sup>2</sup> )	Orden máximo
33	Grijalva- Usumacinta	XI Frontera Sur	115 536	83 553	1 521	7
34	Papaloapan	X Golfo Centro	44 662	46 517	354	6
35	Coatzacoalcos	X Golfo Centro	28 093	17 369	325	5
36	Pánuco	IX Golfo Norte	20 330	84 956	510	7
37	Tonalá	XI Frontera Sur	11 389	5 679	82	5
38	Tecolutla	X Golfo Centro	6 095	7 903	375	5
39	Bravo	VI Rio Bravo	5 588	226 280	2 018	7
40	Jamapa	X Golfo Centro	2 563	4 061	368	4
41	Nautla	X Golfo Centro	2 217	2 785	124	4
42	La Antigua	X Golfo Centro	2 139	2 827	139	5
43	Soto La Marina	IX Golfo Norte	2 086	21 183	416	6
44	Tuxpan	X Golfo Centro	2 076	5 899	150	4
45	Candelaria	XII Península de Yucatán	2 011	13 790	150	4
46	Cazones	X Golfo Centro	1 712	2 688	145	4
47	San Fernando	IX Golfo Norte	1 545	17 744	400	5
48	Hondo	XII Península de Yucatán	533	7 614	115	4
		Total	248 572	550 848	7 192	
49	Lerma	VIII Lerma-Santiago-Pacifico	4 742	47 116	708	6
		VII Cuencas Centrales del		89 239		
50	Nazas-Aguanval	Norte	1 912		1 081	7
		Total	6 654	13 6355	1 789	

**Cuadro No. 14. Características de los ríos principales de la vertiente del Golfo de México y Mar Caribe, jerarquizados por escurrimiento natural medio superficial**

NOTAS: <sup>a</sup> Los datos del escurrimiento natural medio superficial representan el valor medio anual de su registro histórico.

<sup>b</sup> Este río se considera dentro de la vertiente interior porque desemboca en el Lago de Chapala.

Orden determinado conforme al método Strahler

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General Técnica.

### 2.3.6. Aguas subterráneas.

La importancia del agua subterránea queda de manifiesto por la magnitud del volumen utilizado por los principales usuarios; cerca del 37% (28.9 miles de millones de m<sup>3</sup>/año) del volumen total concesionado para usos consuntivos es de origen subterráneo. Para fines de administración del agua subterránea, el país se ha dividido en 653 acuíferos, cuyos nombres oficiales fueron publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 5 de diciembre de 2001. Al cierre de esta edición se tenían 282 acuíferos con

disponibilidad de agua subterránea publicada en el DOF. Esta información se encuentra en el disco compacto que acompaña a esta publicación.

### 2.3.6.1. Sobreexplotación de acuíferos.

A partir de la década de los setentas, ha venido aumentando sustancialmente el número de acuíferos sobreexplotados, 32 en 1975, 36 en 1981, 80 en 1985, 97 en 2001, 102 en 2003 y 104 en el 2006. Sin embargo, en el año 2007 se redujo el número a 101. De éstos se extrae el 58% del agua subterránea para todos los usos.

Regio Hidrológica  Administrativa	Numero de Acuíferos				
	Total	Sobreexplotado	Con intrusión marina	Bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterránea salobres	Recarga media (mill.m <sup>3</sup> )
1. Península de baja California	87	7	9	4	1 249
2. Noroeste	63	13	5	0	3 130
3. Pacifico Norte	24	2	0	0	3 263
4. Balsas	46	2	0	0	4 601
5. Pacifico Sur	35	0	0	0	1 994
6. Río Bravo	100	15	0	4	5 167
7. Cuencas Centrales del Norte	68	24	0	8	2 274
8. Lerma-Santiago-Pacifico	127	32	1	0	7 686
9. Golfo Norte	40	2	0	0	1 274
10. Golfo Centro	22	0	2	0	3 849
11. Frontera Sur	23	0	0	0	18 015
12. Península de Yucatán	4	0	0	1	25 316
13. Aguas del Valle de México	14	4	0	0	1 834
<b>Total</b>	<b>653</b>	<b>101</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>79 651</b>

**Cuadro No. 15. Acuíferos del país, por Región Hidrológico-Administrativa, 2007**

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General Técnica.

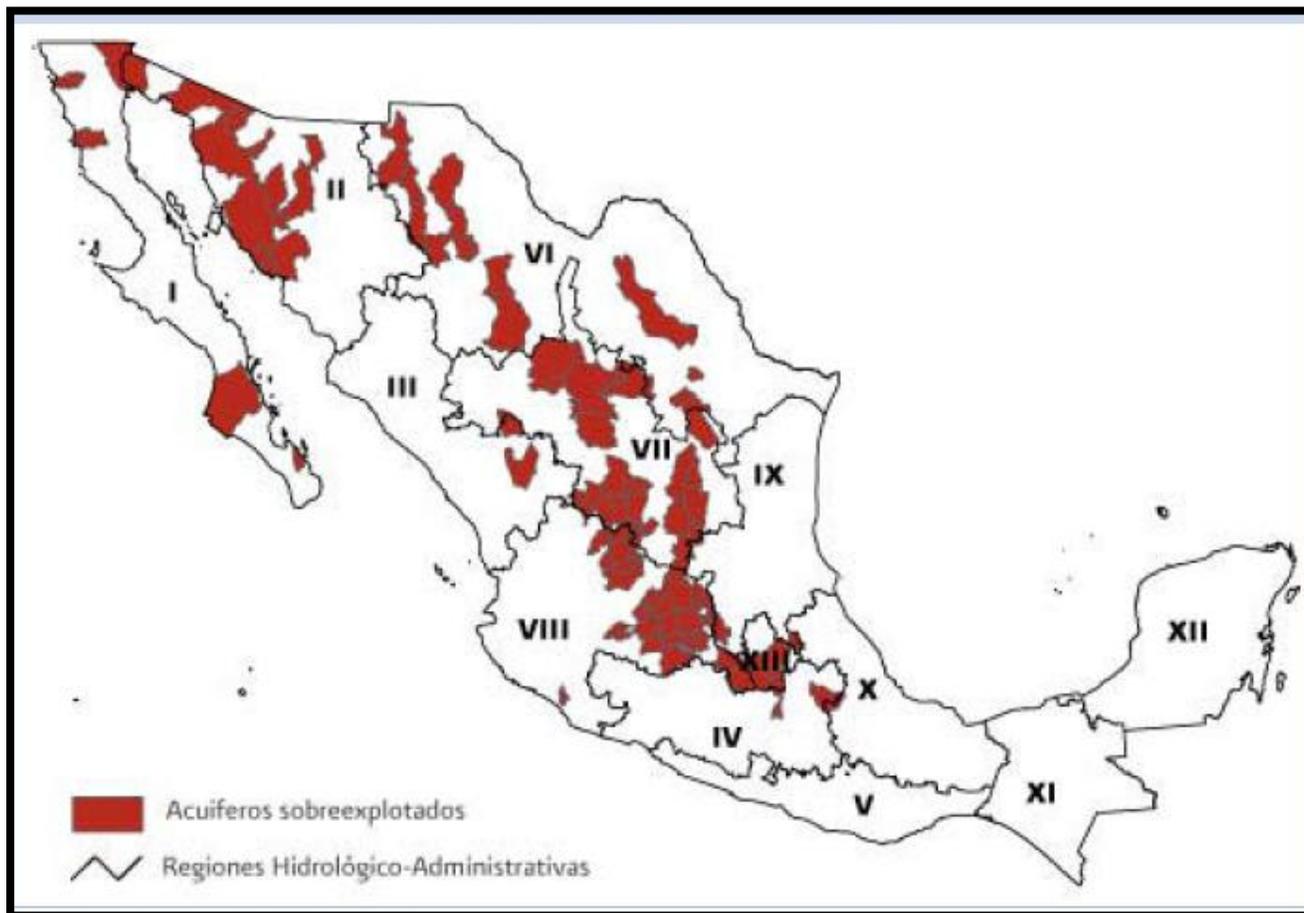


Figura No. 12. Acuíferos del país, por Región Hidrológico-Administrativa, 2007  
 FUENTE: CONAGUA. Subdirección General Técnica.

### Acuíferos Sobre explotados.

No.	Región Hidrológica Administrativa	Clave del Acuífero	Unidad Hidrogeológica (acuífero)
51	VII	2 409	Villa Hidalgo

Cuadro No. 16. Sobre explotación del Acuífero en Villa Hidalgo, Durango, 2007  
 FUENTE: CONAGUA. Subdirección General Técnica.

### 2.4. Usos del Agua en México.

A continuación se muestra la información sobre los volúmenes concesionados del agua por entidad federativa, entre las cuales que destacan Sinaloa y Sonora, donde existen grandes superficies bajo riego.

Entidad Federativa	Volumen Total Concesionado	Agrícola	Abastecimiento Público	Industria Autoabastecida Sin Termoeléctricas	Termoeléctricas
1 Aguascalientes	625.3	495	118.9	11.4	0
2 Baja California	3 104.7	2 563.7	265.9	79.9	195.1
3 Baja California Sur	399.3	325.7	61.5	8.2	3.9
4 Campeche	619	476.8	125.4	16.8	0
5 Coahuila de Zaragoza	1 940.	1 606.3	185.3	73.5	74.9
6 Colima	1 650.7	1 561.0	61.5	24.4	3.8
7 Chiapas	1 676.8	1 385.9	261.5	29.4	0
8 Chihuahua	5 148.4	4 593.0	476.1	51.7	27.6
9 Distrito Federal	1 122.5	1.3	1 089.8	31.5	0
10 Durango	1 558.8	1 375.1	153.5	18.8	11.5
11 Guanajuato	4 059.2	3 395.6	587.1	56	20.5
12 Guerrero	4 259.6	837.9	287	12.5	3 122.1
13 Hidalgo	2 336.7	2 019.7	168	66.4	82.6
14 Jalisco	3 667.5	2 815	717.7	130.7	0.1
15 México	2 751.7	1 250.0	1 338.4	156.4	6.9
16 Ocampo	5 068.9	4 606.6	271.9	142.2	48.2
17 Morelos	1 233.6	9 16.1	258.5	59	0
18 Nayarit	1 186.6	1 025.9	105	55.7	0
19 Nuevo León	2 017.7	1 421.7	511.7	79.9	4.4
20 Oaxaca	1 087.7	847.8	200.8	39.1	0
21 Puebla	2 491.9	1 989.0	382.8	113.6	6.5
22 Querétaro Arteaga	1 019.0	660.3	291.7	61.3	5.7
23 Quintana Roo	459.8	93	91.1	275.6	0
24 San Luis Potosí	1 333.3	1 092.3	170.8	29.2	41
25 Sinaloa	9 164.3	8 608.4	509.6	46.4	0
26 Sonora	7 394.2	6 361.6	954.6	78	0
27 Tabasco	395.2	153.5	182.8	58.9	0
28 Tamaulipas	3 775.7	3 300.2	317.7	103.7	54
29 Tlaxcala	283.8	178.9	85.5	19.4	0
30 Veracruz Ignacio de la Llave	4 591.7	2 504.7	568.5	1 150.6	367.9
31 Yucatán	1 102.7	814.5	245.1	33.6	9.5
32 Zacatecas	1 427.5	1 295.5	112.5	19.5	0
Total	78 949.6	60 571.9	11 158.0	3 133.4	4 086.2

**Cuadro No. 17. Volumen concesionado para usos consuntivos, por entidad federativa, 2007(millones de metros cúbicos, hm<sup>3</sup>)**

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos la Subdirección de Administración del Agua.

#### **2.4.1.1. Uso agrícola.**

El principal uso del agua en México es el agrícola, el cual se refiere principalmente al agua utilizada para el riego de cultivos. La superficie dedicada a las labores agrícolas en México varía entre los 20 y 25 millones de hectáreas, con una superficie cosechada de entre 18 a 22 millones de hectáreas por año. El valor de la producción directa equivale al 6.5% del PIB nacional. Por otra parte, la población ocupada en este rubro oscila entre los 4 y 5 millones de personas y se estima que dependen directamente de la actividad entre 20 y 25 millones de mexicanos, en su mayoría población rural.

México ocupa el sexto lugar mundial en términos de superficie con infraestructura de riego con 6.46 millones de hectáreas. El 54% de la superficie bajo riego corresponde a 85 Distritos de Riego y el 46% restante a más de 39 mil Unidades de Riego.

#### **2.4.1.2. Uso para abastecimiento público.**

El uso para abastecimiento público incluye la totalidad del agua entregada a través de las redes de agua potable, las cuales abastecen a los usuarios domésticos (domicilios), así como a las diversas industrias y servicios conectados a dichas redes.

De acuerdo con los Censos de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua realizados por el INEGI a los organismos operadores del país, se determinó que en el 2003 el 82% del agua suministrada por las redes de agua potable fue para uso doméstico y el 18% restante para industrias y servicios. Por otro lado, comparando los datos de 1998 con los de 2003 de los Censos, se observa que en estos cinco años el volumen de agua empleada por los organismos operadores se incrementó en 22%. Otro dato relevante es que en el año 2003 el porcentaje de agua facturada respecto al total de agua empleada por los organismos operadores fue del 49%, lo que indica que el restante 51% del volumen se perdió en fugas, fue objeto de tomas clandestinas o bien correspondió a deficiencias en el padrón de usuarios.

#### **2.4.1.3. Uso en industria autoabastecida.**

En este rubro, se incluye la industria que toma su agua directamente de los ríos, arroyos, lagos o acuíferos del país. Los principales giros industriales son los que

corresponden a la industria química y la producción de azúcar, petróleo, celulosa y papel.

#### 2.4.1.4. Uso en termoeléctricas.

El agua incluida en este rubro se refiere a la utilizada en centrales de vapor, duales, carboeléctricas, de ciclo combinado, de turbogás y de combustión interna. En el año 2007, las centrales termoeléctricas generaron 198.79 TWh, lo que representó el 87.0% del total de energía eléctrica producida en el país. En las plantas correspondientes existe una capacidad instalada de 38 799 MW, es decir el 77.8% del total del país.

Cabe aclarar que el 76% del agua concesionada a termoeléctricas en el país corresponde a la planta carboeléctrica de Petacalco, ubicada en las costas de Guerrero, muy cerca de la desembocadura del río Balsas.

Parámetro/Año	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Generación de energía termoeléctrica (TWh)	147.07	157.39	167.11	174.6	181.95	181.24	188.78	191.78	198.79
Generación total de energía eléctrica (TWh)	179.07	190	194.92	198.88	200.94	205.39	215.63	221	228.49
Capacidad termoeléctrica instalada (MW)	25 449	25 995	28 312	30 971	34 348	35 423	35 306	37 572	38 799
Capacidad total instalada (MW)	34 839	35 385	37 691	40 350	43 727	45 687	45 576	47 857	49 854

**Cuadro No. 18. Generación de energía termoeléctrica y capacidad instalada, serie anual de 1999 a**

2007NOTA: 1 TWh = 1000 GWh

FUENTE: Comisión Federal de Electricidad. [www.cte.gob.mx/es/La Empresa/](http://www.cte.gob.mx/es/La Empresa/) generación electricidad

#### 2.4.1.5. Uso en hidroeléctricas.

Los usos anteriormente descritos se conocen como consuntivos, ya que se consume agua para llevar a cabo una actividad específica de acuerdo al tipo de uso. Por otra parte, para la generación de energía hidroeléctrica, es un uso no consuntivo, debido a que no se consume el agua utilizada. A nivel nacional, las Regiones Hidrológico-Administrativas XI Frontera Sur y IV Balsas son las que tienen una concesión de agua más importante en este uso, ya que en estas regiones se encuentran los ríos más caudalosos y por tanto las centrales hidroeléctricas más grandes del país. Cabe destacar que la región, XII Península de Yucatán, no cuenta con centrales hidroeléctricas.

### 2.4.1.6. Grado de presión sobre el recurso.

El porcentaje que representa el agua utilizada para usos consuntivos respecto a la disponibilidad total es un indicador del grado de presión que se ejerce sobre el recurso hídrico en un país, cuenca o región. Se considera que si el porcentaje es mayor al 40%, se ejerce una fuerte presión sobre el recurso. El país en su conjunto experimenta un grado de presión del 17%, lo cual se considera de nivel moderado; sin embargo, la zona centro, norte y noroeste del país experimenta un grado de presión del 47%, lo cual se considera como presión fuerte sobre el recurso. En la tabla siguiente se muestra el indicador para cada una de las Regiones Hidrológico-Administrativas del país.

Región Hidrológica Administrativa	Volumen total de agua concesionado mill.m <sup>3</sup>	Disponibilidad natural media mill.m <sup>3</sup>	Grado de presión Sobre el hídrico (%)	Clasificación del grado de presión
1. Península de baja California	3 503.9	4 616	75.91	Fuerte
2. Noroeste	7 572.8	8 204	92.3	Fuerte
3. Pacífico Norte	10 376.5	25 627	40.49	Fuerte
4. Balsas	10 778.1	21 657	49.77	Fuerte
5. Pacífico Sur	1 343.2	32 794	4.1	Escasa
6. Río Bravo	9 191.3	12 024	76.44	Fuerte
7. Cuencas Centrales del Norte	3 834.3	7 780	49.28	Fuerte
8. Lerma-Santiago-Pacífico	13 872.9	34 037	40.76	Fuerte
9. Golfo Norte	4 681.4	25 500	18.36	Moderada
10. Golfo Centro	4 867.3	95 455	5.1	Escasa
11. Frontera Sur	2 128.7	157 754	1.35	Escasa
12. Península de Yucatán	2 133.7	29 645	7.2	Escasa
13. Aguas del Valle de México	4 665.4	3 008	155	Fuerte
Total	78 949.5	458 100	17.23	Moderada

**Figura No. 19. Grado de presión sobre el recurso hídrico, por Región Hidrológico-Administrativa,**

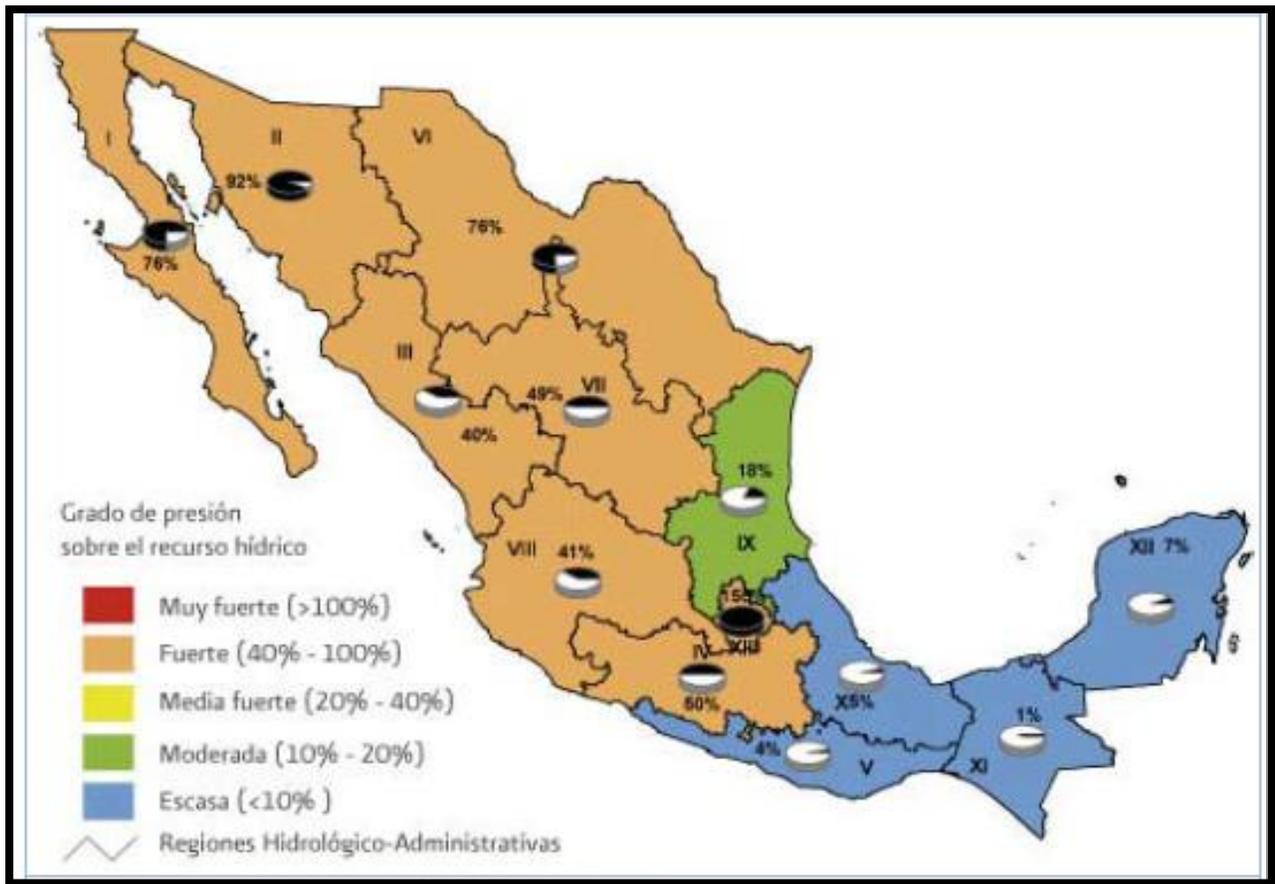
**2007**NOTAS: Las sumas pueden no coincidir por el redondeo de las cifras.

Grado de presión sobre el recurso hídrico =  $100 \times (\text{Volumen total de agua concesionado} / \text{Disponibilidad natural media de agua})$ .

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de:

CONAGUA. Subdirección General de Administración del Agua.

CONAGUA. Subdirección General Técnica.



**Figura No. 13. Grado de presión sobre el recurso hídrico por Región Hidrológico-Administrativa, 2007**  
 FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de:  
 CONAGUA. Subdirección General de Administración del Agua.  
 CONAGUA. Subdirección General Técnica.

#### 2.4.1.7. Agua virtual en México.

El agua virtual se define como la cantidad total de este líquido que se utiliza o integra a un producto, bien o servicio. Por ejemplo, para producir un kilogramo de trigo en México se requieren, en promedio 1 000 litros de agua, mientras que para llevar un kilogramo de carne de res a la mesa de una persona se requieren 13 500 litros. Estos valores varían según el país. Debido a los intercambios comerciales de México con otros países del mundo, en el año 2007, México exportó 5 936 millones de metros cúbicos de agua virtual, e importó 33 977, es decir tuvo una importación neta de agua virtual de 28 041 millones de metros cúbicos. De esta cantidad, el 57% está la relacionada con productos agrícolas, el 36 % con productos animales y el 7% restante con productos industriales. Los tres productos con mayor volumen de agua virtual que se exportó en 2007, fueron los frutos comestibles con 1 042 millones de metros cúbicos, las carnes y despojos comestibles con 767 millones de metros cúbicos y las legumbres y hortalizas con 740

millones de metros cúbicos. Los productos industriales exportados de mayor volumen de agua fueron de la Industria Siderúrgica con 656 millones de metros cúbicos y la Industria del Petróleo con 155 millones de metros cúbicos. En tanto que los tres productos con los cuales se importó una mayor cantidad de agua virtual fueron los cereales con 11 367 millones de metros cúbicos, las carnes y despojos comestibles con 10 046 millones de metros cúbicos y las semillas y frutos con 6 815 millones de metros cúbicos. Con respecto a la industria, las mayores importaciones se tuvieron en el ramo de la siderúrgica con 908 hm<sup>3</sup> y los productos químicos orgánicos con 357 hm<sup>3</sup>.

## **2.5. Infraestructura Hidráulica de México.**

### **2.5.1. Infraestructura hidráulica del país**

Dentro de la infraestructura hidráulica con que cuenta el país para proporcionar el agua requerida para los diferentes usuarios nacionales, destaca la siguiente:

4 000 presas de almacenamiento.

6.46 millones de hectáreas con riego.

2.74 millones de hectáreas con temporal tecnificado.

541 plantas potabilizadoras en operación.

1 710 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación.

2 021 plantas de tratamiento de aguas residuales industriales en operación.

3 000 km de acueductos.

### **2.5.2. Principales presas de México**

Existen alrededor de 4 mil presas en México, de las cuales 667 están clasificadas como grandes presas, de acuerdo con la definición de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD, por sus siglas en inglés). La capacidad de almacenamiento de las presas del país es de 150 mil millones de m<sup>3</sup>. El volumen almacenado en estas presas, en el periodo de 1990 a 2007, se muestra a continuación, tanto para el ámbito nacional como regional. Este volumen depende de la precipitación y los escurrimientos en las distintas regiones del país.

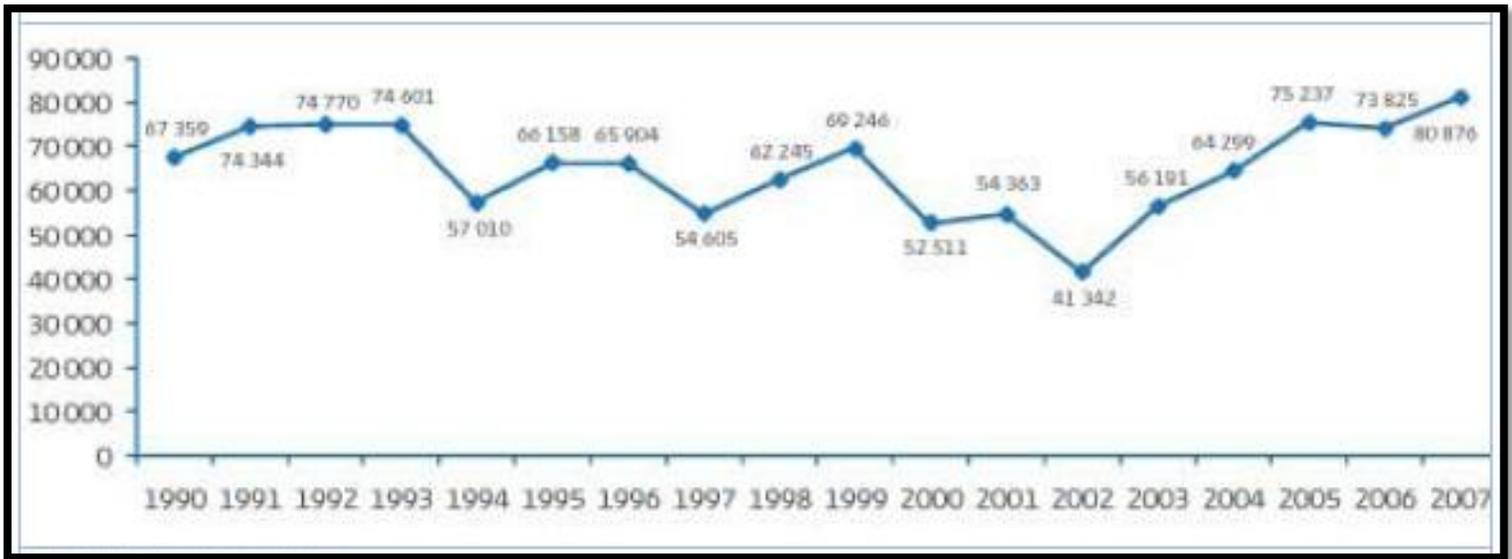


Figura No. 14. Volumen almacenado en las principales presas de México, serie anual de 1990 a 2007 (millones de metros cúbicos)  
 FUENTE: CONAGUA. Subdirección General Técnica.

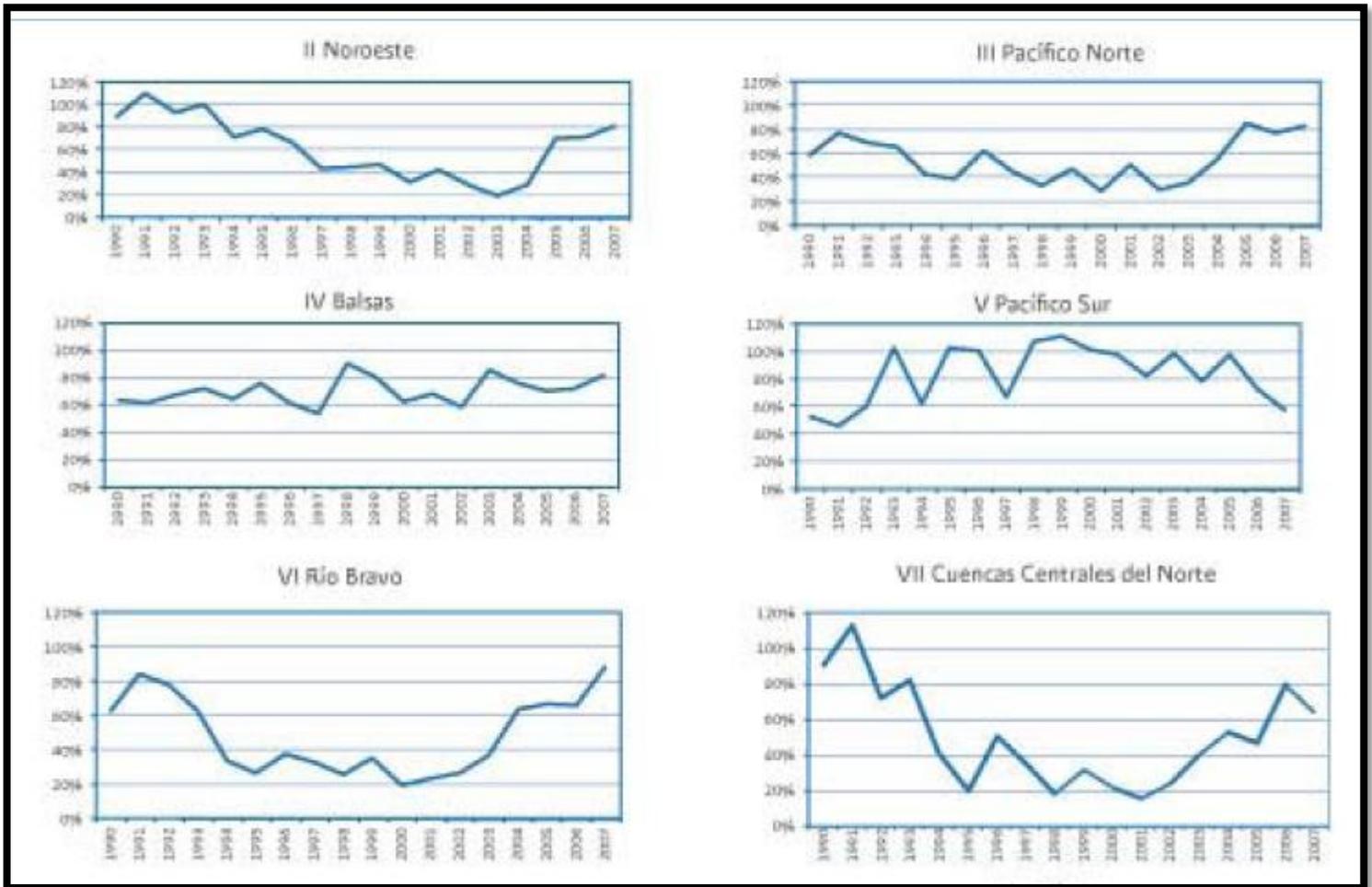
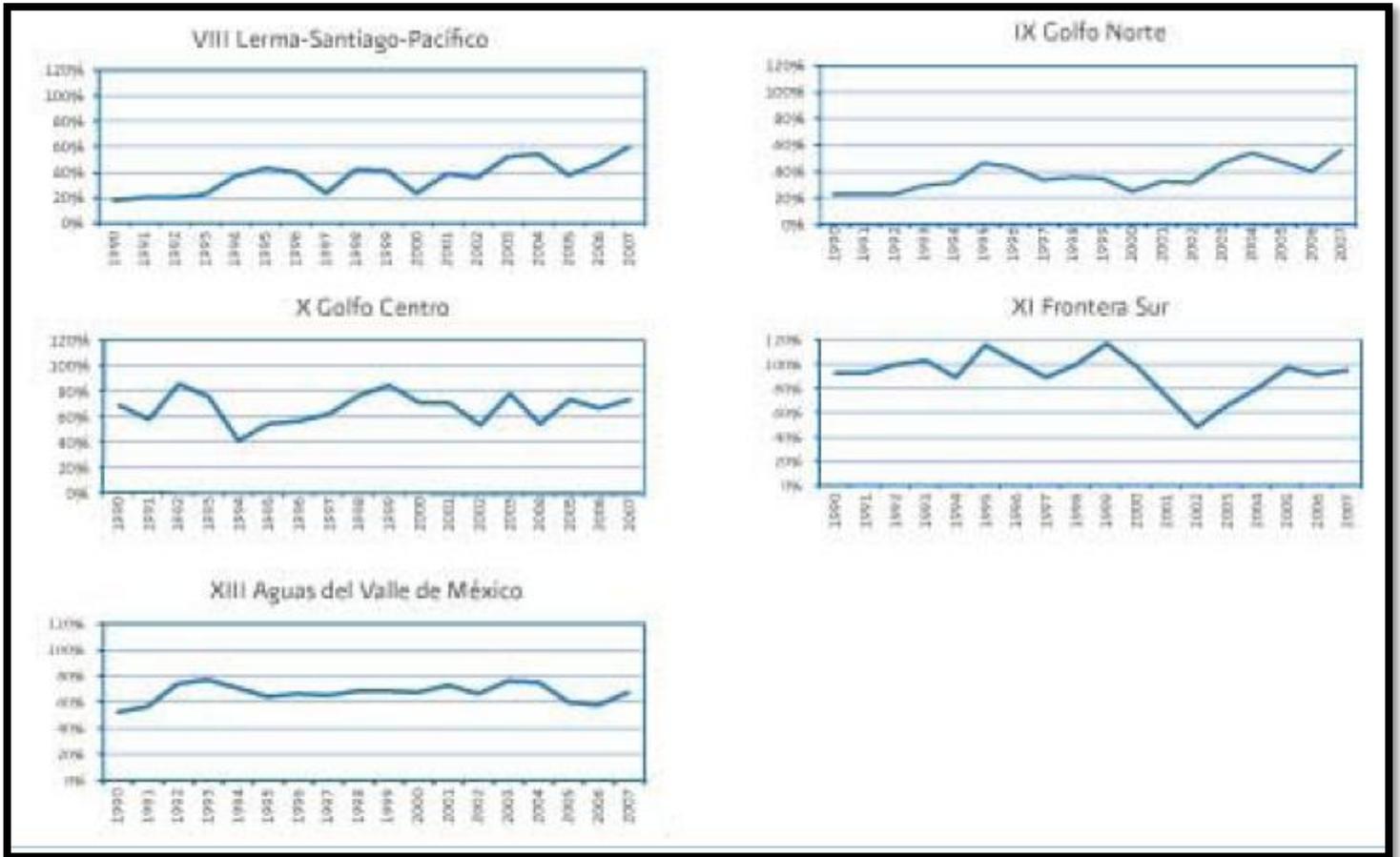


Figura No. 15. Porcentaje de almacenamiento por Región Hidrológico Administrativa en las principales presas de México, serie anual de 1990 a 2007  
 FUENTE: CONAGUA. Subdirección General Programación. Elaborado a partir de datos de la Subdirección General Técnica.



**Figura No. 15. Porcentaje de almacenamiento por Región Hidrológico Administrativa en las principales presas de México, serie anual de 1990 a 2007**  
 FUENTE: CONAGUA. Subdirección General Programación. Elaborado a partir de datos de la Subdirección General Técnica.



No.	Nombre Oficial	Nombre Común	Capacidad Total mill. de m <sup>3</sup>	Altura de la cortina (m)	Año de terminación	Región Hidrológico	Entidad	Usos	Capacidad Efectiva (MW)
						Administrativa	Federativa		
1	Belisario Domínguez	La Angostura	10 727	143	1974	Frontera Sur	Chiapas	G	900
2	Netzahualcóyotl	Malpaso	9 605	138	1964	Frontera Sur	Chiapas	G	1 080
3	Infiernillo	Infiernillo	9 340	149	1963	Balsas	Guerrero-Michoacán	G, C	1 000
4	Presidente Miguel Alemán	Temascal	8 119	76	1955	Golfo Centro	Oaxaca	G, C	354
5	Solidaridad	Aguamilpa	5 540	186	1993	Lerma-Santiago-Pacífico	Nayarit	G, I	960
6	Gral. Vicente Guerrero	Las Adjuntas	3 900	60	1971	Golfo Norte	Tamaulipas	I, A	
7	Internacional la Amistad	La Amistad	3 887	77	1969	Rio Bravo	Coahuila-Texas	G, I, A, C	66
8	Internacional Falcón	Falcón	3 273	50	1953	Rio Bravo	Tamaulipas-Texas	A, C, G	32
9	Adolfo López Mateos	El Humaya	3 087	106	1964	Pacífico Norte	Sinaloa	G, I	90
10	Álvaro Obregón	El Oviachic	2 989	90	1952	Noroeste	Sonora	G, I	19
11	Plutarco Elías Calles	El Novillo	2 925	139	1964	Noroeste	Sonora	G, I	135
12	Miguel Hidalgo y Costilla	El Mahone	2 921	81	1956	Pacífico Norte	Sinaloa	G, I	60
13	Luis Donaldo Colosio	Huites	2 908	165	1995	Pacífico Norte	Sinaloa	G, I	422
14	La Boquilla	Lago Toronto	2 903	80	1916	Rio Bravo	Chihuahua	G, I	25
15	Lázaro Cárdenas	El Palmito	2 873	105	1946	Cuencas	Durango	I, C	
16	Leonardo Rodríguez Alcaine	El Cajón	2 282	186	2006	Lerma-Santiago-Pacífico	Nayarit	G	750
17	José López Portillo	El Comedero	2 250	134	1983	Pacífico Norte	Sinaloa	G, I	100
18	Gustavo Díaz Ordaz	Bacuarto	1 860	116	1981	Pacífico Norte	Sinaloa	G, I	92
19	Carlos Ramírez Ulloa	El Caracol	1 414	126	1986	Balsas	Guerrero	G	600
20	Manuel Moreno Torres	Chicoasén	1 376	261	1980	Frontera Sur	Chiapas	G	2 400
21	Ing. Fernando Hiriart	Zimapán	1 360	297	1996	Golfo Norte	Hidalgo	G	292

No.	Nombre Oficial	Nombre Común	Capacidad Total mill. de m <sup>3</sup>	Altura de la cortina (m)	Año de terminación	Región Hidrológico	Entidad	Usos	Capacidad Efectiva (MW)
						Administrativa	Federativa		
22	Venustiano Carranza	Don Martín	1 313	35	1930	Rio Bravo	Coahuila de Zaragoza	I, A, C	
23	Miguel de la Madrid	Cerro de Oro	1 250	70	1988	Golfo Centro	Oaxaca	G, I	360
24	Cuchillo-Solidaridad	El Cuchillo	1 123	44	1994	Rio Bravo	Nuevo León	A, I	
25	Ángel Albino Corzo	Peñitas	1 091	58	1986	Frontera Sur	Chiapas	G	420
26	Adolfo Ruiz Cortines	Mocusari	295	62	1955	Noroeste	Sonora	G, I	10
27	Benito Juárez	El Marqués	247	86	1961	Pacifico Sur	Oaxaca	I	
28	Marte R. Gómez	El Azúcar	824	49	1946	Rio Bravo	Tamaulipas	I	
29	Solís	Solís	728	52	1980	Lerma-Santiago-Pacifico	Guanajuato	I	
30	Lázaro Cárdenas	La Angostura	703	73	1942	Noroeste	Durango	I, C	
31	Sanalona	Sanalona	637	81	1948	Pacifico Norte	Sinaloa	G, I	14
32	Constitución de Apatzingán	Chilatán	601	105	1989	Balsas	Jalisco	I	
33	Estudiante Ramiro Caballero	Las Ánimas	571	31	1976	Golfo Norte	Tamaulipas	I	
34	José María Morelos	La Villita	541	73	1968	Balsas	Michoacán-G, I Guerrero	G, I	280
35	Josefa Ortiz de Domínguez	El Sabino	514	44	1967	Pacifico Norte	Sinaloa	I	
36	Cajón de Peña	Tomatlán	567	68	1976	Lerma-Santiago-Pacifico	Jalisco	I	
37	Chicayan	Paso de Piedras	557	30	1976	Golfo Norte	Veracruz de Ignacio de la Llave	I	
38	El Gallo	El Gallo	441	30	1991	Balsas	Guerrero	G	60
39	Tepuxtepec	Tepuxtepec	425	43	1972	Lerma-Santiago-Pacifico	Michoacán	G, I	79.5

No.	Nombre Oficial	Nombre Común	Capacidad Total mill. de m <sup>3</sup>	Altura de la cortina (m)	Año de terminación	Región Hidrológico	Entidad Federativa	Usos	Capacidad Efectiva (MW)
						Administrativa			
40	Valle de Bravo	Valle de Bravo	418	56	1944	Balsas	México	A	
41	Aurelio Benassini Viscaino	El Salto	415	73	1986	Pacifico Norte	Sinaloa	I	
42	Manuel M. Dieguez	Santa Rosa	403	114	1964	Lerma-Santiago-Pacifico	Jalisco	G	61
43	Francisco Zarco	Las Tortolas	365	40	1968	Cuencas Centrales	Durango	C, I	
44	Luis L. León	El Granero	356	62	1968	Rio Bravo	Chihuahua	I, C	
45	Plutarco Elías Calles	Calles	350	47	1931	Lerma-Santiago-Pacifico	Aguascalientes	I	
46	Francisco I. Madero	Las Vírgenes	348	57	1949	Rio Bravo	Chihuahua	I	
47	Manuel Ávila Camacho	Valsequillo	304	85	1946	Balsas	Puebla	I	
48	Guillermo Blake Aguilar	El Sabinal	300	81	1985	Pacifico Norte	Sinaloa	C, I	
49	José López Portillo	Cerro Prieto	300	50	1984	Rio Bravo	Nuevo León	A, I	
50	Vicente Guerrero	Palos Altos	250	67	1968	Balsas	Guerrero	I	
51	Gral. Ramón Corona Madrigal	Trigomil	250	105	1993	Lerma-Santiago-Pacifico	Jalisco	I	
52	Federalismo Mexicano	San Gabriel	247	44	1981	Rio Bravo	Durango	I, A	
	Total		103 466						10 661.5

**Cuadro No. 20. Capacidad de almacenamiento y uso de las principales presas de México, 2007**

NOTAS: a La capacidad total es al Nivel de Aguas Máximas Ordinarias o de Operación (NAMO).

G: Generación de energía eléctrica

I: Irrigación

A: Uso público

C: Control de avenidas

b: Esta presa forma parte del Sistema Cutzamala que es operado por el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México.

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General Técnica.

### 2.5.3. Infraestructura de agua potable y alcantarillado

#### 2.5.3.1. Cobertura de agua potable

La CONAGUA considera que la cobertura de agua potable incluye a las personas que tienen agua entubada dentro de la vivienda; fuera de la vivienda, pero dentro del terreno; de la llave pública o bien de otra vivienda. Los habitantes con cobertura no necesariamente disponen de agua con calidad potable. Tomando en cuenta esta definición y los resultados del Censo de Población y Vivienda del 2005, al 17 de octubre de ese año, el 89.2% de la población tenía cobertura de agua potable. La CONAGUA estima que al cierre de 2007, la cobertura de agua potable fue de 89.8%. A continuación se indica la evolución en la cobertura de agua potable a la población del país.

Fecha	Disponen de agua en el terreno (%)	Otra forma de abastecimiento (%)	Total (%)
12-Mar-90	75.4	3	78.4
05-Nov-95	83	1.6	84.6
14-Feb-00	83.3	4.5	87.8
17-Oct-05	87.1	2.1	89.2

**Cuadro No. 21. Composición de la cobertura nacional de agua potable, serie de datos censales de 1990 a 2005**

NOTA <sup>a</sup>Se refiere a agua entubada dentro de la vivienda, y fuera de la vivienda pero dentro del terreno.

<sup>b</sup>Se refiere a agua obtenida por acarreo, de llave pública o de otra vivienda.

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de:

CONAGUA. Cubos Portátiles de Información. 2008, Población, Vivienda y Agua, Usos del Agua e Hiper cubo.

Análisis de la Información del Agua de los Censos y Censos 1990 a 2005.

Septiembre de 2007.

Programa Nacional Hídrico 2007-2012. Así vamos... Avances 2007 y metas 2008.

INEGI. Censos y Censos Generales de Población y Vivienda. INEGI. Información publicada en varios formatos.

#### 2.5.3.2. Cobertura de alcantarillado

Por otro lado, la CONAGUA considera que la cobertura de alcantarillado incluye a las personas que tienen conexión a la red de alcantarillado o una fosa séptica, o bien a un desagüe, a una barranca, grieta, lago o mar. Es oportuno mencionar que para fines de este documento, se considera al alcantarillado y al drenaje como sinónimos. Tomando en cuenta esta definición y los resultados del Censo de Población y Vivienda del 2005, al 17 de octubre de ese año el 85.6% de la población tenía cobertura de alcantarillado. La CONAGUA estima que al cierre de 2007, la cobertura de alcantarillado fue de

86.1%. A continuación se indica la composición en la cobertura de alcantarillado a nivel nacional.

Fecha	Conectado a la red pública (%)	Conectado a la Fosa Séptica (%)	Otros (%)	Total (%)
12-Mar-90	51.1	8.6	2.8	61.5
05-Nov-95	57.5	11.7	3.2	72.4
14-Feb-00	61.5	11.4	3.3	76.2
17-Oct-05	67.6	15.9	2.1	85.6

**Cuadro No. 22. Composición de la cobertura nacional de agua potable, serie de datos censales de 1990 a 2005**

NOTA <sup>a</sup> Se refiere a agua entubada dentro de la vivienda, y fuera de la vivienda pero dentro del terreno.

<sup>b</sup> Se refiere a agua obtenida por acarreo, de llave pública o de otra vivienda.

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de: CONAGUA.

Cubos Portátiles de Información. 2008, Población, Vivienda y Agua,

Usos del Agua e Hiper cubo.

Análisis de la Información del Agua de los Censos y Conteos 1990 a 2005. Septiembre de 2007.

Programa Nacional Hídrico 2007-2012. Así vamos... Avances 2007 y metas

2008.

INEGI. Conteos y Censos Generales de Población y Vivienda. INEGI. Información publicada en varios

Población	Censo 1990 (%)	Conteo 1995 (%)	Censo 2000 (%)	Conteo 2005 (%)
	12-Mar-90	05-Nov-95	14-Feb-00	17-Oct-05
Urbana	89.4	93	94.6	95
Rural	51.2	61.2	68	70.7
Total	78.7	84.6	87.8	89.2
<b>Alcantarillado</b>				
Urbana	79	87.8	89.6	94.5
Rural	18.1	29.6	36.7	57.5
Total	61.5	72.4	76.2	85.6

**Cuadro No. 23. Cobertura de la población con agua potable y alcantarillado, según ámbito urbano y rural en México, serie de años censales de 1990 a 2005**

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de:

CONAGUA. Cubos Portátiles de Información. 2008, Población, Vivienda y Agua; Usos del Agua e Hiper cubo.

INEGI. Conteos y Censos Generales de Población y Vivienda. INEGI. Información publicada en varios formatos.

A continuación se indican las coberturas de agua potable y alcantarillado por Región Hidrológico-Administrativa. Se observa que los mayores rezagos en ambos rubros se presentan en las regiones V Pacífico Sur, XI Frontera Sur y X Golfo Centro.

Región Hidrológico Región Administrativa	Agua Potable (%)				Alcantarillado (%)			
	12-Mar-90	05-Nov-95	14-Feb-00	17-Oct-05	12-Mar-90	05-Nov-95	14-Feb-00	17-Oct-05
1. Península de baja California	81.3	87.4	92	92.9	65.2	75.8	80.6	89
2. Noroeste	89.7	93.2	95.2	94.8	62.6	71.5	76.5	84.1
3. Pacífico Norte	78.7	85.6	88.8	89	51.7	63.9	69.9	82.6
4. Balsas	72.8	81.1	83.2	84.4	48.8	63	67.5	81.4
5. Pacífico Sur	59.2	69	73.2	73.5	33.3	46.5	47.4	63.3
6. Río Bravo	91.8	94.4	96.1	96.1	73.9	84	88.2	93.8
7. Cuencas Centrales del Norte	83.2	87.9	90.9	93.3	55.4	65.3	73.3	85.6
8. Lerma-Santiago- Pacífico	84.2	90.3	92.2	93.4	68	79.8	82.5	90.1
9. Golfo Norte	57.6	67.8	75.5	80.9	33.9	42.2	50	65.3
10. Golfo Centro	58.8	64.6	71.9	77.2	45.9	55.9	60.1	74.8
11. Frontera Sur	56.7	65.4	73.3	74.4	45.5	62.3	67.7	80.7
12. Península de Yucatán	74	84.9	91.9	94.1	45.1	57.5	63.2	76.3
13. Aguas del Valle de México	92.5	96.3	96.9	96.5	85.9	93.1	94.4	97.2
Total	78.4	84.6	87.8	89.2	61.5	72.4	76.2	85.6

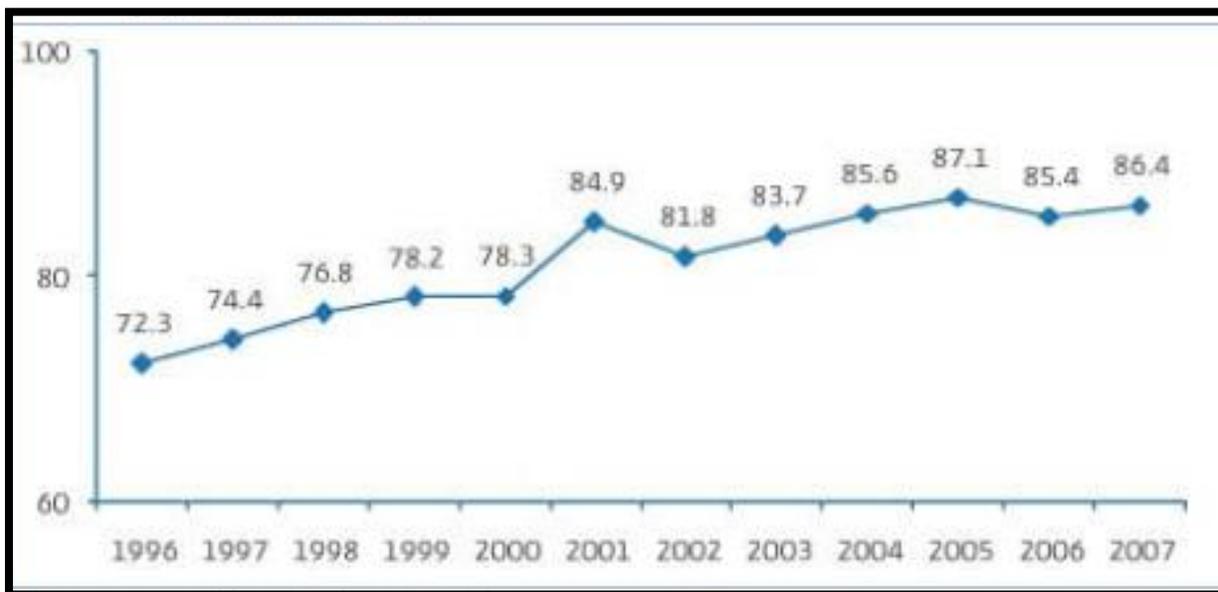
Región Hidroológico Administrativa	Agua Potable (%)				Alcantarillado (%)			
	12-Mar-90	05-Nov-95	14-Feb-00	17-Oct-05	12-Mar-90	05-Nov-95	14-Feb-00	17-Oct-05
1 Aguascalientes	95.5	98	97.9	97.8	85.2	93.7	94.5	96.9
2 Baja California Baja California	79.8	86.7	91.9	93.8	65.4	76	80.7	88.9
3 Sur	89.4	90.9	92.5	87.7	64.4	74.6	79.9	89.7
4 Campeche Coahuila de	69.8	78.3	84.7	88.4	44.2	58.5	60.8	78.4
5 Zaragoza	91.9	94.6	97	97.3	67.3	76.1	83.3	91.5
6 Colima	93	95.8	97.1	97.8	81.8	93.9	93.1	98.2
7 Chiapas	57.3	65.6	73.5	73.5	38.4	52.6	59.3	79.7
8 Chihuahua	87.6	91.8	93.1	92.9	65.8	79	84.3	89.8
9 Distrito Federal	96.1	97.7	97.9	97.6	93.3	97.7	98.1	98.6
10 Durango	84.6	89.6	91.6	90.9	52.5	64.7	71.8	82.6
11 Guanajuato	82.4	88.9	92	93.4	58	70.6	75.3	85.8
12 Guerrero	55.1	64.7	69.1	68	34.8	46.3	49.7	64.2
13 Hidalgo	69.4	79.5	83.9	87.2	41.6	56.2	64	79.1
14 Jalisco	85.7	91.3	92.4	93.3	80.3	89.5	91.2	95.8
15 México	84.6	91.5	92.8	93.2	72.5	83.4	84.9	91.2
16 Ocampo	78.2	86.4	88.2	89.4	55.5	69.3	72.9	84.2
17 Morelos	88.3	90.3	91.6	91.6	67	81.2	83.6	92.6
18 Nayarit	83.4	86.7	89.6	91.4	59.1	75	78.8	90.9
19 Nuevo León	92.9	94.5	95.6	95.6	80.8	88.6	91.1	95.3
20 Oaxaca	57.2	67	72	73.3	28.5	42	42.9	60
21 Puebla Querétaro	70.2	78.6	82.8	85.4	45.3	56.5	62.8	79
22 Arteaga	82.8	89.2	92.3	93.7	54	67.7	73.7	85.6
23 Quintana Roo	88.7	89.1	93.8	94.5	54.3	76.1	81.3	89.5
24 San Luis Potosí	65.5	73.5	78.2	82.7	46.2	53.5	59.2	74.2
25 Sinaloa	79.8	88	91.8	93.1	53.5	67.3	73.1	86.4
26 Sonora	91	94	95.7	95.2	64.9	73.5	78.2	85.4
27 Tabasco	55.4	65.1	72.8	76.4	60.6	82	84.4	93.4
28 Tamaulipas	80.9	88.9	94.1	94.7	57.8	65.6	73.4	82.4
29 Tlaxcala Veracruz Ignacio	90.9	95.6	96.3	97.3	57.1	75.5	81.9	90.6
30 de la Llave	57.5	62.2	69.9	76.3	50.1	60.4	64.6	77.7
31 Yucatán	70.2	85.5	93.7	96.1	42.1	48.87	54.6	68.2
32 Zacatecas	74.8	82.7	88	92.8	45	58	69.3	84.2
Total	78.4	84.6	87.8	89.2	61.5	72.4	76.2	65.6

**Cuadro No. 25. Cobertura de la población con servicio de agua potable y alcantarillado por entidad federativa, serie de años censales de 1990 a 2005**

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de:  
CONAGUA. Cubos Portátiles de Información. 2008, Población, Vivienda y Agua; Usos del Agua e Hiper cubo.  
INEGI. Censos y Censos Generales de Población y Vivienda.

### 2.5.3.3. Plantas potabilizadoras.

Las plantas potabilizadoras condicionan la calidad del agua de las fuentes superficiales y/o subterráneas al uso público urbano. En 2007 se potabilizaron 86.4 m<sup>3</sup>/s en las 541 plantas en operación del país.



**Figura No. 17. Caudal de aguas potabilizadas, serie anual 1996 a 2007(metros cúbicos / segundo, m<sup>3</sup>/s)**

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Programación.

Elaborado a partir de la Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.

Región Hidrológico Administrativa	Número de plantas en operación	Capacidad Instalada m <sup>3</sup> /s	Caudal potabilizado m <sup>3</sup> /s
1. Península de baja California	38	11.17	6.38
2. Noroeste	20	2.89	1.58
3. Pacífico Norte	150	9.08	7.23
4. Balsas	21	23.18	17.58
5. Pacífico Sur	8	3.18	2.59
6. Río Bravo	58	25.96	15.82
7. Cuencas Centrales del Norte	48	0.37	0.25
8. Lerma-Santiago-Pacífico	73	19.37	12.11
9. Golfo Norte	40	6.59	5.83
10. Golfo Centro	7	6.4	4.58
11. Frontera Sur	40	13.17	8.22
12. Península de Yucatán	1	0.01	0.01
13. Aguas del Valle de México	37	5.12	4.23
Total	541	126.49	86.39

**Cuadro No. 26. Plantas Potabilizadoras en operación, por Región Hidrológico-Administrativa, 2007**

<sup>a</sup>Incluye la planta potabilizadora Los Berros, ubicada en la localidad del mismo nombre en el municipio de Villa de Allende, Estado de México; que forma parte del Sistema Cutzamala y es operada por el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México.

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.

Entidad Federativa	Número de Plantas en operación	Capacidad Instalada m <sup>3</sup> /s	Caudal potabilizado m <sup>3</sup> /s
1 Aguascalientes	2	0.04	0.02
2 Baja California	26	10.7	6.02
3 Baja California Sur	12	0.47	0.36
4 Campeche	2	0.03	0.02
5 Coahuila de Zaragoza	18	2.13	1.71
6 Colima	25	0.01	0.01
7 Chiapas	4	4.5	2.51
8 Chihuahua	4	0.65	0.38
9 Distrito Federal	33	3.66	3.01
10 Durango	30	0.03	0.02
11 Guanajuato	9	0.34	0.28
12 Guerrero	11	3.28	2.97
13 Hidalgo	2	0.13	0.13
14 Jalisco	24	16.2	9.49
15 México	10	22.14	16.72
16 Ocampo	6	2.95	2.5
17 Morelos	0	0	0
18 Nayarit	0	0	0
19 Nuevo León	8	14.4	7.15
20 Oaxaca	6	1.29	0.77
21 Puebla	4	0.72	0.55
22 Querétaro Arteaga	6	0.27	0.21
23 Quintana Roo	0	0	0
24 San Luis Potosí	14	1.13	0.82
25 Sinaloa	142	9.07	7.22
26 Sonora	20	2.89	1.58
27 Tabasco	35	8.65	5.7
28 Tamaulipas	55	14.22	11.49
29 Tlaxcala	0	0	0
30 Veracruz Ignacio de la Llave	8	6.6	4.76
31 Yucatán	0	0	0
32 Zacatecas	25	0.05	0.05
Total	541	126.49	86.39

**Cuadro No. 27. Plantas potabilizadoras en operación por entidad federativa, 2007**  
FUENTE: CONAGUA. Subdirección G

Proceso Central	Propósito	Plantas		Gasto Potabilizado	
		No.	%	m <sup>3</sup> /s	%
Ablandamiento	Eliminación de dureza	11	2	0.65	0.75
Adsorción	Eliminación de trazas de orgánicos	13	2.4	1.27	1.47
Clarificación Convencional	Eliminación de sólidos suspendidos	184	34	58.25	67.43
Clarificación Patente	Eliminación de sólidos suspendidos	137	25.3	0.58	7.62
Electrodiálisis Reversible	Eliminación de Sólidos Disueltos	2	0.4	0.12	0.14
Filtración Directa	Eliminación de sólidos suspendidos	58	10.7	14.58	16.87
Filtros Lentos	Eliminación de sólidos suspendidos	6	1.1	0.04	0.05
Ósmosis Inversa	Eliminación de Sólidos Disueltos	114	21.1	1.43	1.65
Remoción de Hierro y Manganeso		16	3	3.48	4.02
<b>Total</b>		<b>541</b>	<b>100</b>	<b>86.39</b>	<b>100</b>

**Cuadro No. 28. Plantas potabilizadoras en operación por entidad federativa, 2007**  
FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.

## 2.6. Indicadores Ambientales de Contaminación de Agua en México.

Según Red Iberoamericana de potabilización y depuración del agua (1999), el crecimiento de la población a nivel mundial y el aumento del uso del agua para diferentes actividades, ha incrementado los niveles de contaminación. Esta contaminación está relacionada con los vertidos de origen doméstico e industrial a los cuerpos de agua. En el caso de los residuos de origen doméstico, la carga contaminante está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos de origen fecal. Estos microorganismos son causantes de enfermedades de origen hídrico, que generan altos porcentajes de morbi-mortalidad en la población. El control de la calidad microbiológica del agua de consumo y de vertido, requiere una serie de análisis dirigidos a determinar la presencia de microorganismos patógenos. El diagnóstico de estos microorganismos, requiere laboratorios especializados y representa varios días de análisis y costos elevados. Como alternativa a estos inconvenientes, se ha propuesto el uso de indicadores microbianos que se

puedan identificar mediante el uso de métodos sencillos, rápidos y económicos. El control de los parámetros físico-químicos y microbiológicos es muy importante tanto en los sistemas de potabilización como de depuración del agua. Sin embargo, en los lugares donde el agua es consumida por el hombre o es reutilizada, el factor de riesgo más importante está asociado con la exposición a agentes biológicos que incluyen bacterias patógenas, helmintos, protozoos y virus entéricos. Desde el punto de vista de la salud pública, los virus entéricos son el grupo de organismos patógenos más críticos, debido a que la dosis mínima infecciosa es muy baja, son muy resistentes a los sistemas de desinfección y el control a nivel de laboratorio es costoso.

El riesgo de contaminación tanto a nivel humano como ambiental hace necesario el control de la presencia de microorganismos en el agua. Determinar el tipo de microorganismos presentes y su concentración proporciona herramientas indispensables para conocer la calidad del agua y para la toma de decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación de ecosistemas.

Existe un consenso general sobre la dificultad de determinar la presencia de todos los organismos patógenos implicados en los procesos de contaminación ambiental. Dicha determinación implica varios días de análisis, costos elevados y laboratorios especializados. Frente a estas dificultades y a la necesidad de hacer una evaluación rápida y fiable de la presencia de patógenos en el agua, se ha planteado la necesidad de trabajar con organismos indicadores.

### **2.6.1. Biomonitoreo.**

La bioevaluación o biomonitoreo puede revelar impactos o efectos futuros y presentes que están enmascarados, tales como nuevas sustancias tóxicas que han ingresado al ambiente o posibles cambios en las propiedades físicas. Otra ventaja es que pueden ser estudiados los cambios o alteraciones a largo plazo sobre el ecosistema. Por estas razones es importante incorporar, a los métodos de evaluación de la calidad ambiental y de la integridad de los ecosistemas, mecanismos como los indicadores biológicos que complementen a los métodos tradicionales.

### **2.6.2. Calidad biológica.**

Tercedor, (1996). Considera que un medio acuático presenta una buena calidad biológica cuando tiene unas características naturales que permiten que en su seno se desarrollen las comunidades de organismos que les son propias.

### **2.6.3. Indicador.**

Salazar, (1999). Define la palabra indicador, la cual viene del verbo latín *indicare*, que significa mostrar, anunciar, estimar o asignar un precio, los indicadores son parámetros (una medida o propiedad observada), o algunos valores derivados de los parámetros (modelos), que proporcionan información sobre el estado actual de los ecosistemas, así como patrones o tendencias (cambios) en el estado del medio ambiente, en las actividades humanas que afectan o están afectando por el ambiente, o sobre las relaciones tales variables.

Gastiz, (2004). Comenta que los indicadores constituyen una herramienta de comunicación para informar sobre el estado de una materia en particular. Por ello, los indicadores responden a tres funciones principales: simplificación, cuantificación, comunicación.

Para evaluar la calidad ambiental se utilizan ciertos factores o parámetros ambientales, que presentan un determinado comportamiento en función de sus propiedades intrínsecas ó de las presiones ejercidas por la actividad humana. Estos parámetros ambientales son conocidos como “indicadores ambientales” y su análisis en conjunto se denomina “índice ambiental”.

### **2.6.4. Bioindicadores.**

La Red Iberoamericana de potabilización y depuración del agua (op. cit.), comentó que los organismos vivos que habitan en los cursos de agua presentan están adaptaciones evolutivas a unas determinadas condiciones ambientales, y presentan unos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas. Estos límites de tolerancia varían, y así, frente a una determinada alteración se encuentran organismos “sensibles” que no soportan las nuevas condiciones impuestas, comportándose como “intolerantes”, mientras que otros, que son “tolerantes” no se ven afectados. De modo

que, variaciones inesperadas en la composición y estructura de las comunidades de organismos vivos de los ríos pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de contaminación. (Tercedor, op. cit.).

Vázquez, et. al., (2006). Mencionaron que los ecosistemas acuáticos mantienen una gran diversidad de organismos, incluso mayor a los terrestres, por lo que los impactos como la contaminación inducen a cambios en la estructura de las comunidades, la función biológica de los sistemas acuáticos y al propio organismo, afectando su ciclo de vida, crecimiento y su condición reproductiva. Por tal motivo, algunos organismos pueden proporcionar información de cambios físicos y químicos en el agua, ya que a lo largo del tiempo revelan modificaciones en la composición de la comunidad.

El concepto de organismo indicador se refiere a especies seleccionadas por su sensibilidad o tolerancia (normalmente es la sensibilidad) a varios parámetros.

Usualmente los biólogos emplean bioindicadores de contaminación debido a su especificidad y fácil monitoreo, los organismos indicadores como la presencia de una especie en particular, que demuestra la existencia de ciertas condiciones en el medio, mientras que su ausencia es la consecuencia de la alteración de tales condiciones. (Vázquez, et al., op. cit.).

La denominación de una especie como indicadora requiere de conocimiento previo respecto a su composición comunitaria bajo condiciones normales, incluyendo el ciclo de vida de las especies, su estacionalidad y sus variaciones naturales, de manera que sea posible comparar las condiciones antes y después de una perturbación ambiental. En la vigilancia y control de la contaminación, en base a organismos como “bioindicadores”, existen multitud de metodologías que utilizan una amplia variedad de organismos: bacterias, fitoplancton, protozoos, algas, macrófitos, macroinvertebrados, peces, virus, entre otros. (Vázquez et al., op. cit.).

Los microorganismos indicadores son aquellos que tienen un comportamiento similar a los patógenos (concentración y reacción frente a factores ambientales y barreras artificiales), pero son más rápidos, económicos y fáciles de identificar. Una vez se ha

evidenciado la presencia de grupos indicadores, se puede inferir que los patógenos se encuentran presentes en la misma concentración y que su comportamiento frente a diferentes factores como pH, temperatura, presencia de nutrientes, tiempo de retención hidráulica o sistemas de desinfección es similar a la del indicador. (Red Iberoamericana de potabilización y depuración del agua, op cit.).

#### **2.6.4.1. Antecedentes de los Bioindicadores.**

La sostenibilidad de cualquier sistema, especialmente de los ecosistemas, requiere en su operación de indicadores que puedan servir como herramientas de información para la evaluación de las consecuencias ambientales derivadas de las actividades sociales y económicas. La degradación de los recursos acuáticos ha sido motivo de preocupación para el hombre de los últimos tiempos. No fue sino hasta mediados de los años 50 del siglo XX, cuando comenzaron a utilizarse diferentes metodologías de evaluación de la calidad del agua mediante el uso de indicadores biológicos. A finales de los 50 y principios de los 60 comenzó a discutirse el concepto de diversidad de especies basada en índices matemáticos derivados fundamentalmente de la teoría de la información. En España una comparación entre dos índices de la calidad del agua, uno que utiliza parámetros físico-químicos (ISQA) y el otro, parámetros biológicos (BILL), encontrando baja correlación entre ellos. En la década de los años 80 y de los 90 comienza a generalizarse el uso de estos índices y a proponerse otros nuevos o modificaciones de los existentes. Introduce el concepto de Índice de Integridad Biológica (IBI), el cual es una herramienta multiparámetrica para la evaluación de las corrientes basada en la comunidad de peces. Dada la aceptación que este método ha tenido en Estados Unidos, se ha extendido su uso a otros grupos biológicos. Desarrollan en Maryland (USA) métodos rápidos de evaluación del agua usando los macro invertebrados acuáticos como bioindicadores. Tercedor (op. cit.), adopta la utilización de los macroinvertebrados acuáticos en los programas de evaluación de la calidad del agua en España. Así como también se calificó la perturbación de las aguas en relación con las características de las especies de macro invertebrados y la riqueza de dichas especies. Badii, et al., (2005), establecen en España un índice de calidad que valora el estado de conservación del bosque de ribera (QBR) y se trata de comparar el estado

actual del sistema que se estudia con un estado de referencia donde la biodiversidad y la funcionalidad del sistema solamente estarían perturbados por las perturbaciones de origen natural.

#### **2.6.4.2. Importancia de los Indicadores.**

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (C. I. A. T. 2001), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, explicó que los indicadores son importantes para el uso sostenible y el manejo de los recursos ambientales ya que pueden orientar la formulación de políticas al proporcionar una valiosa información acerca del estado actual de los recursos a evaluar y de la intensidad y la dirección de los posibles cambios.

Los indicadores ambientales, permiten obtener valiosa información de la calidad ambiental de cada uno de los recursos naturales que están en monitoreo. La implementación y fortalecimiento de un sistema de indicadores ambientales rurales se convierte en una poderosa herramienta de seguimiento y control de la gestión ambiental, ya que permite la oportuna y adecuada toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo.

En general no existe un modelo único de Sistema de Indicadores Ambientales, o sea una expresión integrada de un conjunto de indicadores ambientales, que agrupados lógicamente y con un propósito claro, permiten obtener una visión holística, coherente y consistente de una problemática ambiental específica, en un sitio determinado y para un periodo de tiempo limitado, pues éste está determinado por el uso a que está destinado el sistema, no por su contenido.

#### **2.6.4.3. Características de un microorganismo indicador de contaminación fecal.**

- Ser un constituyente normal de la flora intestinal de individuos sanos.
- Estar presente, de forma exclusiva, en las heces de animales homeotérmicos.
- Estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales lo están.
- Presentarse en número elevado, facilitando su aislamiento e identificación.
- Debe ser incapaz de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos.

- Su tiempo de supervivencia debe ser igual o un poco superior al de las bacterias patógenas (su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o superior al de los patógenos de origen fecal).
- Debe ser fácil de aislar y cuantificar.
- No debe ser patógeno.

#### **2.6.4.4. Las ventajas del uso de bioindicadores como herramienta para determinar la calidad del agua.** (Vázquez, et al., op. cit.):

1. La colecta y registro de información biológica puede realizarse por personas ajenas a la biología, ya que existen manuales que señalan métodos establecidos.
2. Las comunidades biológicas reflejan las condiciones del sistema (física, química, biológica y ecológica)
3. El biomonitoreo permanente de las comunidades resulta ser económico comparado con los análisis Físicoquímicos.
4. La información resultante puede expresarse por medio de índices Bióticos que expresan la calidad del agua mediante escalas numéricas.

#### **2.6.4.5. Limitaciones de los bioindicadores.**

El ajuste de índices bióticos para distintas regiones, el muestreo implica mayor tiempo, la información de cada bioindicador es cualitativa y para la identificación taxonómica se requiere experiencia. Para obtener una evaluación integral sería necesario realizar conjuntamente análisis físicoquímicos o pruebas de toxicidad.

#### **2.6.5. Principios básicos que deben respetar los indicadores para que sean de utilidad según Geastiz, (op. cit.)**

- Los indicadores deben ser medibles y posibles de analizar en series temporales. Los indicadores deben reflejar la evolución en el tiempo, de forma que puedan analizarse para prevenir o corregir tendencias negativas.
- El número de indicadores debe ser reducido. Los usuarios deben familiarizarse con su presentación y significado, para conseguir que sean fácilmente comprensibles por todos los agentes implicados.

- Los indicadores deben estar relacionados con los objetivos. De esta manera los indicadores pasan a ser herramientas de gestión que permiten fijar responsabilidades a los agentes que intervienen en la formulación y aplicación de políticas.

#### **2.6.6. Criterios de selección de los indicadores ambientales de acuerdo con el Sistema Nacional de Estadística y de Información Geografía en el 2004. (S. N. I. A.)**

- **Pertinencia:** que el o los indicadores representen situaciones ambientales prioritarias, a escala nacional, regional o de macro zonas, en relación con los componentes básicos del medio ambiente natural y su consecuente impacto en el medio ambiente humano.
- **Calidad del Dato:** Que los datos base sobre los cuales se construya un indicador, provengan de fuentes de información, confiables, oficiales y con una validación técnica preliminar.
- **Flujo Accesible a la Información:** que se disponga de la información en forma sistemática y periódica, en lo posible, con series históricas, que permitan evaluar tendencias.
- **Escala y Georeferenciación:** que, en lo posible, se disponga de indicadores a distintas escalas: nacional, regional, y también comunal.

Existen ciertas temáticas en las cuales la visión global como país es fundamental, por lo tanto, se cuenta, también, con un conjunto de indicadores nacionales. Así tenemos, entonces:

- Indicadores Ambientales Nacionales
- Indicadores Ambientales Comunes
- Indicadores Ambientales Específicos.

Se debe aclarar que, en algunos casos, el indicador se repite a escala nacional y regional común, pero variando su expresión, de forma de representar la misma situación, pero a la escala que le corresponda, según su tipología. Con el objeto de ordenar y dar un marco de desarrollo lógico al conjunto de indicadores ambientales, se han definido cinco categorías ambientales, bajo las directrices entregadas por las Organizaciones de las Naciones Unidas (FDES: Oficinas de Estadísticas de la ONU).

Estas categorías ambientales permiten ordenar y equilibrar los esfuerzos en la búsqueda y elaboración de los indicadores. (S. N. I. A., op. cit.).

### **2.6.7. Grupos de organismos que se emplean como bioindicadores de la calidad del agua.**

#### **2.6.7.1. Bacterias.**

La Red Iberoamericana de potabilización y depuración del agua (op. cit.), mencionó que, la presencia de bacterias coliformes son un indicador de contaminación fecal por descarga reciente de desechos, a largo plazo son indicadores de la efectividad de programas de control. Las ventajas que presenta el uso de bacterias como indicadores de acuerdo con Vázquez et al., (op.cit.), es que el muestreo de este grupo tiene una metodología bien desarrollada y da respuesta rápida a cambios ambientales tales como la contaminación, básicamente por descargas domésticas y municipales.

#### **2.6.7.2. Fitoplancton.**

El Fitoplancton responde rápidamente a los cambios ambientales por su ciclo de vida corto. Estos cambios alteran la estructura de sus comunidades, repercute en el interés socioeconómico del sistema acuático en tiempos relativamente cortos, sobre todo por su papel de productores primarios. Algunas algas microscópicas del fitoplancton muestran una distribución amplia, otras, ciertas preferencias ambientales, y unas terceras alta frecuencia de taxón en aguas fuertemente contaminadas, lo que sugiere su tolerancia o preferencia por algún compuesto químico o bioquímico. El fitoplancton puede adquirir mayor resistencia o tolerancia a diversas sustancias, por ejemplo fertilizantes, e incrementar su desarrollo y abundancia repercutiendo en la eutroficación de las aguas, donde ciertas especies muestran el estado trófico de arroyos, ríos y lagos. (Vázquez et al., op. cit.).

### **2.6.7.3. Macroinvertebrados Bentónicos.**

Figuroa, et al. (2003), comentaron que el conocimiento de las características y abundancia de los organismos bentónicos en un sistema acuático es fundamental para relacionarlos con las condiciones del medio. Las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en zonas tropicales son muy similares a las comunidades de zonas templadas. El grupo más grande de los macroinvertebrados acuáticos en aguas continentales son los insectos, los cuales son valiosos indicadores, considerándolos más diversos en contraste con los peces e insectos terrestres. De todos los organismos que se encuentran dentro de un sistema acuático, los macroinvertebrados bentónicos ofrecen ventajas para ser usados como indicadores de contaminación ya que:

- 1 Se encuentran en todos los ecosistemas acuáticos, por lo que favorecen los estudios comparativos.
- 2 Su naturaleza sedentaria, permite un análisis espacial efectivo de los efectos de las perturbaciones.
- 3 Presenta ventajas técnicas asociadas a los muestreos cuantitativos y análisis de las muestras que pueden ser realizados con equipos simples.
- 4 La taxonomía de muchos grupos es ampliamente conocida.
- 5 Existen numerosos métodos para el análisis de datos, como índices bióticos y de diversidad.

Toro, et al., (2003). Los macroinvertebrados son generalmente abundantes, relativamente fáciles de recolectar y tienen el tamaño suficiente para ser observados a simple vista, son universales, sedentarios, extremadamente sensibles a perturbaciones, presentan ciclos de vida relativamente largos, muestran una respuesta inmediata ante un impacto, su identificación taxonómica es bien conocida y no requiere de personal especializado para el muestreo.

Los isópodos actúan como bioacumuladores de metales pesados, por lo que pueden ser usados particularmente para el monitoreo de contaminación por metales pesados en zonas industrializadas y urbanas.

#### **2.6.7.4. Parásitos.**

Los parásitos que son patógenos para el hombre se clasifican en dos grupos: los protozoos y los helmintos. Los protozoos son organismos unicelulares cuyo ciclo de vida incluye una forma vegetativa (trofozoito) y una forma resistente (quiste). El estado de quiste de estos organismos es relativamente resistente a la inactivación por medio de los sistemas de tratamiento convencional de agua residual.

Los huevos de helminto son un grupo de organismos que incluye los nemátodos, tremátodos y cestodos. Las características epidemiológicas que hacen de los helmintos patógenos entéricos causantes de infección por contacto con agua contaminada, son su alta persistencia en el medio ambiente, la mínima dosis infecciosa, la baja respuesta inmune y la capacidad de permanecer en el suelo por largos periodos de tiempo.

El estudio de los huevos de helminto a nivel ambiental ha hecho necesaria la selección de un parásito indicador debido a las limitaciones en la detección a nivel de laboratorio. *Ascaris lumbricoide* se ha sugerido como un buen indicador del comportamiento de los huevos de helminto. Sus ventajas son:

- Persiste en el medio ambiente por muchos meses, pero no se multiplica.
- Se puede identificar fácilmente.
- El índice de parasitismo a nivel mundial es muy alto.
- El riesgo de transmisión es alto, debido a la elevada concentración de huevos que se puede encontrar.

#### **2.6.7.5. Patógenos emergentes.**

A continuación se citan algunos ejemplos de microorganismos emergentes.

##### **2.6.7.5.1. Cianobacterias.**

Estos organismos llamados tradicionalmente algas verdes-azuladas, son bacterias que se parecen a las algas porque tienen clorofila "a" y, por tanto, realizan fotosíntesis con producción de oxígeno molecular. No actúan como agentes infecciosos, pero algunas especies producen toxinas que afectan el intestino (gastroenteritis), el sistema nervioso y el hígado. Otras menos tóxicas causan irritación en la piel y alergias.

#### **2.6.7.5.2. *Campilobacter*.**

Especies del género *Campilobacter* se consideran causa importante de gastroenteritis aguda transmitida por aguas o alimentos contaminados. Su dosis infectiva es baja y los datos epidemiológicos muestran una incidencia similar a la de patógenos como *Salmonella*. (Red Iberoamericana de potabilización y depuración del agua, op. cit.).

#### **2.6.7.6. Peces.**

El primer sistema multimétrico para conocer la calidad del agua fue desarrollado para aplicarse en peces y se usó como un modelo para utilizarlo en otros organismos como los macroinvertebrados.

. Los peces han sido ampliamente utilizados para evaluar la integridad biótica en arroyos y ríos de Norteamérica. Se han adoptado para evaluar la calidad ambiental en lagos y más recientemente en estuarios de Norteamérica y Europa. Numerosos grupos de organismos han sido propuestos como indicadores de la calidad ambiental en los sistemas acuáticos, sin embargo, las comunidades de peces han surgido como indicadores para los programas de monitoreo biológico. (Velázquez et. al., 2004).

#### **2.6.7.7. Virus.**

En contraste con las bacterias, los virus no se encuentran normalmente en las heces del hombre. Están presentes solamente en el tracto gastrointestinal de individuos que han sido afectados. Más de 140 virus patógenos pueden ser transmitidos al hombre a través del agua. Estos son los virus entéricos eliminados a través de las heces de personas infectadas. Los más comunes son los virus causantes de gastroenteritis y el virus de la hepatitis. Algunos de estos virus (rotavirus, virus Norwalk) no generan una protección inmunitaria a largo plazo por lo que la infección puede repetirse varias veces a lo largo de la vida.

Acerca de los virus se sabe que, aún en bajas concentraciones, tienen la capacidad de causar infección o enfermedad.

Algunos virus son más resistentes a la desinfección que los organismos coliformes, por lo que los indicadores tradicionales de contaminación bacteriana no evalúan de manera eficiente la presencia o ausencia de virus en el agua.

El poliovirus ha sido propuesto como indicador viral. Sin embargo, las cantidades de este virus encontradas en ambientes acuáticos son demasiado variables como para que sea considerado un buen indicador. Además de estas variaciones, la detección de virus entéricos requiere laboratorios especializados y los resultados tardan varios días. Estas dificultades en el uso de los enterovirus como indicadores de contaminación de origen fecal en el agua, ha llevado a la búsqueda de indicadores alternativos que sean de rápida y fácil detección y que permitan prever el comportamiento de los enterovirus en el medio ambiente. Estos indicadores son los fagos.

Los coliformes están presentes en números bajos en las heces humanas y de animales homeotérmicos, pero están en número elevado en aguas residuales. Invariablemente estarán en aguas que contienen *E. coli* y por tanto serán indicadores de contaminación fecal. Por ser más resistentes a los factores ambientales y a la cloración que los coliformes y que todas las bacterias en general, su presencia en plantas potabilizadoras indica fallas en algún paso del tratamiento, en especial en la cloración. (Red Iberoamericana de potabilización y depuración del agua, op. cit.).

#### **2.6.8. Índice Ambiental.**

Salazar, (op. cit.), definió “índice ambiental” como una agregación de estadísticas y/o indicadores, los cuales resumen una gran cantidad de información relacionada, usando algún procedimiento sistemático de ponderación, escala y agregado de variables múltiples en un único resumen. El propósito del índice es simplificar la información y hacer más fácil la labor de decisión.

A nivel internacional, existen diferentes índices de calidad ambiental. En 1970 la Fundación de Sanidad Nacional de Estados Unidos desarrolló un índice para evaluar la calidad del agua de los ríos (WQI), que considera nueve variables y califica la calidad en cinco categorías: “muy mala”, “mala”, “media”, “buena” y “excelente”. Posteriormente, En España el índice más empleado es el Índice de Calidad General ICG, desarrollado por el antiguo Ministerio de Obras Públicas (MOPU) en 1983. Este índice es un valor adimensional obtenido a partir de 23 parámetros de calidad de las aguas, procesados mediante ecuaciones lineales. (Agencia Catalana del Agua, 2003).

En México el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua elaboró un índice que incluye seis variables ambientales. Y permite obtener valores de calidad del agua según sus diferentes usos. También, existe un índice de calidad de aguas marinas y estuarinas. En Colombia se emplea seis variables físico-químicas y seis “contaminantes”. Según estos autores, este índice sirve para resumir la información ambiental existente de manera que se emita un concepto unificado de la calidad de las aguas. En Cuba, existe un índice numérico para evaluar la contaminación, el cual permite clasificar las áreas de interés pesquero de la plataforma cubana. Sin embargo, cuando se trata de evaluar la calidad ambiental en lugares accesibles al baño y a la recreación de la población, la aplicación de este índice no es factible, ya que no tiene en cuenta indicadores microbiológicos que cuantifican la presencia de bacterias patógenas para la salud humana. (León, 2003).

#### **2.6.8.1. Índices Bióticos.**

Badii, et. al., (2005), explicaron que en la década de los años cincuenta comenzaron a utilizarse diferentes metodologías de evaluación de la calidad del agua mediante el uso de indicadores biológicos y se propusieron métodos biológicos para evaluar las condiciones ecológicas de las corrientes de agua. Al final de los años cincuenta y principio de los sesenta comenzó a discutirse el concepto de diversidad de especies basada en índices matemáticos derivados fundamentalmente de la teoría de la información

Para los ecosistemas acuáticos, los índices de Diversidad son básicamente una aproximación a la calidad biológica a través de la estructura de la comunidad, en cambio los Índices Bióticos son una aproximación a la contaminación del agua haciendo uso del concepto organismo indicador, aunque estos no representen la estructura de la comunidad.

Los índices bióticos son altamente especializados para un tipo particular de contaminación del agua, que normalmente es de origen orgánica. Cada uno de los índices está limitado al área geográfica en donde los organismos tolerantes fueron integrados, de un ambiente a otros éstos pueden variar. Por otro lado existen índices bióticos especializados para determinado grupo taxonómico y para diferentes regiones.

Según Vázquez, et al., (op. cit.), explican que existen numerosos índices que se han desarrollado para evaluar la calidad del agua con base en la diversidad biológica que se presenta en el sitio.

#### **2.6.8.2. Algunos otros índices que se emplean exclusivamente para la evaluación de la calidad del agua son:**

Índice Biótico de Beck (1954)

Índice Secuencial de Comparación (1971)

Índice Estadístico de Pielou (1975)

Índice de Hilsenho® (1977)

Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) (1978)

Índice de Macroinvertebrados Bénticos (1988)

Sin embargo, para el uso de índices es necesario que se tome en cuenta su estandarización y certificación en varios países donde se apliquen comúnmente en programas de monitoreo. Es importante que su manejo sea fácil aún para personas no especializadas en la identificación taxonómica, además de que permitan realizar diagnósticos rápidos y económicos de calidad de agua.

#### **2.6.8.3 *Escherichia Coli* como Indicador de Contaminación Fecal en Agua.**

Marynes, et al., (2005). Los cuerpos de agua pueden ser contaminados por aguas de desechos y excretas de personas enfermas, las cuales presentan grandes densidades de organismos patógenos. También se ha reportado que personas aparentemente saludables actúan como portadoras de estos organismos.

La calidad de las aguas recreacionales es evaluada utilizando técnicas que permiten detectar la contaminación fecal a través de la detección de los coliformes fecales, *Escherichia coli* y estreptococos fecales.

Sin embargo, aunque las bacterias coliformes han sido utilizadas exitosamente con este propósito, estas no han demostrado ser indicadores adecuados de contaminación viral.

Según Tarano, et. al. (2006), Comentan que la *Escherichia coli* O157:H7 y los *E. coli* productores de Toxina de Shiga (STEC) son patógenos emergentes mundialmente

difundidos, causantes de un síndrome diarreico seguido de graves consecuencias extraintestinales agudas que comprometen la vida, tales como el Síndrome Urémico Hemolítico (SUH) y la Púrpura Trombótica Trombocitopénica (PPT), o dejan secuelas igualmente importantes como una insuficiencia renal a largo plazo. La enfermedad es primariamente una zoonosis transmitida por alimentos y, si bien es importante en estas bacterias caracterizadas por su baja dosis infectiva la transmisión persona a persona, particularmente en ambientes cerrados (como guarderías, geriátricos, etc.) o por contacto bebé-progenitores, se considera que éstas son constantemente reintroducidas desde su reservorio principal, el ganado bovino.

## **2.7. Contaminación Ambiental por Metales Pesados en México.**

De acuerdo con Valdéz, et. al. (1999), Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública. Los daños que causan son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población, en particular de la población infantil, a estos elementos tóxicos. La contaminación es un factor de daño provocando toxicidad. Por el exceso de energía, residuos sólidos o líquidos que exceden a la capacidad natural del Como consecuencia de varios siglos de actividad minera ecosistema para reducir sus efectos. Esto provocado en México y posteriormente, debido a la industria del cambio no deseado en las características físicas, química básica, petroquímica y de refinación del petróleo, químicas o biológicas del entorno natural. La contaminación puede deberse a las actividades se han producido cantidades muy grandes, pero muy antropocéntricas o bien a la presencia de fenómenos difíciles de cuantificar de residuos peligrosos. Aunado naturales como erupciones volcánicas, incendios a lo anterior, la intensa actividad de otras industrias, forestales, terremotos, etc. junto con accidentes durante el almacenamiento, transporte o trasvase de sustancias (fugas, derrames, La contaminación por metales pesado en los incendios) y la disposición clandestina e incontrolada suelos es uno de los problemas más serios de residuos, contribuyen en gran medida a la contaminación ambiental, ya que estos pueden ser contaminación de suelos. (Trejo, et al., 2008).

### **2.7.1. Definición de Metal Pesado.**

Trejo, et al., (op. Cit.). El término de metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una alta densidad relativa y que sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas. Estos metales son potencialmente citotóxicos, carcinogénicos y mutagénicos. Los ejemplos de metales pesados incluyen mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl) y plomo (Pb) que son componentes naturales de la corteza terrestre y que no pueden ser degradados o destruidos. (Lenntech, 2005).

En un grado pequeño se incorporan a nuestros cuerpos a través del alimento, agua potable y aire, estos poseen una gran capacidad para unirse con diversos tipos de moléculas orgánicas, el mercurio, plomo y cadmio se encuentran entre los metales más prevalentes en el medio ambiente. Sin embargo, en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento. Son peligrosos porque tienden a bioacumularse, lo cual consiste en un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente. (Lenntech, op. cit.).

### **2.7.2. Antecedentes sobre la contaminación por metales pesados en el mundo.**

Según Valdéz, et al., (op. cit.). Los efectos de la intoxicación por plomo fueron descritos por Hipócrates en la antigua Grecia. Benjamin Franklin, también describió el efecto de la ingesta de este metal entre los trabajadores de su imprenta, especialmente los que fabricaban y manipulaban los linotipos hechos de plomo. A pesar de tener referencias tan antiguas, el problema del plomo no se ha atendido como se debiera. Sino hasta hace unos treinta años es que ha interesado a la toxicología y a las instituciones de salud. Por ejemplo, los textos de toxicología hasta la década de los setenta no dedicaban mayor atención a este problema, aunque si registraban los casos de envenenamiento por cadmio en Japón en los cincuentas y por metilo de mercurio tanto en Japón en los cincuentas y en Irak en 1972.

Desde mediados de los años setenta, las autoridades de salud de los Estados Unidos reconocieron al envenenamiento por plomo en niños como un problema grave al que llamaron una epidemia silenciosa. Una vez reconocido el problema, el creciente cuerpo

de información sobre el daño del plomo a la salud llevó a las autoridades de salud a emitir normas cada vez más estrictas sobre los niveles de este metal en la sangre, mientras que las autoridades del medio ambiente prohibieron el uso de las pinturas basadas en plomo en 1978 y se empezó a sustituir paulatinamente el plomo en las gasolinas a partir de la década de los setenta. Al mismo tiempo, la Ley del Aire Limpio (Clean Air Act) señalaba límites máximos para la concentración del plomo en el aire. Los Centros para el Control y la Prevención de las Enfermedades (CDC) han ido variando esta cota máxima como se muestra en la figura siguiente. (Valdéz, et al., op. cit.).

Durante décadas, el plomo se ha utilizado en pinturas, gasolinas, soldaduras, plomería, enseres domésticos, y docenas de aplicaciones más. Por ello, los Centros para el Control y la Prevención de las Enfermedades de los Estados Unidos (CDC) declara que: “el plomo se encuentra en todas partes en el ambiente humano como resultado de la industrialización. El plomo no tiene ningún valor fisiológico. Los niños son especialmente susceptibles a los efectos tóxicos del plomo. En casi todos los casos, el envenenamiento por plomo es silencioso dado que la mayoría de los niños envenenados no muestran síntomas. La gran mayoría de los casos de envenenamiento pasan desapercibidos y no son objeto de un tratamiento. El envenenamiento por plomo está generalizado. No es un problema solo de los niños de escasos recursos de los centros citadinos ni de las minorías. De sus efectos no se libra ningún grupo socioeconómico, ninguna área geográfica ni ninguna población étnica o racial”

Desde que se ha reconocido al envenenamiento por plomo como un problema de salud pública, se ha admitido el riesgo que representa vivir cerca de una planta que utilice o produzca este metal. Por ello, las autoridades de los Estados Unidos han tomado una serie de medidas desde los años setenta para tratar de disminuir la presencia del plomo en la atmósfera, el agua, la tierra y las pinturas. Estas medidas incluyen el establecimiento en 1978 de un límite máximo permisible de plomo en la atmósfera bajo la Ley del Aire Limpio, y la prohibición de la producción y el uso de pinturas basadas en plomo en el mismo año. Sin embargo, se estima que todavía hay más de un millón de niños en los Estados Unidos afectados por el plomo por culpa de la exposición a la

pintura en casas antiguas (algunas de ellas subsidiadas por el propio gobierno) o por vivir cerca de fundidoras de plomo u otras fábricas. (Valdéz, et al., op. cit.).

### **2.7.3. Situación de contaminación por metales pesados en México.**

Puga, et. al. (2006), explica que Las zonas áridas comprenden el 52% de la superficie continental de México. Mientras que Rodríguez, et al., (2006), comenta que dentro de las actividades económicas más importantes del noroeste, norte y a nivel nacional se encuentran las actividades metalúrgicas y mineras, las que por mucho tiempo los residuos producto de su actividad intensiva, se han acumulado de diferentes formas en el medio ambiente. Actualmente en el norte de México se han estudiado comunidades y poblaciones en áreas donde se practica la extracción de minerales y metales, encontrándose niveles altos de contaminación por metales pesados en comunidades de humanos, animales, plantas, suelo y agua. El estudio y aprovechamiento de algunas especies vegetales como alternativa de remediación de suelos contaminados con metales pesados, es una de las tecnologías con un alto potencial. (Trejo, et al., op. cit.). En México, algunos investigadores han atendido tanto el problema general del envenenamiento por plomo, así como el caso de Torreón en particular. En su revisión<sup>22</sup> del problema, la Dra. Lilia Albert en el 2004 señalaba a los grupos de mexicanos en riesgo como:

- La población que usa utensilios de cocina de barro vidriado.
- La población en ciudades donde la contaminación atmosférica es intensa, especialmente la provocada por el uso de combustibles con aditivos basados en plomo.
- Los trabajadores de diversas industrias, como las fábricas de baterías y pigmentos.
- Los consumidores de alimentos enlatados, especialmente chiles y productos derivados de las frutas.
- La población que vive en la cercanía de las fundidoras y otras industrias que procesan el plomo.

- Más recientemente se ha descubierto el papel que juegan el plomo, el cadmio y el arsénico en la placenta como indicadores de un deterioro ambiental. Valdéz, et al., (op. cit.).

El problema de la contaminación por metales pesados y sus efectos en la salud tiene su origen en el funcionamiento en el centro de la ciudad de Torreón, del cuarto complejo fundidor más grande del mundo. Este complejo es propiedad de la compañía Met-Mex Peñoles.

En el estudio de la Dra. Lilia Alber, (op. cit.), se advertía el grave problema existente en nuestro país, en donde señalaban la existencia de casos muy graves de contaminación y la ausencia de estudios sobre el impacto en la salud de los mexicanos. Ahí mismo se reconocía ya un caso especial al señalar que “a pesar de que la fundidora de Torreón es una de las más grandes en Latinoamérica y aún cuando está localizada cerca del centro de la ciudad, ... no se ha llevado un estudio a gran escala sobre el impacto de esta fuente sobre la salud de la población”.

Entre los pocos estudios sobre el problema de la contaminación por metales pesados en nuestro país, podemos contar los de Díaz-Barriga y sus colaboradores sobre la exposición de los niños de San Luis Potosí al cadmio y al arsénico por culpa de una fundidora y el seguimiento al caso de una fundidora de plomo en El Paso, Texas que afectaba la salud de los niños de esa ciudad norteamericana y de la vecina Ciudad Juárez. (Valdéz, et al., op. cit.).

#### **2.7.4. Principales Metales Pesados contaminantes en México.**

La asociación causal entre el uso humano de agua biológicamente contaminada y la aparición de gastroenteritis es un hecho bien establecido, así como la asociación entre el uso de agua químicamente contaminada e intoxicaciones, y la relación entre el uso de agua contaminada por metales pesados y cáncer. Al respecto, Silva, et. al., (2002), señalaron al Cr (VI), Ni, Co, Cd, As (III) y Pb como carcinogénicos para el humano; este efecto se relaciona con la inducción del daño oxidativo del DNA y con la inhibición de los procesos de reparación del DNA. En donde la carcinogenicidad ocasionada en particular por el Cr, por la producción de epoxialdehidos en una reacción catalizada por

lipasas lisosomales, Gómez, et al. (1981). la explicaron por el intercambio de cromátidas hermanas en cultivos de linfocitos humanos. Evidencias de los daños de los metales pesados en humanos en México, registran a poblaciones de alto riesgo, como niños, mujeres embarazadas y ancianos, en San Luis Potosí, en Xalostoc y Tlalnepantla en la Ciudad de México, Monterrey, Torreón, Coahuila.

#### **2.7.4.1. Contaminación Ambiental por Plomo.**

##### **2.7.4.1.1. Definición de Plomo.**

Es un metal pesado, azulado, suave y maleable, usado en varios procesos industriales. El plomo existe naturalmente en la corteza terrestre, de donde es extraído y procesado para usos diversos. (Valdéz et, al., op. cit.). Suele ser menos soluble que otros metales, se retiene en una mayor cantidad en los suelos, los suelos carbonatados son los que retienen en mayor proporción este elemento (casi 100%), los suelos ácidos retienen poco Pb. (Trejo, et al., op. cit.). Este Metal no es esencial para los seres vivos, sin embargo, existe en todos los tejidos y órganos de los mamíferos. Se presenta en dos estados de oxidación  $Pb^{+2}$  y  $Pb^{+4}$ , siendo el primero el que predomina en el ambiente acuático. En el agua de mar se encuentra como  $PbCl_2$  (43%),  $PbCO_3$  (42%) y  $Pb(OH)_2$  (9%).(Villanueva, 2009).

##### **2.7.4.1.2. Antecedentes del Plomo en el mundo.**

Se cree que el uso generalizado que le daban en la antigua Roma (en recipientes, tubería, etc.) tuvo que ver con la decadencia de su civilización. Los romanos usaban incluso el acetato de plomo, por su dulzura, como edulcorante del vino, agudizando la intoxicación quien lo bebía.

##### **2.7.4.1.3. Fuentes de contaminación por plomo.**

Las fuentes de contaminación por plomo son múltiples e incluyen a las fundidoras, las fábricas de baterías, algunas pinturas, la loza de barro vidriado cocida a baja temperatura y las gasolinas con tetraetilo de plomo (que se dejaron de usar en México en 1997). En nueve sistemas de clasificación de riesgo citados por el Fondo para la Defensa Ambiental o Environmental Defense, el plomo aparece como un material que

es más peligroso que la mayoría de los productos químicos. Se le considera dentro del 10% de los materiales más peligrosos para la salud humana.

Según Jiménez et al., (1993), algunas de las fuentes provenientes del Plomo son actividades industriales y del uso de hidrocarburos, interfiere con el metabolismo y la función celular. Las altas concentraciones de este metal, que en la sangre tiene una vida media de uno a dos meses y en el hueso de 20 a 30 años, pueden producir efectos dañinos sobre los sistemas hematopoyético (formación de glóbulos rojos), hepático, renal, reproductivo y gastrointestinal. Entre las poblaciones de alto riesgo están las mujeres en edad reproductiva y los niños.

#### **2.7.4.1.4. Toxicidad del Plomo.**

Cuando el plomo es ingerido, inhalado o absorbido por la piel, resulta ser altamente tóxico para los seres vivos en general y para los humanos en particular. Se sospecha que es tóxico para los sistemas endócrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico, y gastrointestinal además de poder afectar la piel y los riñones. El plomo no es biodegradable y persiste en el suelo, en el aire, en el agua y en los hogares. Nunca desaparece sino que se acumula en los sitios en los que se deposita y puede llegar a envenenar a generaciones de niños y adultos a menos que sea retirado.

#### **2.7.4.1.5. Efectos en exposición al Plomo.**

Aún a niveles bajos, afecta a niños y a adultos. En cantidades muy pequeñas, el plomo interfiere con el desarrollo del sistema neurológico, causa crecimiento retardado y problemas digestivos. En casos extremos causa convulsiones, colapsos e incluso la muerte. La exposición a cantidades sumamente pequeñas de plomo puede causar a largo plazo daños medibles e irreversibles en niños aún cuando éstos no muestren síntomas particulares. Se ha encontrado que una concentración de 7 microgramos de plomo por decilitro de sangre ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ ) causa daños irreversibles en el sistema neurológico de los infantes. El plomo en la sangre de los niños puede provocar que un genio en potencia solo llegue a un nivel de aprovechamiento promedio o que un niño que hubiera tenido habilidades promedio quede discapacitado de por vida. Hay estudios que han relacionado una baja de 5.8 puntos en las pruebas de cociente intelectual

(donde 100 sería la habilidad de la mayoría de los niños), por cada diez microgramos por decilitro en la sangre de un niño.

Las autoridades médicas reconocen que no se ha identificado un umbral a partir del cual se presenten los efectos dañinos del plomo. La Academia Americana de Pediatría recomienda como nivel deseable de plomo en la sangre de los niños la cantidad de cero. Es importante recalcar que tampoco existe un nivel de plomo en sangre que pueda ser considerado normal.

El plomo causa anemia en los niños y en los adultos al impedir la formación de moléculas que transportan el oxígeno. En los adultos, la exposición a niveles sumamente bajos de plomo causa incrementos pequeños pero significativos en la presión arterial y no existe evidencia de que haya un umbral para este efecto. También en los adultos, el plomo causa enfermedades renales y afecta la fertilidad. La alta presión arterial (hipertensión) causada por la exposición al plomo, contribuye a que mueran miles de personas cada año, especialmente personas entre las edades de 35 y 50 años. (Valdéz, et. al., op. cit.).

#### **2.7.4.1.6. Población en peligro.**

Los niños en edad pre-escolar y los fetos son los grupos más vulnerables a la exposición al plomo ésta mayor vulnerabilidad resulta de una serie de factores propios del organismo de los niños y los fetos. Estos factores incluyen:

- La susceptibilidad elevada del sistema nervioso del feto y del neonato aún en desarrollo a los efectos neurotóxicos del plomo.
- Los niños pequeños tienden a jugar en el polvo y a llevarse sus manos y otros objetos a la boca. Es común que los niños de todas las condiciones sociales y todas las culturas jueguen en el piso, acaricien sus mascotas, se chupen el pulgar, coman con las manos, etc., incrementando la probabilidad de ingestión de polvo.

Muchos niños tienen la costumbre de comer o lamer escamas de pintura por su sabor dulce. Este sabor proviene de los compuestos de plomo existentes en las pinturas. Una escama de pintura del tamaño de una uña puede contener entre cuarenta y doscientos microgramos de plomo. Esta costumbre de comer polvo y otros elementos no

alimenticios se le conoce como pica y ocurre con más frecuencia en los niños que en los adultos.

- En un niño el plomo se absorbe por su tracto gastrointestinal con mayor eficiencia que en los adultos, absorbiendo aproximadamente el cuarenta por ciento del plomo que ingieren. Esta absorción aumentada se presenta desde el nacimiento hasta la edad de seis años cuando el cerebro se está desarrollando. El plomo interfiere con este desarrollo.
- Las deficiencias de hierro y calcio, que son comunes en los niños, facilitan la absorción del plomo y exacerbaban sus efectos tóxicos.

El envenenamiento por plomo es más severo en países en desarrollo por las emisiones industriales incontroladas, el funcionamiento de pequeñas industrias sin ninguna reglamentación y algunas prácticas populares como el uso de medicinas tradicionales que contienen plomo. (Valdéz, et. al., op. cit.).

La Organización Mundial de la Salud estima que entre quince y dieciocho millones de niños en países en desarrollo sufren de daño cerebral permanente por culpa del envenenamiento por plomo. Cientos de millones de niños y de mujeres embarazadas están expuestos a niveles elevados del plomo en estos países.

Entre los niños, aquellos que tienen dos y tres años de edad son los que están en un mayor riesgo por estar expuestos al suelo contaminado por plomo. Se ha reportado a niños de estas edades con los niveles de plomo en sangre más elevados, donde la pica es más común.

#### **2.7.4.1.7. Rendimiento de algunos cultivos en Presencia del Plomo.**

El Rendimiento de algunos cultivos baja a través de varias cosechas, ya que determinadas concentraciones de metales pesados inhiben el crecimiento de la planta y la producción de flores y frutos. Además, el suelo pierde sistemáticamente sus propiedades; por ejemplo, la acción del Pb limita la microbiota e impide la descomposición de la materia orgánica del suelo. (Silva et. al., op. cit.).

#### **2.7.4.1.8. Recomendaciones.**

Es recomendable vigilar los niveles del plomo en la sangre para valorar la exposición a este peligroso metal. Se recomienda tener hábitos de higiene estrictos, sobre todo en los niños para evitar que el plomo entre por la boca. Puede uno protegerse evitando fumar, reduciendo la ingestión de bebidas alcohólicas (el alcohol favorece la absorción del plomo) y consumiendo cereales, frutas y hortalizas de cultivo orgánico. Se debe evitar el uso de loza de barro vidriado, sobre todo para cocinar o guardar alimentos con alta acidez. Ingerir vitamina D es una buena idea así como tomar alimentos ricos en calcio y hierro (leche, yoghurt, frijoles, tortillas, etc.). Si la persona afectada vive cerca de una fuente emisora de ese metal como fundidoras, fábricas de pigmentos o de baterías, es recomendable cambiar de domicilio. (Valdéz, et. al., op. cit.).

#### **2.7.4.1.9. Situación del Plomo en Durango y Coahuila.**

En la Región Lagunera de México se ha detectado y reportado una alta contaminación con plomo en suelo y aire por una fundidora situada en Torreón, Coahuila. Otra planta se encuentra localizada en Bermejillo, Dgo. La potencial contaminación con metales pesados de los suelos en esas áreas representa un gran riesgo dado que las condiciones ambientales de la región propician suelos secos y fuertes vientos que generan tolvaneras, las cuales dispersan el suelo y sus contaminantes en toda la región. Sin embargo, no existen estudios sobre el nivel de contaminación en los suelos de las áreas aledañas a esa fundidora. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar la acumulación de Pb en suelos de las áreas aledañas a la planta metalúrgica ubicada en Bermejillo, Dgo. (Trejo, et al., op. cit.).

#### **2.7.4.2. Contaminación Ambiental por Arsénico.**

##### **2.7.4.2.1. Definición de Arsénico.**

El arsénico es un metal que aparece de manera natural y ubicua en el medio ambiente, en forma de diferentes compuestos inorgánicos y orgánicos, tanto en estado sólido como líquido. Aunque en algunas zonas geográficas la concentración puede ser más alta, su contenido medio en la corteza terrestre es de 5 gramos por tonelada, apareciendo normalmente combinado con más de 150 elementos diferentes (cobre,

plomo, azufre, níquel, hierro, cobalto, zinc, etc.), (Aragonés et al. 2001). El arsénico se encuentra en dos formas comunes: una gris y de aspecto metálico y otra no metálica y amarillenta. Se usa para librar al vidrio de los tonos verdosos y se agrega al plomo para volverlo más duro. También se le emplea en la elaboración de diversos insecticidas. (Valdéz, et. al., op. cit.).

#### **2.7.4.2.2. Antecedentes del Arsénico en el mundo.**

Aragonés et al., (op. cit.), comentaron que en distintas partes del mundo se ha descrito la presencia de arsénico en agua de bebida por encima de niveles admisibles, habiéndose relacionado con la aparición de alteraciones en la salud como cáncer, enfermedades dermatológicas y vasculares, entre otras.

Ya en los años 70, en China, el consumo de agua de pozos con altos niveles de arsénico se relacionó con el cáncer de piel y la llamada *black foot disease* (una alteración vascular periférica). Posteriormente, otros estudios informaron de un exceso de mortalidad por tumores de vejiga, riñón, piel, próstata, pulmón e hígado en esta población, con una relación dosis respuesta positiva (Aragonés, et al., op. cit.). Y recientemente, se ha sugerido que el efecto sobre la salud del arsénico es sistémico, incrementando la probabilidad de morir tanto por enfermedades no tumorales (enfermedad isquémica del corazón, hipertensión, diabetes y bronquitis) como tumorales (cáncer de senos nasales, huesos, laringe, colon, estómago, linfoma).

En la India, en 1978, una gran contaminación por arsénico en el agua de bebida de 30 millones de personas produjo lesiones dérmicas en más de 175.000 individuos. Sin perjuicio de los efectos perniciosos del arsénico, se ha sugerido que podría haber otras causas añadidas de este desastre, pues concentraciones similares de arsénico no han producido una toxicidad tan exagerada en otros lugares, barajándose que determinadas carencias nutricionales de la población (déficit de vitamina C y A, metionina) se asocian a un mayor efecto tóxico. (Aragonés, et al., op. cit.).

En Estados Unidos se han estudiado poblaciones expuestas a altos niveles de arsénico en el agua de bebida, no encontrándose evidencias de arsenicalismo, ni aumento de la incidencia de cáncer de piel o vejiga.

En otras partes del continente americano se han encontrado efectos en salud asociados a altos niveles de arsénico en aguas de consumo humano. En Argentina se ha descrito una mayor mortalidad por cáncer de vejiga y en Chile por cáncer de vejiga y pulmón, mientras que en México, individuos expuestos a concentraciones tóxicas de arsénico en agua de bebida presentaron mayor número de alteraciones citogenéticas que aquellos expuestos a concentraciones tolerables de arsénico. (Aragonés, et al., op. cit.).

#### **2.7.4.2.3. Toxicidad del Arsénico.**

El arsénico es muy tóxico y causa daños al sistema neurológico, al sistema cardiovascular y está ligado a diversos tipos de cáncer como el de la piel. La intoxicación crónica por arsénico puede manifestarse por la aparición de llagas y un aspecto leproso. Inhalar arsénico aumenta las posibilidades de desarrollar cáncer pulmonar. Una dosis superior a los 65 miligramos suele provocar una muerte violenta. (Valdéz, et. al., op. cit.).

La toxicidad de un compuesto con arsénico para los humanos depende en gran medida de su forma química, diferenciándose dos grupos de compuestos: los inorgánicos y los orgánicos. Los inorgánicos son los más tóxicos y aparecen sobre todo en aguas (su principal vía de transporte en el ambiente), donde se encuentran principalmente en forma de pentóxido de arsénico ( $As_2O_5$ ) o trióxido de arsénico ( $As_2O_3$ ). (WHO, 1996). Generalmente aparecen por disolución de minerales, aunque también pueden aparecer por contaminaciones industriales, uso de plaguicidas o deposición atmosférica. Los compuestos orgánicos, mucho menos tóxicos que los inorgánicos, se encuentran sobre todo en alimentos y suponen la principal vía de exposición de la población al arsénico. Sin embargo, la exposición al arsénico inorgánico por la ingesta es pequeña, salvo en regiones donde el arsénico inorgánico produce contaminación de aguas de bebida, pudiendo originar envenenamientos crónicos.

El arsénico inorgánico fue una de las primeras sustancias químicas considerada carcinógena, habiéndose confirmado que su inhalación produce cáncer de pulmón y su ingestión cáncer de piel en humanos. No obstante, mientras que la valoración de riesgo realizada para la vía inhalatoria ha sido aceptada, existen discrepancias sobre la evaluación del riesgo realizada para la ingesta. Esta evaluación, basada en el riesgo de

padecer cáncer de piel, es cuestionada por quienes piensan que debería prestarse más atención a la posibilidad de que el arsénico aumente el riesgo de padecer tumores internos<sup>6</sup>. Aunque no existen datos concluyentes, se sospecha que su ingestión podría aumentar el riesgo de cáncer en otras localizaciones (hígado, tracto gastrointestinal, vejiga, riñón y sistema hematopoyético). Así, pese a que las intoxicaciones agudas son tremendamente llamativas y graves, la intoxicación crónica por arsénico es un problema de salud pública de gran magnitud en muchos lugares del mundo. (Aragónés, et al. op. cit.).

#### **2.7.4.2.4. Sintomatología por efecto del Arsénico.**

Los síntomas de la intoxicación por arsénico incluyen la fatiga, los dolores musculares, la pérdida del cabello, el zumbido de los oídos, la cicatrización difícil, la depresión, la laxitud, las alucinaciones visuales y la disminución de la producción de glóbulos rojos y blancos. La intoxicación crónica puede causar la muerte. La pintura verde del papel tapiz de la casa donde estuvo cautivo Napoleón en la isla de Santa Helena -la pintura llamada “verde de París”, con alto contenido de arsénico- fue el veneno que terminó con su vida. (Valdéz, et. al., op.cit.).

#### **2.7.4.2.5. Fuentes Principales de Contaminación por Arsénico.**

Las fuentes principales de la contaminación arsenical son las fundidoras, el agua de ciertas regiones, el humo de tabaco, algunos plaguicidas, los huevos de gallinas criadas en régimen industrial (se les da arsénico para combatir los parásitos) y los mariscos. Para protegerse de los daños se pueden tomar dosis de yodo orgánico, megadosis de vitamina C y comer diversos germinados. (Valdéz, et. al., op. cit.).

#### **2.7.5. Costos Ambientales de la Explotación Intensiva.**

Los costos de la degradación ambiental se definen como una disminución del bienestar de una nación, como producto de la degradación del medio ambiente. Entre los aspectos que se consideran para estimar la degradación ambiental se menciona:

a) la pérdida de una vida saludable y el bienestar de la población;

- b) pérdidas económicas por reducción en la productividad y/o reducción del valor de los recursos naturales;
- c) pérdida de recursos naturales para la recreación y a conservación, y
- d) reducción de la sustentabilidad del desarrollo social de una región.

Los costos ambientales se pueden dividir en dos grandes grupos: a) los que se refieren exclusivamente a los que impactan directamente a un productor o empresa en la generación de un producto o servicio, que comúnmente se les llama “costos privados”, y

b) los costos que se transmiten a otros individuos, a la sociedad o al ambiente y que generalmente se les llama “costos sociales”, “costos externos”, o externalidades

Los costos ambientales que se han identificado son:

- a) incrementos en el consumo de energía eléctrica debido a las mayores profundidades de bombeo,
- b) terrenos agrícolas perdidos por salinización de suelos y de pozos de bombeo,
- c) contaminación del acuífero por intrusión de agua de mar,
- d) hundimientos y agrietamientos del terreno,
- e) deterioro de la calidad del agua subterránea por la migración de aguas mineralizadas emplazadas a grandes profundidades, y
- f) aumento del costo de oportunidad por agotamiento del recurso.

## **2.8 Tratamiento y rehúso del agua en México.**

### **2.8.1. Descarga de agua residual.**

Las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales e industriales. Las primeras corresponden a las que son manejadas en los sistemas de alcantarillado municipales urbanos y rurales, en tanto que las segundas son aquellas descargadas directamente a los cuerpos receptores de propiedad nacional, como es el caso de la industria autoabastecida.

### **2.8.2. Tratamiento de aguas residuales.**

Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales En el año 2007, las 1 710 plantas en operación en el país trataron 79.3 m<sup>3</sup>/s, es decir el 38.3% de los 207 m<sup>3</sup>/s, recolectados en los sistemas de alcantarillado.

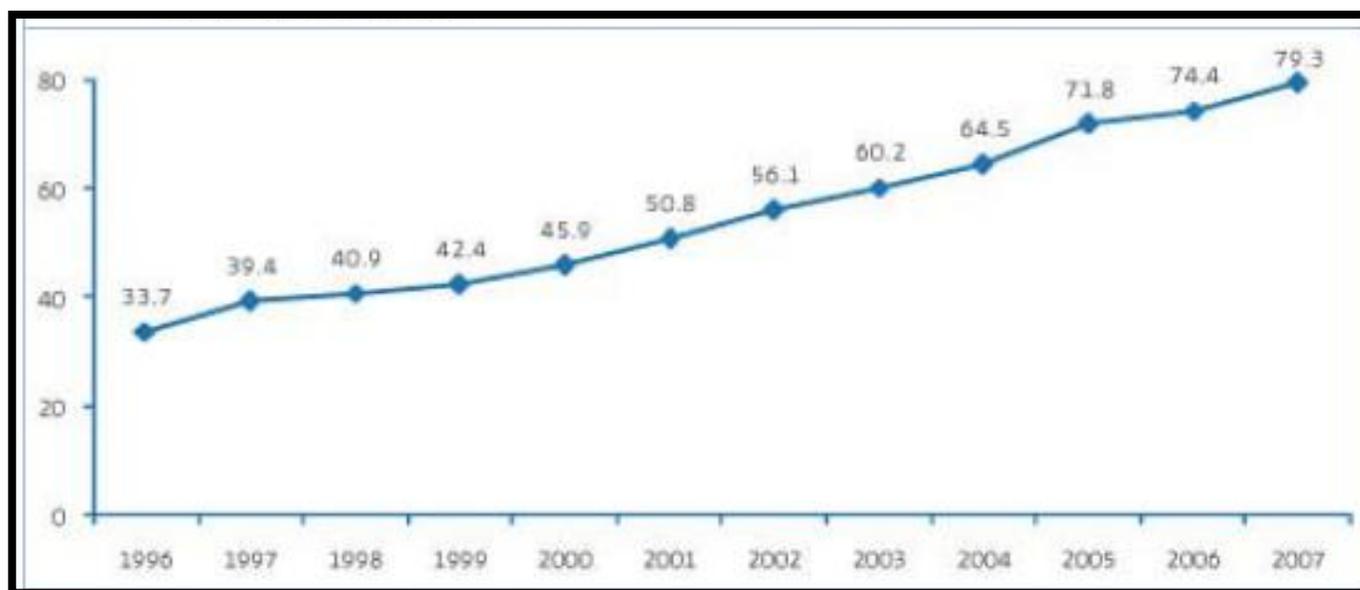
<b>Centros urbanos (descargas municipales)</b>	
Aguas residuales	7.66 Km <sup>3</sup> /año (243m <sup>3</sup> /s)
Se colectan en alcantarillado	6.53 Km <sup>3</sup> /año (207m <sup>3</sup> /s)
se tratan	2.5 Km <sup>3</sup> /año (79.3m <sup>3</sup> /s)
se generan	2.07 millones de toneladas de DBO , al año
se recolectan en el alcantarillado	1.76 millones de toneladas de DBO , al año
se remueven en los sistemas de tratamiento	0.53 millones de toneladas de DBO , al año
<b>Usos Industriales (no municipales)</b>	
Aguas residuales	5.98 Km <sup>3</sup> /año (188.7m <sup>3</sup> /s)
se tratan	0.94 Km <sup>3</sup> /año (79.3m <sup>3</sup> /s)
se generan	6.95 millones de toneladas de DBO , al año
se remueven en los sistemas de tratamiento	1.1 millones de toneladas de DBO , al año

**Cuadro No. 29. Descargas de aguas residuales municipales y no municipales, 2007**

NOTA: DBO<sub>5</sub> Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días.

1 km<sup>3</sup> = 1 000 hm<sup>3</sup> = mil millones de m<sup>3</sup>.

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Agua Potable y Drenaje y Saneamiento, y Subdirección General Técnica.



**Figura No. 18. Caudal de aguas residuales municipales tratadas, serie anual de 1996 a 2007 (metros cúbicos por segundo, m<sup>3</sup>/s)**

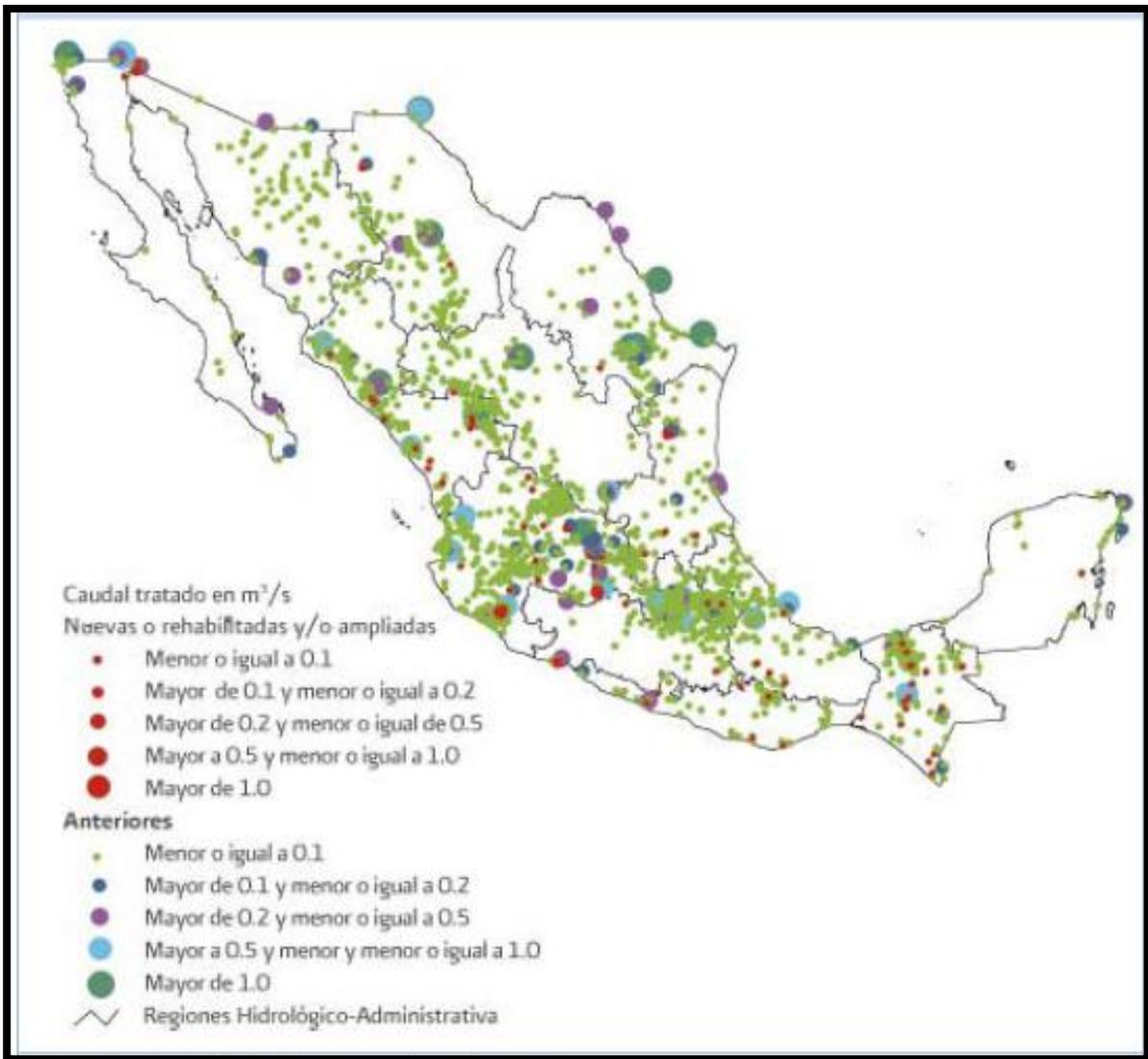
Fuente: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de la Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.

A continuación se indican las plantas de tratamiento de aguas residuales en operación por Región Hidrológico-Administrativa.

Región Hidrológico-Administrativa	Número de Plantas en operación	Capacidad Instalada m <sup>3</sup> /s	Caudal tratado m <sup>3</sup> /s
1. Península de baja California	41	7.71	5.77
2. Noroeste	80	4.28	3.09
3. Pacífico Norte	229	8.08	6.16
4. Balsas	138	7.24	5.13
5. Pacífico Sur	78	2.55	1.58
6. Río Bravo	181	25.53	21.78
7. Cuencas Centrales del Norte	106	5.15	4.01
8. Lerma-Santiago-Pacífico	421	22.55	17.27
9. Golfo Norte	84	2.26	1.96
10. Golfo Centro	122	4.67	2.64
11. Frontera Sur	95	3.33	2.5
12. Península de Yucatán	52	2.24	1.72
13. Aguas del Valle de México	83	10.7	5.7
Total	1710	106.27	79.29

**Cuadro No. 30. Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación, por Región Hidrológico-Administrativa, 2007**

Fuente: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de la Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.



**Figura No. 19. Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales a diciembre de 2007** FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.

### 2.8.3. Plantas de tratamiento de aguas residuales industriales

En el año 2007, la industria trató 29.9 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales, en 2 021 plantas en operación a nivel nacional.

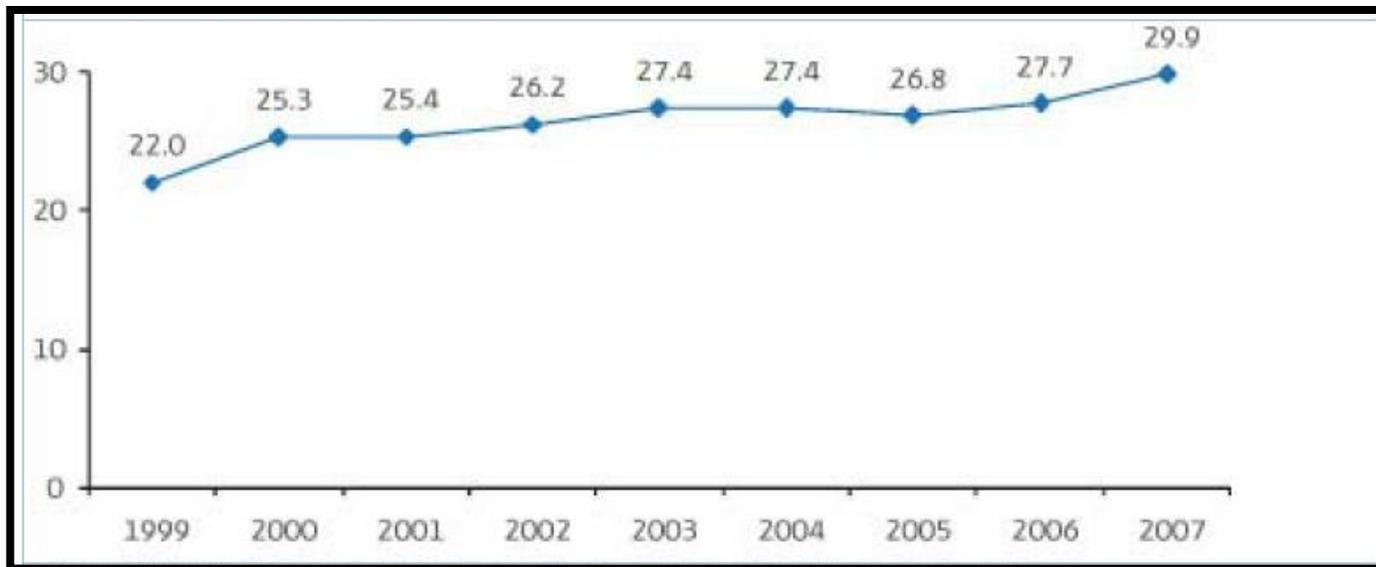


Figura No. 20. Caudal de aguas residuales industriales tratadas, serie anual de 1996 a 2007 (metros cúbicos por segundo, m<sup>3</sup>/s). FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de la Subdirección General Técnica.

Entidad Federativa	Número de Plantas en operación	Capacidad Instalada m <sup>3</sup> /s	Caudal tratado m <sup>3</sup> /s
1 Aguascalientes	46	0.23	0.11
2 Baja California	174	0.44	0.15
3 Baja California Sur	7	0.01	0.01
4 Campeche	49	0.49	0.16
5 Coahuila de Zaragoza	70	0.95	0.64
6 Colima	8	0.44	0.31
7 Chiapas	18	0.69	0.69
8 Chihuahua	20	0.66	0.29
9 Distrito Federal	123	0.41	0.41
10 Durango	33	0.68	0.34
11 Guanajuato	45	0.4	0.18
12 Guerrero	7	0.05	0.04
13 Hidalgo	41	1.65	0.98
14 Jalisco	33	1.51	1.51
15 México	292	3.75	2.75
16 Ocampo	45	3.55	2.47
17 Morelos	80	2.86	2.72
18 Nayarit	4	0.16	0.16
19 Nuevo León	83	4.13	3
20 Oaxaca	13	1.08	0.76
21 Puebla	97	0.62	0.43
22 Querétaro Arteaga	128	1.11	0.51
23 Quintana Roo	2	0.01	0.01
24 San Luis Potosí	74	1.36	0.63
25 Sinaloa	42	2.82	0.46
26 Sonora	23	0.36	0.16
27 Tabasco	108	0.61	0.15
28 Tamaulipas	46	1.6	0.83
29 Tlaxcala	107	0.3	0.26
30 Veracruz Ignacio de la Llave	160	11.63	8.64
31 Yucatán	36	0.11	0.07
32 Zacatecas	7	0.15	0.04
Total	2021	44.79	29.87

**Cuadro No. 31. Plantas de tratamiento de aguas residuales industriales en operación por entidad federativa, 2007**

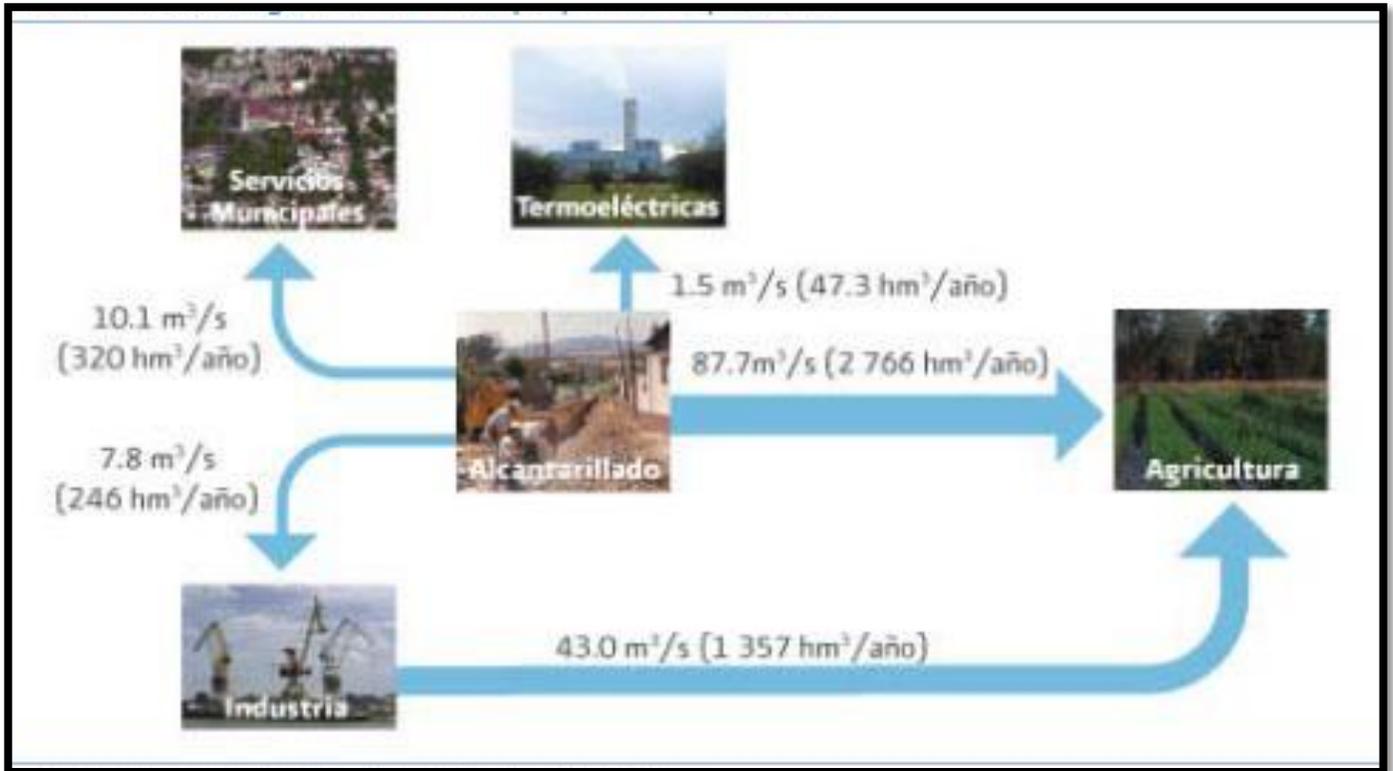
FUENTE: CONAGUA. Subdirección General Técnica

Tipo de Tratamiento	Propósito	No. De plantas	Gasto (m <sup>3</sup> /s)	Porcentaje
Primario	Ajustar el pH y remover materiales orgánicos y/o	589	10.63	35.6
Inorgánicos en suspensión con tamaño igual o mayor a 0.1 mm				
Secundario	Remover materiales orgánicos coloidales y disueltos	1119	15.09	50.5
Terciario	Remover materiales disueltos que incluyen gases, sustancias orgánicas naturales y sintéticas, iones y Bacterias y virus.	59	0.64	2.1
No Especificado		254	3.51	11.8
Total		2021	29.87	100

Cuadro No. 32. Tipos de tratamiento de aguas residuales industriales, 2007 FUENTE: CONAGUA. Subdirección General

#### 2.8.4. Rehúso del agua residual.

Se estima que en el año 2007 en México se reutilizaron 4 722 millones de metros cúbicos de agua (equivalente a un caudal de 150 m<sup>3</sup>/s). En el rehúso de agua de origen municipal destaca la transferencia de aguas residuales colectadas en las redes de alcantarillado hacia cultivos agrícolas. En una menor proporción se reutilizan dichas aguas en las industrias, así como en las termoeléctricas, como es el caso de la central termoeléctrica de Villa de Reyes en San Luis Potosí. En el rehúso de agua de origen industrial (no municipal) destacan las aguas residuales de los ingenios azucareros en el cultivo de caña en el estado de Veracruz. En el siguiente diagrama se pueden identificar las diferentes transferencias de agua entre los usos.



**Figura No. 21. Reúso de agua residual municipal y no municipal, 2007.** Nota: m<sup>3</sup>/s = metros cúbicos por segundo, 1 m<sup>3</sup>/año = 1 millón de m<sup>3</sup> por años Fuente: CONAGUA. Estimaciones de la Subdirección General de Programación a partir de datos de la subdirección General Técnica.

## 2.9. Instrumentos de Gestión del Agua en México.

### 2.9.1. Instituciones relacionadas con el agua en México.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), órgano administrativo, normativo, técnico, consultivo y desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Institución	Ejemplo de coordinación que se efectúa
Secretaría de Hacienda y Crédito Público	Definir el presupuesto que es asignado a las instituciones vinculadas al sector hidráulico y la calendarización correspondiente contribuyendo a propiciar un ejercicio ágil y oportuno de los recursos otorgados; en su caso, autorizar programas multianuales de inversión.
H. Congreso de la Unión	Concretar Políticas y presupuesto requeridos en materia hidráulica, así como evaluar y en su caso aprobar las solicitudes de modificaciones a la ley de aguas nacionales y su reglamento.
Estados y Municipios	Programas y acciones para restaurar las cuencas del país, apoyar el suministro de los servicios de agua potable y saneamiento a la población, impulsar el uso eficiente del agua en las actividades productivas, como el riego y la industria, y acciones para la atención de eventos meteorológicos.
Secretaría de Salud	Apoyar a los municipios para que sus habitantes reciban agua con calidad apta para su consumo; fomentar entre los habitantes los hábitos y costumbre asociados a la higiene que les permitan una mejor calidad de vida
Secretaría de Educación Pública	Acciones dirigidas a la población escolar para promover el uso eficiente del agua y su preservación, incluyendo apartados específicos sobre el cuidado del agua y del medio ambiente en los libros de texto.

**Cuadro No. 33. Instituciones y organismos con los que se coordina la CNA. 2007.**  
Fuente: CONAGUA. Programa Nacional Hidrico2007 – 2012.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación	Acciones para lograr un uso más eficiente del agua en la agricultura e incrementar la productividad agrícola con base en los requerimientos alimenticios del país, la vocación del suelo y la disponibilidad del agua.
Secretaría de Gobernación	Programas y acciones necesarios para la prevención y atención de sequías e inundaciones
Comisión Federal de Electricidad	Construir y operar las presas que se utilizan para la generación de energía eléctrica, el abastecimiento a las ciudades, el riesgo o la protección contra inundaciones
Secretaría de Relaciones Exteriores	Impulsar la coordinación técnica y financiera con las agencias e instituciones de los Estados Unidos de América para llevar a cabo los programas asociados al manejo y preservación del agua en las cuencas y acuíferos fronterizos.
Secretaría de Turismo	Acciones para lograr el buen aprovechamiento y preservación del agua en los sitios turísticos y zonas de recreación
Secretaría de Economía	Participar en la formulación de las normas oficiales para el Sector Hidráulico
Comisión Nacional Forestal	Acciones de conservación de suelo y agua en las partes altas de las cuencas, con el fin de disminuir el arrastre de sólidos hacia los cauces y presas.
Procuraduría Federal de Protección al Ambiente	Acciones para vigilar la calidad del agua de los ríos y lagos del país y aplicar las sanciones que correspondan
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua	Desarrollar investigación y tecnología en materia de recursos hídricos
Secretaría de Fundación Pública	Impulsar las acciones de buen gobierno y desarrollo institucional; coordinar las acciones asociadas a la certificación de capacidades en el sector público federal
Consejos de Cuenca y sus órganos auxiliares	Participar en la gestión integrada del agua por cuenca y por acuífero, de tal manera que se favorezca el bienestar social, el desarrollo económico y la preservación del medio ambiente.
Consejo consultivo del Agua	Estrategias y acciones para el mejor uso y preservación del agua.
Instituto de Investigación y Tecnología	Investigación y desarrollo tecnológico para preservar el agua
Secretaría de Desarrollo Social	Apoyo a comunidades rurales para el desarrollo de infraestructura de agua potable, drenaje y saneamiento.

**Cuadro No. 33. Instituciones y organismos con los que se coordina la CNA. 2007.**

Fuente: CONAGUA. Programa Nacional Hídrico 2007 – 2012.

## 2.9.2. Marco jurídico para el uso de las aguas nacionales.

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) establece que la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales se realizará mediante concesión o asignación otorgada por el Ejecutivo Federal a través de la CONAGUA por medio de los Organismos de Cuenca, o directamente por ésta cuando así le competa, de acuerdo con las reglas y condiciones que dispone la LAN y su reglamento. De manera similar, para las descargas de aguas residuales, es necesario contar con un permiso de descargas expedido por la CONAGUA. Los títulos de concesión, asignación y permisos de descarga se inscriben en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), el cual se puso en marcha a partir de 1992, con la expedición de la LAN.

## 2.9.3. Normas relacionadas con el agua.

### 2.9.3.1. Normas Oficiales Mexicanas Ecológicas y del sector agua.

A continuación se presentan las normas ambientales mexicanas relacionadas con el tema del agua, la nomenclatura de las normas cambió de ECOL a SEMARNAT de acuerdo con las modificaciones de nomenclaturas especificadas en el Diario Oficial de la Federación (DOF) del 23 de abril de 2003.

NOM-001-SEMARNAT-1996 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Fue publicada en el DOF el día 6 de enero de 1997 y entró en vigor al día siguiente. Esta norma se complementa con la aclaración publicada en el mismo medio de difusión del día 30 de abril de 1997.

Descargas municipales		
Fechas modificadas de cumplimiento a partir de:	Rango de Población (según Censo de 1990)	Número de localidades (según Censo de 1990)
1 de enero de 2000	Mayor de 50 000 habitantes	139
1 de enero de 2005	de 20 001 a 50 000 habitantes	181
1 de enero de 2010	de 2 501 a 20 000 habitantes	2 266
Descargas no municipales		
Fechas modificadas de cumplimiento a partir de:	Demanda Bioquímica de Oxígeno (t/dla)	Sólidos Suspendidos Totales (t/dla)
1 de enero de 2000	Mayor de 3	Mayor de 3
1 de enero de 2005	de 1.2 a 3	de 1.2 a 3
1 de enero de 2010	Menor de 1.2	Menor de 1.2

Cuadro No. 34. Fechas de cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996

**NOM-002-SEMARNAT-1996** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Se publicó en el DOF el día 3 de junio de 1998 y entró en vigor al día siguiente.

**NOM-003-SEMARNAT-1997** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en servicios al público. Se publicó en el DOF el día 21 de septiembre de 1998 y entró en vigor al día siguiente.

**NOM-004-SEMARNAT-2002** Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Se publicó en el DOF el día 15 de agosto de 2003 y entró en vigor al día siguiente.

**NOM-083-SEMARNAT-2003** Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Se publicó en el DOF el día 20 de octubre de 2004 y entró en vigor a los sesenta días naturales posteriores de su publicación.

**NOM-022-SEMARNAT-2003** Establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar. Se publicó en el DOF el día 10 de abril de 2003 y entró en vigor a los sesenta días naturales posteriores de su publicación. Existe un acuerdo que adiciona la especificación 4.43 a la Norma Oficial Mexicana NOM-022-Semarnat-2003, que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar. Se publicó en el DOF el día 7 de mayo de 2004 y entró en vigor al día siguiente.

**NOM-141-SEMARNAT-2003** Establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales. Se publicó en el DOF el día 13 de septiembre de 2004 y entró en vigor a los sesenta días naturales posteriores de su publicación.

Con el fin de poder cumplir con su obligación de publicar la disponibilidad de agua de las cuencas y acuíferos del país, la CONAGUA expidió la NOM-011-CNA- 2000.

**NOM-011-CNA -2000** Conservación del recurso agua. Establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Se publicó en el DOF el día 17 de abril de 2002. Entró en vigor el 17 de junio de 2002.

Por otro lado, la CONAGUA ha expedido normas que establecen las disposiciones, las especificaciones y los métodos de prueba que permiten garantizar que los productos y servicios ofertados a los organismos operadores de sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, cumplan con el objetivo de aprovechar, preservar en cantidad y calidad el agua. Las Normas Oficiales Mexicanas en vigor son las siguientes:

**NOM-001-CNA-1995** Sistemas de alcantarillado sanitario–Especificaciones de hermeticidad. Se publicó en el DOF el día 11 de octubre de 1996. Entró en vigor el 8 de febrero de 1997.

**NOM-002-CNA-1995** Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable–Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el DOF el día 14 de octubre de 1996. Entró en vigor el 12 de abril de 1997.

**NOM-003-CNA-1996** Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos. Se publicó en el DOF el día 3 de febrero de 1997. Entró en vigor el 4 de mayo de 1997.

**NOM-004-CNA-1996** Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación v de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general. Se publicó en el DOF el día 8 de agosto de 1997. Entró en vigor el 3 de febrero de 1998.

**NOM-005-CNA-1996** Fluxómetros–Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el DOF el día 25 de julio de 1997. Entró en vigor el 21 de enero de 1998.

**NOM-006-CNA-1997** Fosas sépticas prefabricadas–Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el DOF el día29 de enero de 1999 y entró en vigor al día siguiente.

**NOM-007-CNA-1997** Requisitos de seguridad para la construcción y operación de tanques para agua. Se publicó en el DOF el día 1 de febrero de 1999. Entró en vigor el 1 de junio de 1999.

**NOM-008-CNA-1998** Regaderas empleadas en el aseo corporal–Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el DOF el día 25 de junio de 2001. Entró en vigor el 22 de diciembre de 2001.

**NOM-009-CNA-1998** Inodoros para uso sanitario. Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el DOF el día 2 de agosto de 2001. Entró en vigor el 30 de noviembre de 2001.

**NOM-010-CNA-1999** Válvula de admisión y válvula de descarga para tanque de inodoro. Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el DOF el día 2 de septiembre de 2003. Entró en vigor el 29 de febrero de 2004.

**NOM-013-CNA-2000** Redes de distribución de agua potable. Especificaciones de hermeticidad y métodos de prueba. Se publicó en el DOF el día 04 de febrero de 2004. Entró en vigor el 3 de junio de 2004.

### **2.9.3.2. Normas Oficiales Mexicanas de la Secretaría de Salud.**

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental, entre otros aspectos, para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requirió establecer límites permisibles en cuanto a sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radioactivas. La norma que establece los límites permisibles de calidad del agua es la siguiente:

**NOM-127-SSA1-1994** Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Se publicó en el DOF el día 18 de enero de 1996, y entró en vigor al siguiente día. El 22 de noviembre de 2000 se publicó en el DOF una modificación que entró en vigor a los noventa días naturales posteriores de su publicación.

Esta norma establece:

- Límites permisibles de características bacteriológicas (coliformes fecales y coliformes totales);
- Límites permisibles de características físicas y organolépticas (color, olor y sabor, y turbiedad);
- Límites permisibles de características químicas (lo cual comprende 34 parámetros, tales como aluminio, arsénico, bario, entre otros);
- Métodos de tratamiento que se deben aplicar según los contaminantes encontrados.

A continuación se indican otras normas de importancia del sector de salud:

**NOM-013-SSA1-1993** Requisitos sanitarios que debe cumplir la cisterna de un vehículo para el transporte y distribución de agua para uso y consumo humano. Se publicó en el DOF el 12 de agosto de 1994. Entró en vigor al día siguiente.

**NOM-014-SSA1-1993** Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento públicos y privados. Se publicó en el DOF el 12 de agosto de 1994. Entró en vigor al día siguiente.

**NOM-179-SSA1-1998** Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público. Se publicó en el DOF el día 24 de septiembre de 2001. Entró en vigor al día siguiente.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS.**

La presente investigación se llevó a cabo a lo largo de la red hidrológica del Arroyo Cerro Gordo, dicho monitoreo desde aguas arriba de la presa Villa Hidalgo hasta aguas abajo del ejido El Portento, Municipio de Villa Hidalgo, Durango, México en el mes de julio del 2009, en donde se recolectaron 7 muestras.

### **3.1. Descripción del área de estudio.**

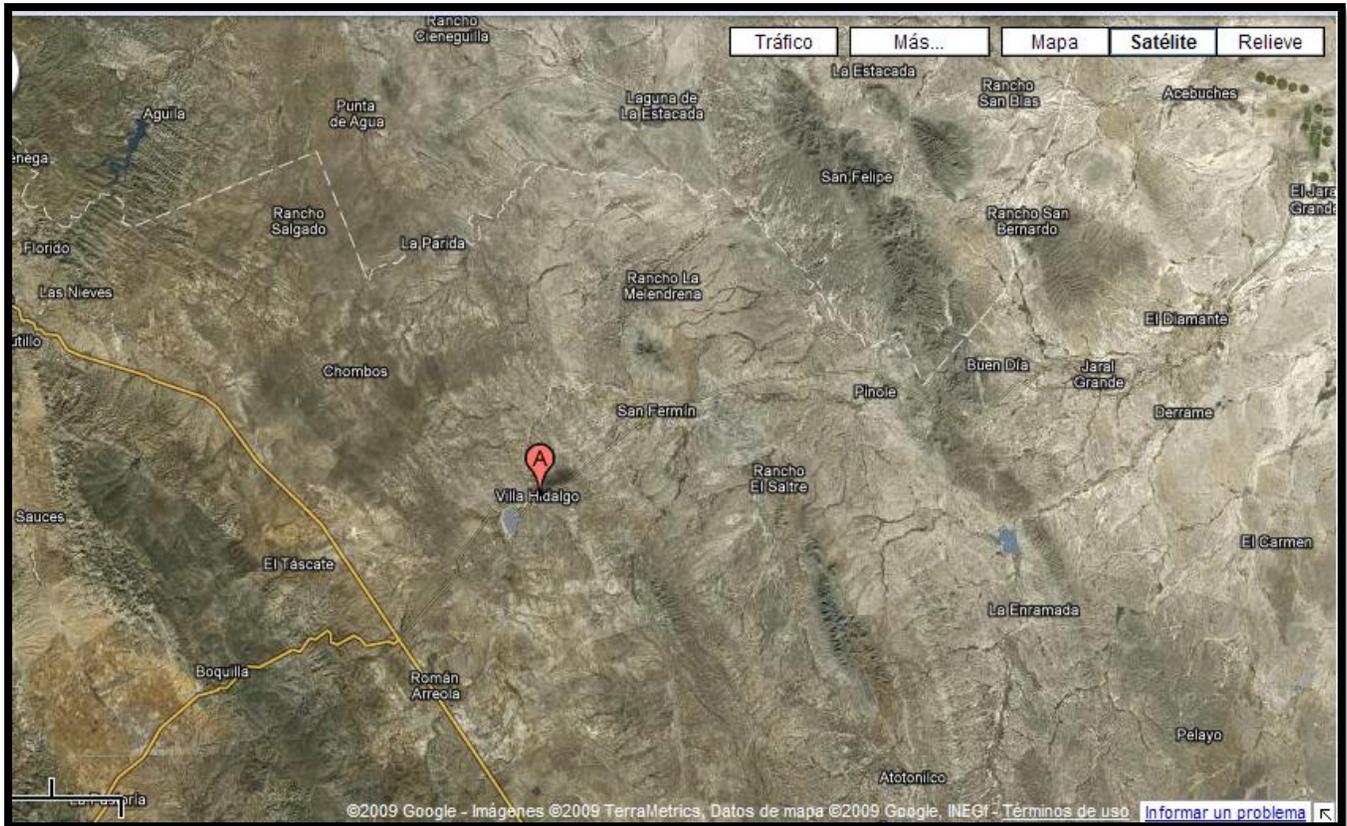
#### **3.1.1. Localización.**

Este municipio se ubica en la parte norte del estado de Durango y sus limitaciones son al norte con el estado de Chihuahua; al sur con los municipios de Indé y San Pedro del Gallo; al oriente con Mapimí y San Pedro del Gallo y al poniente con Ocampo e Indé. Está ubicado en la altiplanicie mexicana, pues la mayor parte de sus terrenos se extienden en la Meseta de la Zarca, que es una de las llanuras más extensas cubiertas de pastizales, ubicada a 1,850 metros sobre el nivel del mar. La inclinación general de la Planicie es hacia el Sureste para descender al Bolsón de Mapimí. Este Municipio fue eminentemente latifundista teniendo grandes haciendas entre las que figuran: La Zarca, San Juan Bautista, Cruces, San Ignacio y La Mimbrera, que tuvieron enormes riquezas pecuarias, pero a consecuencia del movimiento Revolucionario se destruyó, originando con éste el despoblado del Municipio, pero en la actualidad ha vuelto a desarrollarse la ganadería.

### 2.1.2. Extensión territorial.

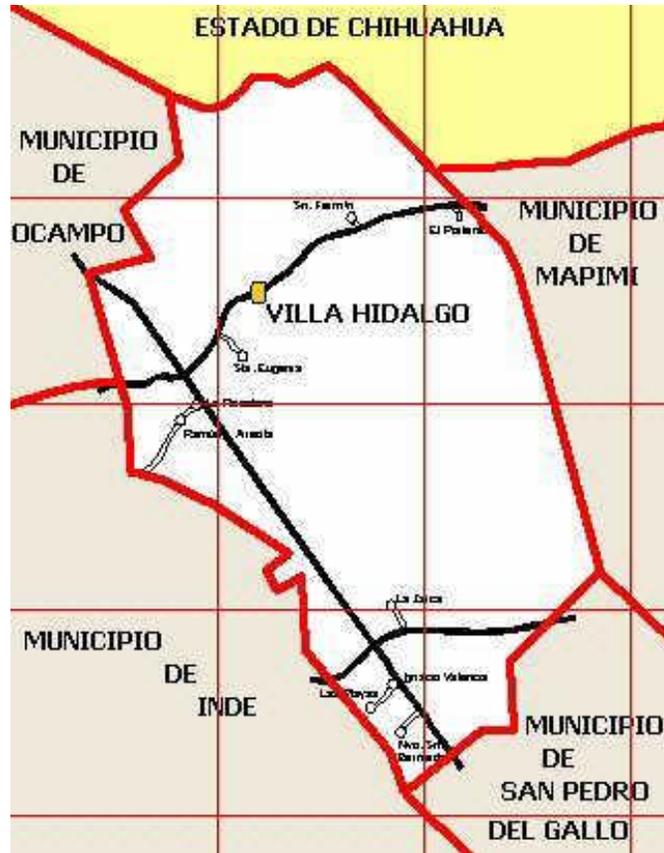
Su superficie es de 5,020.80 Km<sup>2</sup>, su distancia de la cabecera municipal a la capital del estado es de 302 Km.

Figura 22. Localización del Municipio de Villa Hidalgo, Durango. Vista Satelital.



Fuente: Google – imágenes 2009 TerraMetrics, Datos de Mapa, 2009 Google, INEGI.

Figura 23. Localización del Municipio de Villa Hidalgo, Durango. Vista Mapa



Fuente: INEGI (2009). Google earth. Digital Globe.

### 2.1.3. Hidrografía.

Por estar el municipio ubicado en la zona de los valles que forma la meseta de la Zarca a 1,250 metros sobre el nivel del mar, carece de ríos y únicamente cuenta con algunos arroyos, como son: el del Cerro Gordo que cruza la parte central del municipio, por el oriente se desliza el arroyo de Cruces, ambos se unen al arroyo de la Partida, que penetra al Bolsón de Mapimí y que a la vez sirve de límite al municipio con el estado de Chihuahua. El arroyo de Cerro Gordo tiene una longitud de 88 km. y un promedio de 300 mm anuales de precipitación.

#### **2.1.4. Clima.**

El municipio se encuentra enclavado en la zona de los valles, que es la parte norte central del estado de Durango; goza de clima agradable sin llegar al extremo, ya que la temperatura media anual es de 17°C, con una temperatura máxima extrema de 36°C y con una temperatura mínima extrema de 5°C. Este municipio cuenta con una precipitación pluvial de 605 mm en los meses de julio, agosto y septiembre, contando además con aproximadamente 15 heladas por año con vientos dominantes del suroeste. El clima que predomina en esta localidad es predominantemente seco o estepario. La primera helada se registra en el mes de octubre y la última en el mes de abril.

#### **2.1.5. Características y uso del suelo.**

Por estar ubicado en la región semiárida los suelos de este municipio son formaciones calizas, las cuales remontan su origen al período cretáceo, aunque algunas formaciones pueden considerarse como cuaternarias. La principal tenencia de la tierra en el municipio son la ejidal y la privada. El 90% del territorio municipal se utiliza para el pastoreo de diferentes especies de ganado y el 10% se utiliza en la explotación agrícola, de las cuales el 93% es para cultivos de temporal y el 7% de riego.

#### **2.2. Recolección de las muestras de agua.**

Para tal recolección de muestras de agua del arroyo Cerro Gordo, se contó con 7 frascos de 500 ml. de vidrio, color transparente, los cuales se esterilizaron y se manejaron con un cuidado especial, posteriormente ya ubicados en el municipio de Villa Hidalgo, Durango se realizó la recolección de las muestras a lo largo de 40 km. del ya

mencionado arroyo para sus respectivos análisis. Con el fin de facilitar su identificación, los nombres de las muestras se relacionan con el lugar que se obtuvo de las mismas.

### **3.2.1. Recolección de la muestra No. 1:**

A esta muestra se le dio el nombre de “Puente carretera a San Fermín”, el cual se extrajo directamente de la orilla del arroyo cerro gordo.

### **3.2.2. Recolección de la muestra No. 2:**

Esta muestra llevo el nombre de “Aguas abajo del Ejido San Fermín”, su obtención fue en el centro del arroyo y se sumergió el recipiente a una profundidad no mayor a los 15 cm. hasta llenarse.

### **3.2.3. Recolección de la muestra No. 3:**

A esta muestra se le dio el nombre de “Aguas abajo Villa Hidalgo”, su recolección se llevo a cabo a 15 cm. de profundidad y a una distancia media de la anchura del arroyo.

### **3.2.4. Recolección de la muestra No. 4:**

A esta siguiente muestra se le denomino “Presa Villa Hidalgo”, la cual se extrajo a orilla de la mencionada presa a una profundidad aproximada de 30 cm.

### **3.2.5. Recolección de la muestra No. 5:**

La quinta muestra llevo el nombre de, “Puente los Metates”, en donde se contaba con poco caudal de agua, pero se pudo obtener exitosamente el fluido a una profundidad de 15 cm. para poderla analizar.

### **3.3.6. Recolección de la muestra No. 6:**

Esta penúltima muestra se designo el nombre de “Puente el Ejido el Portento” el cual se encuentra aproximadamente a 5 km. del respectivo ejido, en donde el líquido se obtuvo de la parte media del arroyo a unos 20 cm. de profundidad.

### **3.3.7. Recolección de la muestra No. 7:**

Y por último se consiguió la última muestra denominada “Aguas Abajo el Portento” como se menciona en el titulo esta muestra es procedente de dicho ejido, en donde se realizó la misma técnica al igual que las demás muestras, obteniéndola de la parte media del arroyo.

Una vez recolectada cada una de las muestra los recipientes fueron sellados herméticamente con tapas de rosca y colocados en una área de temperatura ambiente y en donde no se pusiera en contacto con la luz del sol, con el fin de evitar alteraciones en el resultado.

### **3.3. Análisis de las muestras de agua**

Los análisis de las muestras de agua colectada, se llevaron a cabo en las instalaciones del laboratorio de suelo y en el laboratorio de Agroecológica, pertenecientes a sus respectivos departamentos, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, que se encuentra ubicada en Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fé, en Torreón, Coahuila. Y el procedimiento se realizó mediante el siguiente método analítico.

### **3.3.1. Análisis químico del agua**

Los parámetros analizados en las 7 muestras de agua fueron: pH, Arsénico (As), Plomo (Pb) y determinación de *Escherichia coli*.

#### **3.3.1.1 Determinación de pH.**

Para la obtención del pH se utilizó un potenciómetro modelo 420A de la marca ORION y se llevo a cabo por medio del electrodo (sensor) del potenciómetro y directamente en las muestras de agua, calibrando el aparato con soluciones buffer de pH 4 y 7.

#### **3.3.1.2. Determinación de Arsénico (As)**

El test de arsénico Merckoquant<sup>®</sup> es adecuado para la determinación de arsénico en aguas, muestras de suelos, medicamentos, material biológico preparado y alimentos líquidos.

Las aguas subterráneas normalmente pueden contener hasta 0.1 mg/l (ó 0.1 ppm) de arsénico. El contenido de arsénico en las aguas minerales puede ser considerablemente más elevado. Los depósitos de basura mal situados pueden ser causa de una contaminación de las aguas subterráneas. Por ello los pozos que se encuentran cerca de los depósitos de basura deberían controlarse continuamente respecto al contenido en arsénico.

En diversos procesos de producción el test puede utilizarse para comprobar la concentración de los compuestos de arsénico así como el control de valores límites en

componentes eléctricos, catalizadores, vidrios especiales y determinados baños galvanizados.

#### **3.3.1.2.1. Método de determinación**

Añadiendo zinc y ácido clorhídrico a la solución problema se forma hidruro de arsénico procedente de compuestos de arsénico tri y pentavalentes, coloreando dicho hidruro de arsénico de amarillo a pardo la zona de reacción impregnada con bromuro de mercurio (II) que se encuentra en el espacio gaseoso por encima de la solución. Aquí se forman halogenuros mixtos de arsénico y mercurio, por ejemplo As, Hg, Br.

#### **3.3.1.3. Determinación de Plomo (Pb)**

Este análisis de agua se realizó mediante un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Modelo 2380.

##### **3.3.1.3.1. Cálculos**

$$\text{ppm} = \text{mg/Kg} = \frac{(\text{Adsorción Atómica}) (\text{Volumen Concentrado})}{\text{Volumen Inicial}}$$

##### **3.3.1.3.2. Método**

Para poder llevar a cabo este estudio se tomó 100 ml de agua de cada muestra y se pusieron a evaporar sin dejar que se provocara una ebullición para así se redujeran a 25 ml, posteriormente se le añadieron a cada una 1 ml de ácido clorhídrico a la solución, y después analizar dichas muestras con el Espectrofotómetro de Absorción Atómica Modelo 2380.

#### **3.3.1.4. Determinación de *Escherichia coli***

Para realizar dicha determinación, se tomó como referencia la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-112-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. DETERMINACIÓN DE BACTERIAS COLIFORMES. TÉCNICA DEL NÚMERO MÁS PROBABLE. En donde por cada 100 ml. de agua se inoculó en tubos que contenían caldo McConkey (MC) (Peptona 20g/L, Lactosa g/L), sales biliares 5 g/L y púrpura de bromocresol 0.01 g/L). Se sembró por triplicado 10 ml. de la muestra problema en MC doble concentración. Además 1 y 0.1 ml. de MC simple concentración se incubó durante un periodo de 48 hr. a 35° C. el resultado final se obtuvo empleando una tabla de probabilidades a la que se ingresa con el número de tubos positivos y negativos. De esta forma se determina el NMP de bacterias coliformes por cada 100 ml. de agua.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Los resultados obtenidos de la presente investigación en donde se evaluaron características físico-químicas y biológicas del agua por medio de sus respectivos análisis del arroyo Cerro Gordo se presentarán a continuación; estos mismos se comparan con la NOM-127-SSA-1994 en donde se especifican ciertas características del agua para uso y consumo humano, límites máximos permisibles de la calidad del agua, control y vigilancia de los sistemas de abastecimiento.

Cuadro 35. Resultados de los análisis químicos, de la muestra “Puente carretera a San Fermín” que se encuentra ubicado entre el ejido el Portento y el ejido San Fermín pertenecientes al Municipio de Hidalgo Durango, en donde se comparan dichos resultados con los límites máximos permisibles para uso y consumo humano.

Parámetros	Unidades	Resultado del análisis químico	Límite Máximo Permissible para uso y consumo humano
pH	pH	7,51	6.5-8.5
Escherichia Coli	NMP/100 mL	0	<1,1 NMP/100 ml.
Arsénico	ppm	0	0,05
Plomo	ppm	0,0378	0,025

De acuerdo con los resultados obtenidos de los cuatro análisis realizados de la muestra “Puente carretera a San Fermín” se puede decir que, no existe ningún problema en cuanto al pH, Coliformes fecales y arsénico (As) ya que se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-127-SSA-1994, pero tomando en cuenta la cantidad de plomo (Pb) y conforme a la mencionada NOM, se percibió una considerable diferencia, pudiendo traer problemas de salud a un mediano y largo plazo.

Cuadro 36. Resultados de los análisis químicos, de la muestra “Aguas abajo San Fermín” que se encuentra a un costado del Ejido San Fermín perteneciente al Municipio de Hidalgo Durango, en donde se comparan dichos resultados con los límites máximos permisibles para uso y consumo humano.

Parámetros	Unidades	Resultado del análisis químico	Límite Máximo Permissible para uso y consumo humano
pH	pH	7,87	6.5-8.5
Escherichia Coli	NMP/100 mL	0	<1,1 NMP/100 ml.
Arsénico	ppm	0,05	0,05
Plomo	ppm	0,048	0,025

Tomando en cuenta los resultados obtenidos de los cuatro análisis realizados de la muestra “Aguas abajo San Fermín” se puede decir que, no existen perjuicios en cuanto su característica de pH y Coliformes fecales, ya que se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-127-SSA-1994, en cuanto al arsénico (As) se encuentra en el LMP marcado por la mencionada norma, pero de acuerdo con la cantidad de plomo (Pb) y conforme a la mencionada NOM, se percibió una considerable diferencia ya que el aumento en el plomo (Pb) fue de casi dos veces del valor estándar, y con esto pudiendo traer severos problemas de salud a un mediano y largo plazo.

Cuadro 37. Resultados de los análisis químicos, de la muestra “Aguas Abajo Villa Hidalgo” como se menciona se obtuvo del mismo municipio y en donde se comparan dichos resultados con los límites máximos permisibles para uso y consumo humano.

Parámetros	Unidades	Resultado del análisis químico	Límite Máximo Permisible para uso y consumo humano
pH	pH	7,73	6.5-8.5
Escherichia Coli	NMP/100 mL	0	<1,1 NMP/100 ml.
Arsénico	ppm	0	0,05
Plomo	ppm	0,0272	0,025

En los cuatro análisis de esta tercera muestra se encontraron los siguientes resultados en donde las cantidades del pH, *Escherichia coli* y la cantidad de arsénico no resultan tóxicas para la salud humana, ya que sus valores conforme a los LMP de la NOM-127-SSA-1994 no son sobrepasados, pero no se puede decir lo mismo con la cantidad resultante del plomo (Pb) ya que excede ligeramente los límites.

Cuadro 38. Resultados de los análisis químicos, de la muestra “Presa Villa Hidalgo” la cual se extrajo a 30 cm de profundidad, en donde se comparan dichos resultados con los límites máximos permisibles para uso y consumo humano.

Parámetros	Unidades	Resultado del análisis químico	Límite Máximo Permisible para uso y consumo humano
pH	pH	7,49	6.5-8.5
Escherichia Coli	NMP/100 mL	0	<1,1 NMP/100 ml.
Arsénico	ppm	0	0,05
Plomo	ppm	0,036	0,025

De los cuatro parámetros analizados en esta muestra, se puede decir que los valores de pH, *Escherichia coli* y arsénico son tolerables para el consumo humano ya que no sobrepasan los LMP de la NOM-127-SSA-1994, pero la cantidad de plomo sí exceden estos LMP ya que su excedente es del 50% más de dicho LMP, pudiendo traer complicaciones en la salud de los habitantes de esa localidad.

Cuadro 39. Resultados de los análisis químicos, de la muestra “Puente los Metates” la cual se extrajo a orilla del arroyo y a una profundidad de 15 cm., en donde se comparan dichos resultados con los límites máximos permisibles para uso y consumo humano.

Parámetros	Unidades	Resultado del análisis químico	Límite Máximo Permissible para uso y consumo humano
pH	pH	7,79	6.5-8.5
Escherichia Coli	NMP/100 mL	0	<1,1 NMP/100 ml.
Arsénico	ppm	0	0,05
Plomo	ppm	0,0273	0,025

Haciendo un estudio de los resultados de los 4 parámetros a analizar de esta muestra y conforme a la NOM-127-SSA-1994, se puede decir que las cantidades resultantes del pH, *Escherichia coli* y arsénico (As) no son dañinos para el ser humano, en cambio con el plomo (Pb) su valor se sobre levemente, pudiendo traer complicaciones a un largo plazo para esa comunidad.

Cuadro 40. Resultados de los análisis químicos, de la muestra “Puente del Ejido El Portento” esta penúltima muestra se obtuvo de la misma manera que las pasadas, en donde se comparan dichos resultados con los límites máximos permisibles para uso y consumo humano.

Parámetros	Unidades	Resultado del análisis químico	Límite Máximo Permissible para uso y consumo humano
pH	pH	7,88	6.5-8.5
Escherichia Coli	NMP/100 mL	0	<1,1 NMP/100 ml.
Arsénico	ppm	0,3	0,05
Plomo	ppm	0,05	0,025

Conforme a LMP establecidos en NOM-127-SSA-1994 y tomando en cuenta los resultados obtenidos de los cuatro análisis realizados de esta muestra, se puede decir que el pH y la cantidad de *Escherichia coli* son aceptables, pero no obstante en la determinación de Plomo se observo que se sobrepaso por hasta dos veces de la NOM

mencionada y en cuanto al arsénico se puede mencionar que se excedió fuertemente y con esto traer graves problemas en la salud humana.

Cuadro 41. Resultados de los análisis químicos, de la muestra “Aguas abajo El Portento” con esta muestra se finalizó el monitoreo del arroyo, en donde se comparan dichos resultados con los límites máximos permisibles para uso y consumo humano.

Parámetros	Unidades	Resultado del análisis químico	Límite Máximo Permissible para uso y consumo humano
pH	pH	7,53	6.5-8.5
Escherichia Coli	NMP/100 mL	0	<1,1 NMP/100 ml.
Arsénico	ppm	0,3	0,05
Plomo	ppm	0,05	0,025

En esta última Muestra, y al igual que las demás también se analizaron cuatro parámetros y también se compararon con la NOM-127-SSA-1994, como se puede ver en el cuadro, en donde los valores de pH y *Escherichia coli* son inofensivos, pero en cambio el arsénico (As) resulto altamente tóxico ya que excedió demasiado y en cuanto al plomo (Pb) también se sobre paso de los LMP de la mencionada NOM en donde también se sobre paso hasta cinco veces traduciéndolo a graves problemas de salud para las personas de esa zona.

#### 4.1.1. Comparación de los Resultados con los LMP de agua para consumo humano.

Figura No 24. En la grafica siguiente se observa como la muestran las comparaciones entre los resultados obtenidos de las siete muestras contra el límite máximo permisible de pH para el agua de consumo humano establecido por la NOM-127-SSA-1994, en donde todos los resultados fueron aceptables.

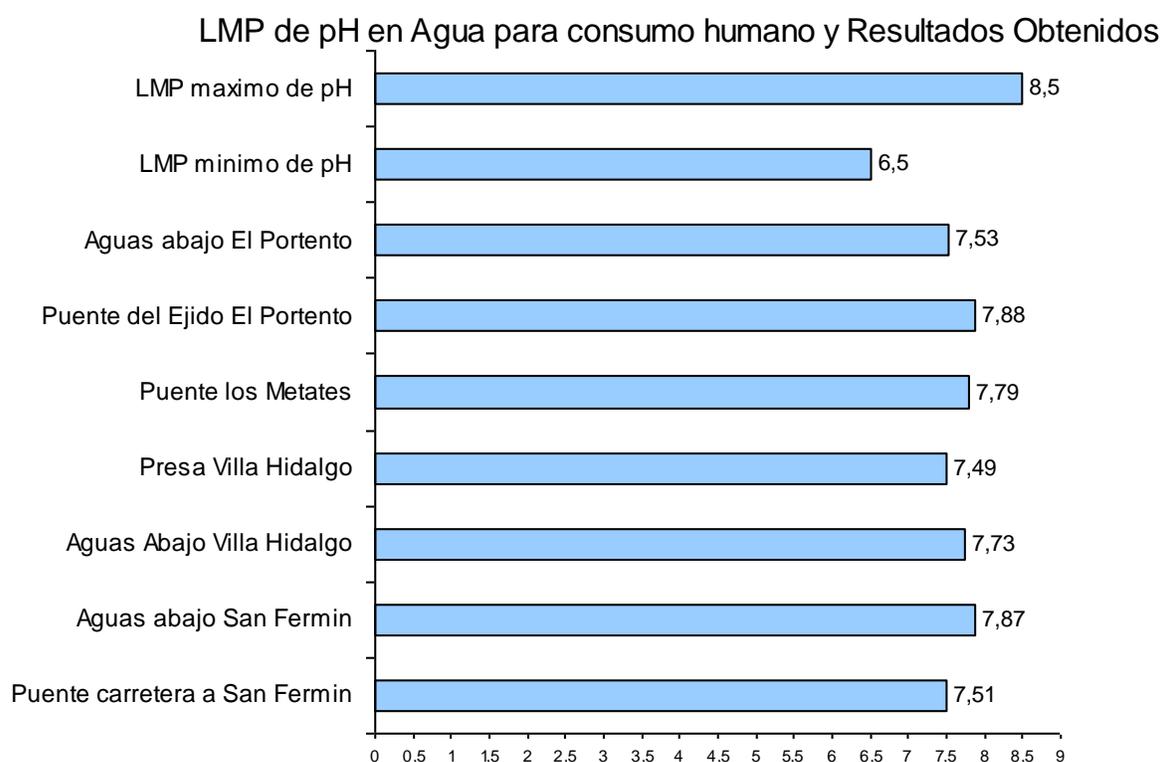


Figura No 25. En la grafica siguiente se observa como la muestran las comparaciones entre los resultados obtenidos de las siete muestras contra el límite máximo permisible de arsénico para el agua de consumo humano establecido por la Secretaría de Salud (1994) en la NOM-127-SSA-1994. En donde se puede ver que dos de las siete muestras se exceden en gran cantidad y sus efectos se podrán observar en la salud de esa población.

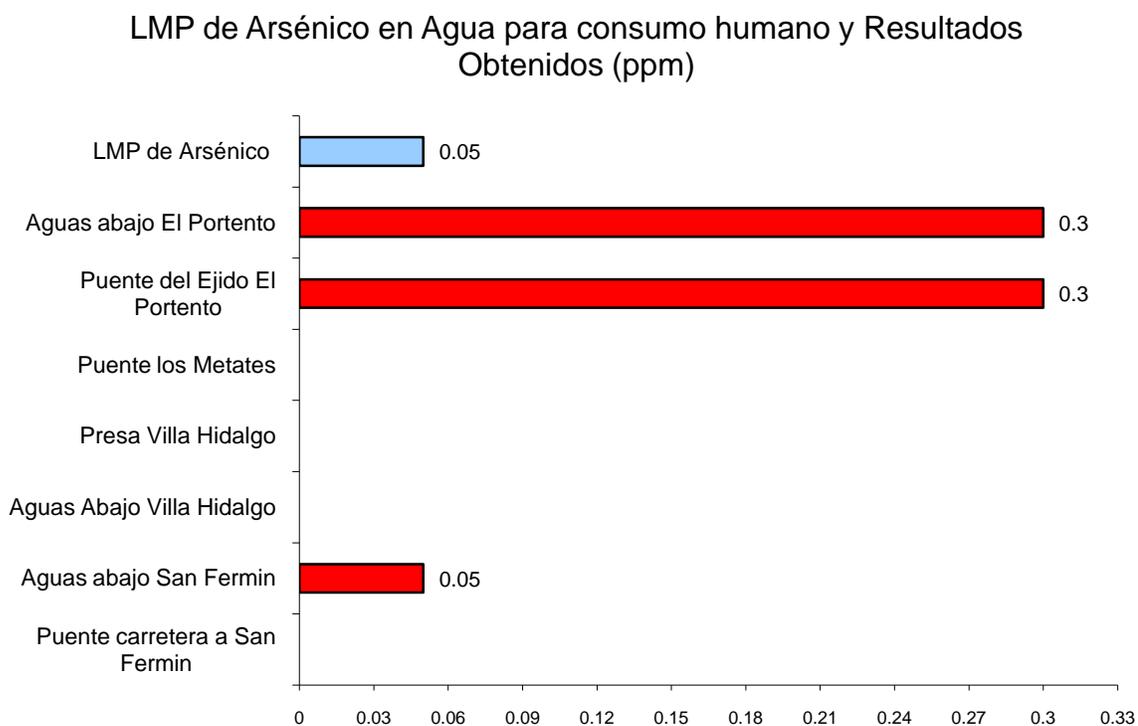


Figura No. 26. En la grafica siguiente se observa como la muestran las comparaciones entre los resultados obtenidos de las siete muestras contra el límite máximo permisible de plomo para el agua de consumo humano establecido por la NOM-127-SSA-1994. Se puede apreciar donde todas las muestras de agua tiene la presencia del metal pesado, el cual a un mediano o largo plazo se presenciara mediante toxicidad de la sociedad de esa zona.

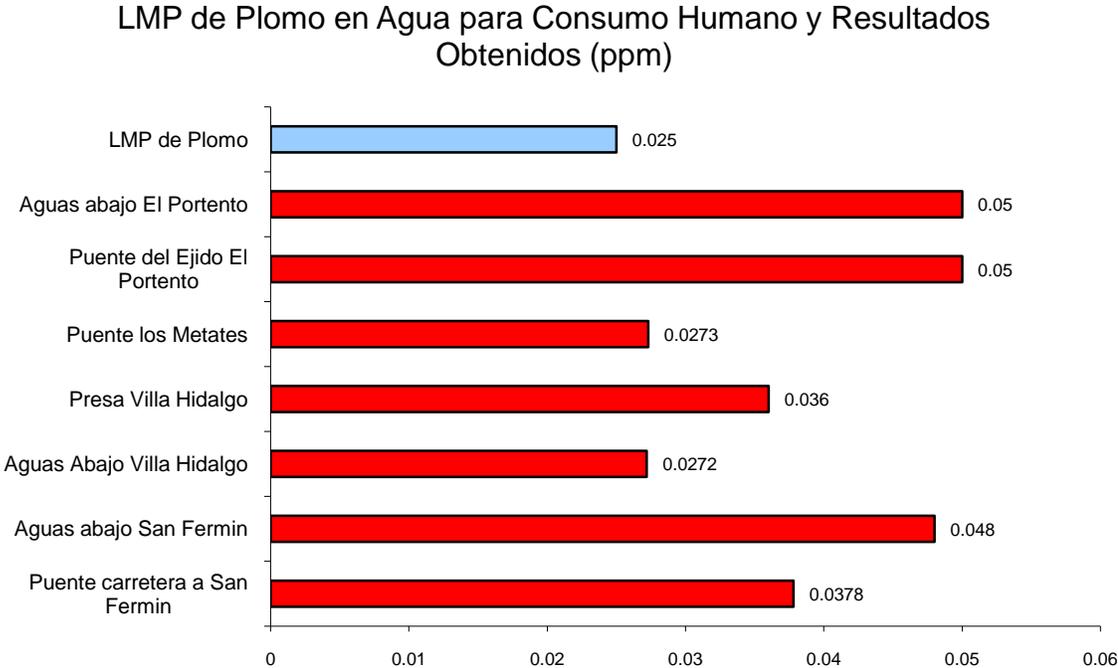
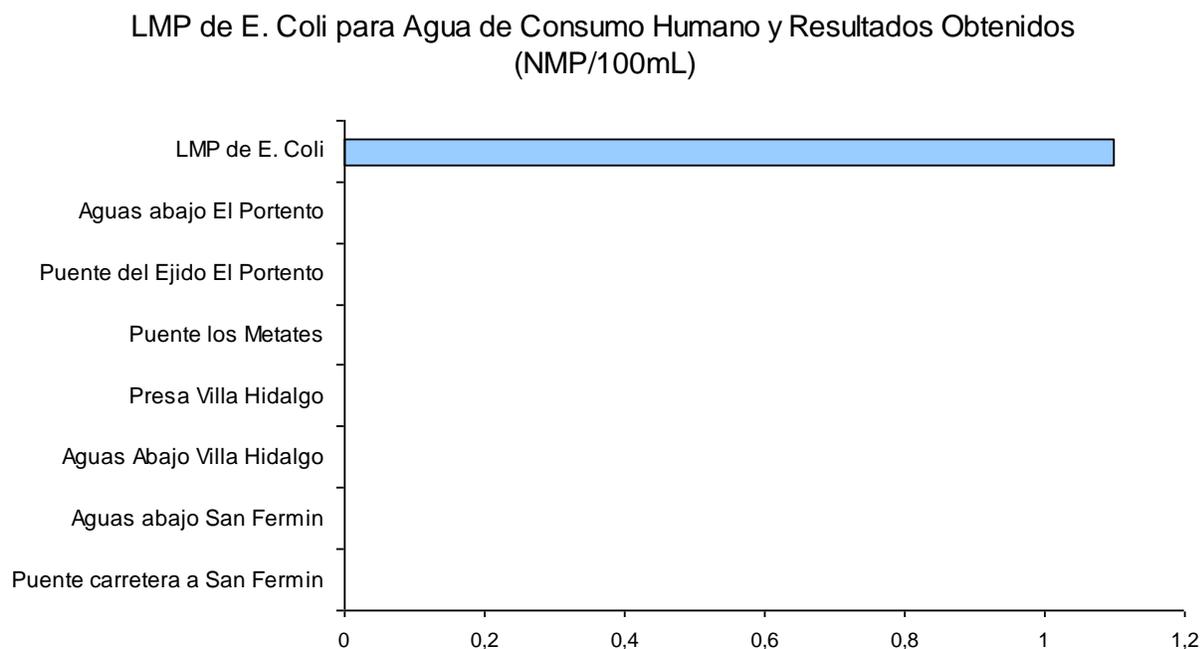


Figura No. 27. En la grafica siguiente se observa como la muestran las comparaciones entre los resultados obtenidos de las siete muestras contra el límite máximo permisible de *Escherichia coli* para el agua de consumo humano establecido por la NOM-127-SSA-1994. En donde no se encontró sospecha de esta bacteria, teniendo así una mejor calidad del líquido vital en cuanto a contaminación fecal.



## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones presentadas se refieren a los cuatro parámetros analizados, de siete diferentes puntos del Arroyo Cerro Gordo, del municipio Hidalgo, Durango, comparándolos con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-127-SSA-1994. En donde los resultados de este estudio representan los sitios con una mala calidad en cuanto a metales pesados, lo que debe ser tomado en cuenta en todo momento.

En general, la calidad del agua no es satisfactoria, encontrándose altos contenidos de especies tóxicas como arsénico y plomo, los cuales sobre pasan los LMP, tal es el caso de arsénico en las siguientes tres muestras, “Aguas abajo San Fermín”, “Aguas abajo Ejido El Portento” y “Puente del Ejido El Portento”, con esto se puede ver que este metal pesado se encuentra particularmente en las corrientes antes de llegar al Ejido el Portento, municipio de Hidalgo, Durango.

Por otra parte el plomo se hizo presente en todas las muestras y al igual que el arsénico sobre paso los LMP. Actualmente no se aplican tratamientos para mejorar la calidad del agua, lo que resulta altamente deseable. Se debe considerar que los tratamientos para la remoción de dureza conllevan la remoción de especies tóxicas como el arsénico, y plomo, que puede optimizarse al incluir algunas mejoras a los tratamientos tradicionales.

Pero en cuanto a los parámetros restantes no se encontró ningún problema, ya que de acuerdo a los estudios realizados no se detecto algún indicio de *Escherichia coli*, y en cuanto al pH no fue ni lo suficientemente ácido ni alcalino para estar en desacuerdo con la NOM-127-SSA1-1994.

Siendo así, de acuerdo con la hipótesis  $H_1$ , en donde se menciona que de acuerdo a la relación con la gran cantidad de ganado bovino en dicha zona, el recurso agua del Arroyo Cerro Gordo, se encuentra fuera de los rangos de la NOM-127-SSA1-1994, en cuanto a la cantidad de *Escherichia coli*, es rechazada ya que no se detectó la presencia de esta bacteria, y por lo tanto no representa peligro alguno de acuerdo con enfermedades hídricas.

Por otro lado y tomando en cuenta la hipótesis  $H_2$ , en la que se mencionó que los cuerpos de agua del área de estudio están fuera de los límites marcados por la normatividad oficial; para consumo humano en cuanto a la cantidad permisible de arsénico (As) y plomo (Pb), fue aceptada ya que realizando una media de todas las muestras en el caso del plomo fue de 0,039 ppm y el LMP para este metal pesado es de 0.025 quedando fuera de la normatividad. En cuanto al promedio de la cantidad de Arsénico en las siete muestras fue de 0.092 ppm, también se excedió como en el caso del plomo de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994, pero acentuándose más a las cercanías del ejido el Portento, del municipio del Hidalgo, Durango.

## Recomendaciones

- Se puede sugerir una nueva línea de estudio, del ¿por qué el plomo está presente en el arroyo Cerro Gordo?, tomando en cuenta que no existen minas, no existe tampoco un gran parque vehicular, y que la fundidora más cercana está en Bermejillo, Durango a 200 km. Aproximadamente.
- Realizar futuros estudios de plomo en sangre, para evaluar con mayor profundidad los efectos de este contaminante en los habitantes de dicha zona.
- Sacar el máximo provecho a la planta potabilizadora de agua por osmosis inversa para el consumo humano del líquido vital.
- Evitar que la población ahorre escombros y basura los cauces fluviales del arroyo.
- Monitorear las zonas bajo riesgo de aguas contaminadas
- Educar ambientalmente a todos los habitantes de la cuenca.

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. Agencia Catalana del Agua. (2003). Índices de calidad del agua. Revista Ambientum. Consultado el día 13 de mayo de 2009. <http://mediambient.gencat.net/aca/es/agencia/inici.jsp>.
2. Ainhoa Albaina Urcelay, (2007). Tecnologías Sostenibles sobre la gestión del agua: La desalación. Estudio del caso en la zona costera del Mediterráneo. Escuela Universitaria de Ingeniería. Pp. 1-361. Consultado el día 10 de diciembre de 2009. <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/4248/1/Ainhoa%20Albaina.pdf>
3. América Lilia A., (2004). Met Mex Peñoles y los niños de Torreón. Retel, revista de toxicología en línea. Pp 1-20. Consultado el día 12 de noviembre del 2009. <http://www.sertox.com.ar/retel/n04/002.pdf>
4. Ayres, R. Y Wescot, D. (1987). "La calidad del agua en la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación". Estudio FAO Riego y Drenaje, Nº 29. Roma. Pp. 8-101. Consultado el día 10 de junio de 2009. [http://74.125.155.132/search?q=cache:ZCvdwwt11\\_wJ:www.redbio.org/taller\\_ecuador/seminario\\_dom/Informe%2520Biotec%2520Cedaf.doc+La+calidad+del+agua+en+la+agricultura.+Organizaci%C3%B3n+de+las+Naciones+Unidas+para+la+Agricultura+y+la+Alimentaci%C3%B3n&cd=3&hl=es&ct=clnk&gl=mx](http://74.125.155.132/search?q=cache:ZCvdwwt11_wJ:www.redbio.org/taller_ecuador/seminario_dom/Informe%2520Biotec%2520Cedaf.doc+La+calidad+del+agua+en+la+agricultura.+Organizaci%C3%B3n+de+las+Naciones+Unidas+para+la+Agricultura+y+la+Alimentaci%C3%B3n&cd=3&hl=es&ct=clnk&gl=mx)
5. Badii, Z. M., Garza, C. R., Garza, A. V. y Landeros, F. J. (2005). Los indicadores biológicos en la evaluación de la contaminación por agroquímicos en ecosistemas acuáticos asociados. Cultura Científica y Tecnológica. Volumen 6.

- Pp. 4-20. consultado el día 15 de abril de 2009. <http://www2.uacj.mx/IIT/CULCYT/Enero-Febrero2005/5ArtPrin.pdf>
6. Burillo, B. L. (1997). La calidad de las aguas en los humedales: los indicadores biológicos. Boletín Sede para el estudio de los humedales mediterráneos SEHUMED. Volumen 1. pp. 1-2. Consultado el día 20 de 2009. [http://sehumed.uv.es/revista/SEHUMED\\_01\\_P0301.PDF](http://sehumed.uv.es/revista/SEHUMED_01_P0301.PDF)
  7. Centro Internacional de Agricultura Tropical, (2004). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Consultado el día 18 de julio de 2009. <http://www.ciat.cgiar.org/indicators/indicadores/>
  8. Comisión Nacional del Agua. (2008). Estadísticas del Agua en México 2008. 1a. edición 2008. Consultado el día 15 de diciembre de 2008. [http://www.e-mexico.gob.mx/wb2/eMex/eMex\\_Estadisticas\\_del\\_Agua\\_en\\_Mexico\\_Edicion\\_2008](http://www.e-mexico.gob.mx/wb2/eMex/eMex_Estadisticas_del_Agua_en_Mexico_Edicion_2008)
  9. Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E. y Parra, O., (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural. Volumen 75 pp. 275-285. Consultado el día 25 de enero de 2009. <http://www.scielo.cl/pdf/rchnat/v76n2/art12.pdf>
  10. Gasteiz V, (2004). Departamento de Ordenación Territorial y Medio Ambiente, consultado el día 10 de abril del 2009. [http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-3352/es/contenidos/informacion/indicadores\\_ambientales/es\\_10183/presentacion.html](http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-3352/es/contenidos/informacion/indicadores_ambientales/es_10183/presentacion.html)

11. Gobierno del estado de Durango y el Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED). (2008). DIVISIÓN POLÍTICA: Municipios. Consultado el 20 de julio 2009. en <http://www.durango.gob.mx/site/principal.html>.
12. INE. (1999). Sistema Nacional de Información Ambiental: Marco conceptual y Criterios de selección de indicadores. [www.ine.gob.mx/dggi/indicadores/espa%20nol/usuario.htm](http://www.ine.gob.mx/dggi/indicadores/espa%20nol/usuario.htm).
13. J. Alcalá, M. Sosa, A. Campos y N. Aguilar. (2008). Indicadores que inciden en la Percepción Ambiental del Desarrollo Urbano de la ciudad de Chihuahua. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, volumen 2. Pp. 223-228. Consultado el día 2 de mayo de 2009. [http://antiguo.itson.mx/drn/Revista/Vol\\_4\\_2008/numero2/RLRN\\_RN\\_25%204\(2\)2008.pdf](http://antiguo.itson.mx/drn/Revista/Vol_4_2008/numero2/RLRN_RN_25%204(2)2008.pdf)
14. Javier Alba-Tercedor, (1996). Macroinvertebrados Acuáticos y Calidad de las Aguas de los Ríos. vol. II: pp. 203-213. Consultado el día 12 de Noviembre de 2008. [http://www.famu.org/mayfly/pubs/pub\\_a/pubalbai1996p203.pdf](http://www.famu.org/mayfly/pubs/pub_a/pubalbai1996p203.pdf)
15. José D. Tarano, Lilia H. Lound, M.M. Domínguez (2006). Detección de Escherichia coli 0157:47 en Aguas Abiertas, heces y rumen de bovinos en las proximidades de cascos urbanos. Pp. 207-218, consultado el día 20 de agosto de 2008. <http://www.redalyc.uamex.mx/redalyc/pdf/145/145/14503207.pdf>
16. León, L. F. (2003). Índices de calidad del agua (ICA), formas de estimarlos y aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala. Pp. 1 - 7. Consultado el día 28 de mayo. <http://www.science.uwaterloo.ca/~lfleonvi/artics/art09.pdf>
17. Marynes M. de Morales, José L. de Zambiano, Olga C., Cleomary O., Ligia B. de Ledesma, (2005). Indicadores bacterianos de contaminación fecal y colifagos en

- el agua de Simanaica, Estado de Zulia, Venezuela. p.p. 292-301. Consultado el 20 de agosto de 2008, [http://www.serbi.luz.edu.ve/scielo.php?pid=s1315-20762005009000002&script=scl\\_arttext&tlng=es](http://www.serbi.luz.edu.ve/scielo.php?pid=s1315-20762005009000002&script=scl_arttext&tlng=es).
18. Miravet, M. E., Ramírez, O., Montalvo, J., Delgado, Y. y E. Perigó. (2009). Índice numérico cualitativo para medir la calidad de las aguas costeras cubanas de uso recreativo. Serie Oceanológica. No.5, pp. 45 – 56. Consultado el día 24 de mayo de 2009. <http://oceanologia.redciencia.cu/articulos/articulo53.pdf>
19. Munné, A., Solá, C. & N. Prat, (1998). QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. Tecnología del agua. Volumen175. Pp. 20-37. Consultado el día 4 de junio de 2009. [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Es\\_trategias\\_Ambientales/Planes/Planes\\_tematicos/plan\\_director\\_riberas/riberas06\\_6.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Es_trategias_Ambientales/Planes/Planes_tematicos/plan_director_riberas/riberas06_6.pdf)
20. Oscar A. y Escolero F. (2006). La experiencia Mexicana con grupos de usuarios de aguas subterráneas. Presentado en International Symposium on Ground wáter Sustainability realizado en Alicante España en 2006. pp. 153 – 160. Consultado el día 1 de Noviembre de 2008. <http://aguas.igme.es/igme/ISGWAS/Ponencias%20ISGWAS/11-Escolero.pdf>
21. Ph.D. Mohammad H. BadiiZabeh, Dr. Raúl Garza Cuevas, Dr. Victoriano Garza Almanza, Dr. Jerónimo Landeros Flores. (2005). Indicadores Biológicos en la Evaluación de la Contaminación por Agroquímicos en Ecosistemas Acuáticos y Asociados. Pp. 4 – 20. Año 2, No 6. Consultado el día 10 de enero de 2009. <http://www2.uacj.mx/IIT/CULCYT/Enero-Febrero2005/5ArtPrin.pdf>

22. Puga S., Sosa M., Lebgue T., Quintana C. Y Campos A. (2006). Contaminación por metales pesados en el suelo provocado por la industria minera. pp.149-155. *Ecolapl*. Vol (5, N° 1 y 2). Consultado el día 22 de septiembre de 2008. <http://www.lamolina.edu.pe/ecolapl/Articulo%2020%20Vol%205.pdf>.
23. Red Iberoamericana de potabilización y depuración del agua (1999). Indicadores de contaminación fecal en agua. pp 224-229. Consultado el día 21 de agosto de 2008. [http://www.terra.rediris.es./hidrored/ebooks/ripda/pdfs/capitulo\\_20.pdf](http://www.terra.rediris.es./hidrored/ebooks/ripda/pdfs/capitulo_20.pdf)
24. Rodríguez de R. Beatriz E., (2007). Una visión sostenibilista sobre la escasez del agua dulce en el mundo. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo* No.2, Pp. 85-152. Consultado el día 8 de diciembre de 2009. <http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/4234/1/Escribano.pdf>
25. Rodríguez Fuentes H., Reyes G., Martínez de la Cerda J. Y Lara Mireles J. L. (2006). Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol (29, N° 3): pp.239-245. Consultado el día 3 octubre de 2008. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/610/61029308.pdf>
26. Secretaría de Salubridad y Asistencia (2000). Norma Oficial Mexicana. Norma oficial mexicana nom-127-ssa1-1994, "salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". Consultado el día 6 de diciembre de 2009 en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>
27. Sistema Nacional de Estadística y de Información Geografía, (2004). Indicadores básicos del desempeño ambiental de México. Consultado el día 17 de Noviembre del 2009. <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/snía/Pages/snía.aspx>

28. Susana Villanueva F. / Alfonso V. Botello. (1992). Metales pesados en la zona costera del golfo de México y Caribe mexicano: una Revisión *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, año. vol. 8, pp. 47 -61. Consultado el día 5 de abril de 2009. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/370/37080104.pdf>
29. Toro, J., Schuster, J., Kurosawa, J., Araya, E. y Contreras, M. (2003). Diagnóstico de la calidad del agua en sistemas lóticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados bénticos como bioindicadores Río Maipo (Santiago de Chile). In Mem. XVI Congreso Chileno en Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Pp. 1-11. Consultado el día 13 febrero de 2009. [http://www.conama.cl/rm/568/articles-30399\\_NOR\\_01\\_04\\_13.pdf](http://www.conama.cl/rm/568/articles-30399_NOR_01_04_13.pdf)
30. Trejo C. R., García O. N. C., Flores H. A., Arreola A. J., Santamaría C. , Gutiérrez A. G. (2006). Evaluación de niveles de contaminación con plomo en suelos de Bermejillo, Dgo. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. Editado por UACH. Vol 5, Núm 2. Bermejillo Durango. Consultado el día 22 de septiembre de 2008. [http://74.125.155.132/search?q=cache:TK5qV-y0FbAJ:www.uaemex.mx/Red\\_Ambientales/docs/congresos/Ciudad%2520Obregon/CONTAMINACION\\_AMBIENTAL/CA071.doc+EVALUACION+DE+NIVELES+DE+CONTAMINACION+CON+PLOMO+EN+SUELOS+DE+BERMEJILLO,+DGO.&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=mx](http://74.125.155.132/search?q=cache:TK5qV-y0FbAJ:www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/congresos/Ciudad%2520Obregon/CONTAMINACION_AMBIENTAL/CA071.doc+EVALUACION+DE+NIVELES+DE+CONTAMINACION+CON+PLOMO+EN+SUELOS+DE+BERMEJILLO,+DGO.&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=mx)
31. Universidad Los Andes. Colombia, (2002). Se nos acaba el agua ¿Ahora que? Una controversia en la ciudad moderna. Consultado el día 6 noviembre de 2009. <http://www.tecnologiaysociedad.uniandes-edu.com>

32. Valdés P, F.; Cabrera M, (1999).V. Informe:” La contaminación por Metales pesados en Torreón. Pp. 1 – 50. Consultado el día 8 de Noviembre de 2008. <http://www.texascenter.org/publications/torreon.pdf>
33. Vázquez Silva Gabriela, Castro Mejía Germán, González Mora Ignacio, Pérez Rodríguez Roberto y Castro Barrera Thalía (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. Pp.41 – 48. Consultado el día 20 de enero de 2009. <http://www.izt.uam.mx/contactos/n60ne/Bio-agua.pdf>
34. Velázquez, V. E. y Vega, C. M. (2004). Los peces como indicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos. Biodiversitas. Volumen 57. Pp. 12-15. Consultado el día 2 de febrero de 2009. <http://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv57art3.pdf>