

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

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**VALORACIÓN Y CONSECUENCIAS DE LA CALIDAD DE LAS FUENTES DE AGUA;
PARA RIEGO, CONSUMO ANIMAL Y HUMANO DEL EJIDO EL PORTENTO
MUNICIPIO DE HIDALGO DURANGO**

POR:

ULISES SANTIAGO LÓPEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

Torreón, Coahuila, México

Diciembre de 2009

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**VALORACIÓN Y CONSECUENCIAS DE LA CALIDAD DE LAS FUENTES DE AGUA;
PARA RIEGO, CONSUMO ANIMAL Y HUMANO DEL EJIDO EL PORTENTO**

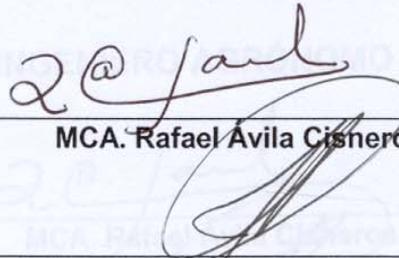
MUNICIPIO DE HIDALGO DURANGO

TESIS DEL C. **ULISES SANTIAGO LÓPEZ**, ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN
DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

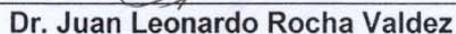
COMITÉ PARTICULAR:

ASESOR PRINCIPAL:



MCA. Rafael Avila Cisneros

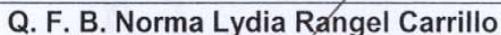
ASESOR:

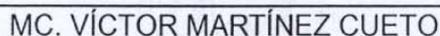

Dr. Juan Leonardo Rocha Valdez

ASESOR:


I. I. Q. Elba Margarita Aguilar Medrano

ASESOR:


Q. F. B. Norma Lydia Rangel Carrillo


MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas**

Torreón, Coahuila, México

Diciembre de 2009



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

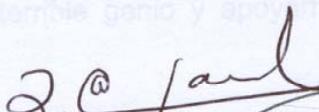
**VALORACIÓN Y CONSECUENCIAS DE LA CALIDAD DE LAS FUENTES DE AGUA;
PARA RIEGO, CONSUMO ANIMAL Y HUMANO DEL EJIDO EL PORTENTO
MUNICIPIO DE HIDALGO DURANGO**

TESIS DEL C. **ULISES SANTIAGO LÓPEZ** QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN
DEL H. JURADO EXAMINADOR Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:

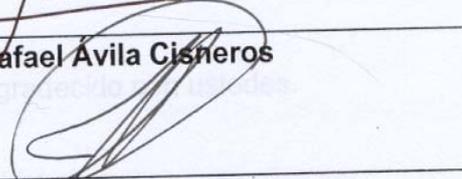
INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR:

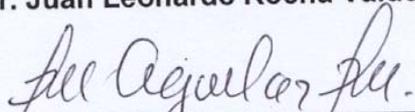
PRESIDENTE:


MCA. Rafael Ávila Cisneros

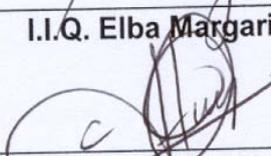
VOCAL:

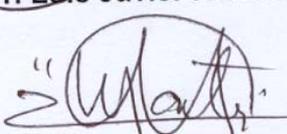

Dr. Juan Leonardo Rocha Valdez

VOCAL:


I.I.Q. Elba Margarita Aguilar Medrano

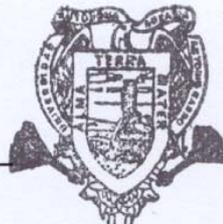
VOCAL SUPLENTE:


Dr. Luis Javier Hermosillo Salazar


MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Torreón, Coahuila, México


Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas
Diciembre de 2009

DEDICATORIAS

Este trabajo se lo dedico especialmente a mi padre el señor **Félix Santiago Ramos** y a mi querida madre la señora **Senorina López Cruz** por ser las personas que me dieron la vida y cuidaron de mí, luchando y poniendo todo su esfuerzo y dedicación, para ser de mí un gran hombre. Como olvidar aquellos momentos de alegría, de consejos y sermones que me dieron para enseñarme el camino del éxito.

También quiero dedicar este libro a mis apreciables hermanas **Elizabeth, Guadalupe y Norma** y a mi gran hermano, amigo y confidente **Arquímedes**, todos ellos por darme su apoyo incondicional y estar siempre presente en los momentos más difíciles de mi vida. Por el gran animo que me dieran cuándo emprendí mi viaje a la Universidad, por soportar mi terrible genio y apoyarme a pesar de los errores que cometí en mi infancia.

Quiero que sepan que estoy muy agradecido con ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a **Dios** y en especial a la **Santísima Virgen de Asunción** por cuidar de mí en todo momento y prestarme esta maravillosa vida que tengo.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna**, mi **ALMA TERRA MATER**, por ser la casa donde adquirí todos mis conocimientos que hoy con mucho gusto pongo a disposición de quien los necesite.

Al **MCA. Rafael Ávila Cisneros** y al **Dr. Juan Leonardo Rocha Valdez**, personas a quienes yo considero mis amigos, por darme las bases y apoyarme para empezar y concluir este trabajo de investigación, por su amistad y confianza que me dieron para realizar un mundo de actividades y compartir sus experiencias de las que seguro estoy me están sirviendo de mucho en mi desarrollo profesional.

A la **I. I. Q. Elba Margarita Aguilar Medrano**, por apoyarme en la elaboración de este trabajo y por compartirme sus sabios conocimientos que son de gran importancia para mi desarrollo profesional.

A la **Q. F. B. Norma Lydia Rangel Carrillo**, por aportar gran parte de su tiempo y sabiduría para que este trabajo pudiera concluirse.

A todos mis compañeros de generación por haber compartido durante cuatro años y medio momentos inolvidables.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS	I
AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICES DE CONTENIDO	III
ÍNDICE DE CUADROS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN	XII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Justificación	2
1.2. Objetivos	2
1.3. Hipótesis.....	3
1.4. Metas.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. El agua dulce y su importancia en el mundo	4
2.2. El agua dulce y su importancia en la república mexicana	10
2.2.1. Aspectos geográficos y demográficos	10
2.2.2. Las regiones Hidrológico-Administrativas del agua en México.....	12
2.2.3. Contraste regional entre el desarrollo y la disponibilidad de agua ...	13
2.2.4. Las cuencas y acuíferos	14
2.2.5. Disponibilidad natural media de agua.....	16
2.2.6. Precipitación pluvial	17
2.2.7. Sequías	19
2.2.8. Aguas superficiales	20
2.2.8.1. Ríos.....	20
2.2.8.2. Cuencas transfronterizas de México	23
2.2.8.3. Principales Lagos de México.....	24
2.2.9. Aguas subterráneas.....	25
2.2.9.1. Acuíferos	25
2.2.9.2. Sobreexplotación de acuíferos	26

2.2.9.3. Acuíferos con intrusión marina y/o bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres	27
2.2.10. Principales presas de México	29
2.3. El agua dulce y su importancia en el Norte de México.....	32
2.3.1. Grado de presión sobre el recurso.....	33
2.3.2. Disponibilidad de los recursos hídricos en el Norte de México	34
2.3.2.1. Nuevo León	34
2.3.2.2. Tamaulipas.....	35
2.3.2.3. Coahuila	36
2.3.2.4. Chihuahua	37
2.3.2.5. Durango.....	38
2.4. El agua dulce y su importancia en el Norte del estado de Durango	39
2.4.1. Municipio de Guanaceví, Dgo	39
2.4.2. Municipio de Villa Ocampo, Dgo.....	40
2.4.3. Municipio de San Bernardo, Dgo	42
2.4.4. Municipio de Indé, Dgo	43
2.4.5. Municipio de Mapimí, Dgo	44
2.4.6. Municipio de Tlahualilo, Dgo.....	45
2.4.7. Municipio de Villa Hidalgo, Dgo	46
2.5. El agua y sus características físico-químicas para el consumo humano...	48
2.5.1. Características físicas del agua.....	49
2.5.2. Características químicas del agua.....	49
2.6. El agua y sus características físico-químicas para el uso agrícola	51
2.6.1. El pH en el agua de riego.....	52
2.6.2. Condiciones de conductividad eléctrica en el agua para riego	53
2.6.3. Concentración de sales en el agua de riego.....	53
2.6.4. La sodicidad en el agua de riego	54
2.6.5. El cloruro en el agua de riego	55
2.6.6. El sulfato en el agua de riego.....	55
2.6.7. Concentración de metales pesados en el agua de riego (As).....	56

3. MATERIALES Y MÉTODOS	58
3.1. Descripción del área de estudio	58
3.1.1. Localización.....	58
3.1.2. Extensión territorial	58
3.1.3. Hidrografía	60
3.1.4. Clima	60
3.1.5. Características y uso del suelo.....	60
3.2. Recolección de las muestras de agua	61
3.2.1. Recolección de la muestra No. 1	61
3.2.2. Recolección de la muestra No. 2	61
3.2.3. Recolección de la muestra No. 3	61
3.2.4. Recolección de la muestra No. 4	62
3.2.5. Recolección de la muestra No. 5	62
3.3. Análisis de las muestras de agua	62
3.3.1. Análisis químico del agua	63
3.3.1.1. Determinación de pH.....	63
3.3.1.2. Determinación de conductividad eléctrica (C.E)	63
3.3.1.3. Determinación de la dureza total del agua por medio de los cationes: Calcio (Ca^{++}) y Magnesio (Mg^{++})	63
3.3.1.4. Determinación de Sodio (Na^{++}).....	64
3.3.1.5. Determinación de aniones: Carbonatos (CO_3^-), Bicarbonatos (HCO_3^-), Cloruros (Cl^-) y Sulfatos (SO_4^-).....	64
3.3.1.5.1. Método volumétrico para análisis de Carbonatos (CO_3^-) y Bicarbonatos (HCO_3^-)	64
3.3.1.5.2. Método volumétrico para la determinación de Cloruros (Cl^-)	65
3.3.1.5.3. Determinación de sulfatos (SO_4^-) por Turbidimetría utilizando el Espectrofotómetro	65
3.3.1.6. Determinación de sólidos totales por el método gravimétrico	66

3.3.1.7. Determinación de Arsénico (As)	67
3.3.1.7.1. Método de determinación	67
3.4. Obtención de caudales de agua	68
3.4.1. Obtención del caudal del arroyo en el ejido El Portento, en su etapa crítica por el método volumétrico	68
3.4.2. Obtención del caudal del canal de riego del ejido El Portento, por el método del flotador (Corcho)	68
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	70
4.1. Resultados de los análisis químicos de las muestras de agua.....	70
4.1.1. Comparación de los resultados con los LMP de agua para consumo humano	70
4.1.2. Comparación de los resultados con los LP para agua de riego.....	73
4.2. Resultados de caudales obtenidos en el canal de riego del ejido El Portento.....	77
4.2.1. Gasto obtenido al inicio del canal (Q_1).....	77
4.2.2. Gasto obtenido a 711 m a partir del punto inicial (Q_2)	78
4.2.3. Gasto obtenido a 1,362 m a partir del punto inicial (Q_3)	79
4.2.4. Gasto obtenido a 1, 474.4 m a partir del punto inicial (Q_4)	80
4.3. Resultados de caudales obtenidos en el arroyo del ejido El Portento	82
4.3.1. Gasto obtenido del arroyo en el punto inicial establecido (Q_1)	82
4.3.2. Gasto obtenido a 100 m del punto inicial del arroyo (Q_2)	83
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
6. LITERATURA CITADA.....	86

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1	Características de los ríos principales de la vertiente del pacífico, jerarquizados por escurrimiento natural medio superficial.....	21
Cuadro N° 2	Características de los ríos principales de la vertiente del golfo de México, jerarquizados por escurrimiento natural medio superficial.	22
Cuadro N° 3	Características de los ríos principales de la vertiente interior, jerarquizados por escurrimiento natural medio superficial.....	22
Cuadro N° 4	Características de los ríos con cuencas transfronterizas, por región Hidrológico-Administrativa.....	23
Cuadro N° 5	Área y volumen de almacenamiento de los lagos principales de México, según región Hidrológico-Administrativa y Entidad Federativa, 2006.....	25
Cuadro N° 6	Acuíferos del país, por región Hidrológico-Administrativa, 2006.....	26
Cuadro N° 7	Capacidad de almacenamiento y uso de las principales presas de México, 2007.....	30
Cuadro N° 8	Límites máximos permisibles de agua para el consumo humano en los parámetros físicos y organolépticos.....	49
Cuadro N° 9	Límites máximos permisibles de agua para el consumo humano en los parámetros inorgánicos.....	50
Cuadro N° 10	Límites máximos permisibles de agua para el consumo humano en cuestión de metales pesados y metaloides.....	50
Cuadro N° 11	Límites máximos permisibles de calidad de agua de riego.....	56
Cuadro N° 12	Rangos óptimo del pH en el agua de riego para cultivos básicos...	57
Cuadro N° 13	Efectos esperables en función del rango de pH.....	57
Cuadro N° 14	Clasificación del agua de riego según el contenido de cloruros.....	57

Cuadro N° 15	Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua proveniente de la llave que se encuentra ubicado en el área de asentamiento humano, del ejido El Portento, Municipio de Hidalgo Durango, comparado con los LMP de agua de consumo humano.....	70
Cuadro N° 16	Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua tomada de la cortina de la “Presa Nueva” del ejido El Portento, comparado con los LMP de agua de consumo humano.....	71
Cuadro N° 17	Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua proveniente del arrollo el “Ojo de Agua” en ejido El Portento, Municipio de Hidalgo Durango, comparado con los LMP de agua de consumo humano.....	72
Cuadro N° 18	Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua proveniente del subsuelo a una profundidad de 36 m a partir de la superficie del suelo, denominado como el “Papalote los Becerros” del ejido El Portento, Municipio de Hidalgo Durango, comparado con los LMP de agua de consumo humano.....	72
Cuadro N° 19	Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua proveniente del subsuelo a una profundidad de 34.5 m y conocida como del “Pozo rumbo a San Fermín” del ejido El Portento, Municipio de Hidalgo Durango, comparado con los LMP de agua de consumo humano.....	73
Cuadro N° 20	Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua proveniente de la llave que se encuentra ubicado en el área de asentamiento humano, del ejido El Portento, Municipio de Hidalgo Durango, comparados con los límites de permisibilidad para agua de riego.....	74
Cuadro N° 21	Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua tomada de la cortina de la “Presa Nueva” del ejido El Portento, comparados con los límites de permisibilidad para agua de riego..	74

Cuadro N° 22	Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua proveniente del arroyo el “Ojo de Agua” en ejido El Portento Municipio de Hidalgo Durango, comparados con los límites de permisibilidad para agua de riego.....	75
Cuadro N° 23	Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua proveniente del subsuelo a una profundidad de 36 m a partir de la superficie del suelo, denominado como el “Papalote los Becerros” del ejido El Portento, Municipio de Hidalgo Durango, comparados con los límites de permisibilidad para agua de riego.....	75
Cuadro N° 24	Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua proveniente del subsuelo a una profundidad de 34.5 m y conocida como del “Pozo rumbo a San Fermín” del ejido El Portento, Municipio de Hidalgo Durango, comparados con los límites de permisibilidad para agua de riego.....	76
Cuadro N° 25	Repeticiones del tiempo “t” de llenado del aforador, para la obtención del gasto 1 (Q_1) en el canal del ejido.....	77
Cuadro N° 26	Repeticiones del tiempo “t” de llenado del aforador, para la obtención del gasto 2 (Q_2) en el canal del ejido.....	78
Cuadro N° 27	Repeticiones del tiempo “t” de llenado del aforador, para la obtención del gasto 3 (Q_3) en el canal del ejido.....	79
Cuadro N° 28	Repeticiones del tiempo “t” de llenado del aforador, para la obtención del gasto 4 (Q_4) en el canal del ejido.....	80
Cuadro N° 29	Repeticiones del tiempo “t” de llenado del aforador, para la obtención del gasto 1 (Q_1) en el arroyo del ejido.....	82
Cuadro N° 30	Repeticiones del tiempo “t” de llenado del aforador para la obtención de gasto 2 (Q_2) en el arroyo del ejido.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1	Distribución global del agua a nivel mundial.....	4
Figura N° 2	Centros de población con más de 500,000 habitantes en México...	11
Figura N° 3	Regiones Hidrológico-Administrativas de los recursos hídricos en México.....	12
Figura N° 4	Contraste regional entre el desarrollo y la disponibilidad de agua...	13
Figura N° 5	Porcentaje del PIB nacional, por región Hidrológico-Administrativa.	14
Figura N° 6	Regiones hidrológicas.....	15
Figura N° 7	Delimitación de acuíferos por región Hidrológica Administrativa.....	16
Figura N° 8	Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico en México.....	17
Figura N° 9	Precipitación pluvial normal mensual histórica en México, en el periodo de 1941 a 2000.....	18
Figura N° 10	Distribución de la precipitación pluvial total en el 2006 registrada en México.....	19
Figura N° 11	Principales ríos de México.....	20
Figura N° 12	Acuíferos sobreexplotados, por región Hidrológico-Administrativa, 2006.....	27
Figura N° 13	Acuíferos con intrusión marina y/o bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres, por región Hidrológico-Administrativa, 2006.....	28
Figura N° 14	Principales presas en México por su capacidad de almacenamiento, 2006.....	29
Figura N° 15	Estados que corresponden a la región Norte de México.....	32

Figura N° 16	Grado de presión sobre el recurso por regiones Hidrológico-Administrativa.....	33
Figura N° 17	Uso y origen de los recursos hídricos en el estado de Nuevo León.	34
Figura N° 18	Uso y origen de los recursos hídricos en el estado de Tamaulipas..	35
Figura N° 19	Uso y origen de los recursos hídricos en el estado de Coahuila.....	36
Figura N° 20	Uso y origen de los recursos hídricos en el estado de Chihuahua...	37
Figura N° 21	Uso y origen de los recursos hídricos en el estado de Durango.....	38
Figura N° 22	División Política del estado de Durango.....	39
Figura N° 23	Localización del ejido El Portento, Municipio de Villa Hidalgo Durango.....	59
Figura N° 24	Área de asentamiento humano del ejido El Portento.....	59
Figura N° 25	Curva de calibración de SO ₄	66
Figura N° 26	Grafica de interpretación de resultados obtenidos en los análisis químicos de las muestras de agua.....	76

RESUMEN

La presente investigación se llevo a efecto en el ejido El Portento, perteneciente al municipio de Hidalgo, que se encuentra ubicado en la parte norte del estado de Durango. El cual tuvo como objetivo conocer algunas características físico-químicas de cinco fuentes diferentes de agua mediante una muestra representativa, dos de ellas se obtuvieron del subsuelo y las tres restantes fueron tomadas de fuentes superficiales. Además de evaluar pérdidas de agua del canal de riego del ejido en toda su trayectoria por medio de la obtención de cuatro caudales en puntos diferentes y el volumen de agua que conduce el arroyo del ejido en su etapa crítica por medio de la obtención de dos caudales en puntos diferentes. Los parámetros evaluados en las muestras de agua en relación a sus características físicas fueron pH, conductividad eléctrica y sólidos totales, la determinación de las características químicas del agua se llevo a cabo mediante la obtención de sales y metales pesados; las sales se determinaron por medio los cationes de calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}) y sodio (Na^+) y los aniones de carbonatos (CO_3^-), bicarbonatos (HCO_3^-), cloruros (Cl^-) y sulfatos (SO_4^-), en relación a los metales pesados únicamente se determino la concentración de arsénico (As), todo esto mediante un análisis químico efectuado en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN UL) y por medio de los siguientes métodos analíticos, determinación del pH por medio del potenciómetro modelo 420A de la marca Orión, determinación de la conductividad eléctrica (C.E) a través del conductímetro marca Thermo Orión modelo 420A, determinación de la dureza total del agua por medio del calcio y magnesio ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$) a través del espectrómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo 2380, determinación de sodio (Na^+) en el espectrómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer modelo 2380, los aniones carbonatos (CO_3^-), bicarbonatos (HCO_3^-) y cloruros (Cl^-) se obtuvieron mediante un método volumétrico y el sulfatos (SO_4^-) se obtuvo por turbidimetría utilizando el espectrofotómetro marca Merck Modelo SQ118 a una longitud de onda de 405 nm, los sólidos totales se determinaron por el método gravimétrico y la determinación de arsénico (As) se realizó mediante un test de reactor indicador. La obtención de caudales de agua se realizó mediante el método volumétrico y el flotador

(corcho). La media de los resultados obtenidos en el análisis de las 5 muestras de agua fueron; pH= 7.818 en unidades de pH, Conductividad Eléctrica (C.E)= 2,606.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Dureza total ($\text{Ca}^{++}+\text{Mg}^{++}$)= 112.2 ppm, Sodio (Na^+)= 452.4 ppm, Carbonatos (CO_3^-)= 21.6 ppm, Bicarbonatos (HCO_3^-)= 137.8 ppm, Cloruros (Cl^-)= 95 ppm, Sulfatos (SO_4^-)= 837.72 ppm, Sólidos Totales= 2,142 ppm y Arsénico (As)= 0.06 ppm. En el canal de riego se calcularon 4 volúmenes de agua y se obtuvo lo siguiente; $Q_1=16.50$ l/s, $Q_2=13.32$ l/s, $Q_3=8.24$ l/s y $Q_4=7.61$ l/s y dos gastos en el arroyo los cuales fueron; $Q_1=0.88$ l/s, $Q_2=0.19$ l/s. De acuerdo a los objetivos planteados y los resultados obtenidos se llega a la conclusión que las aguas superficiales del ejido se encuentran más contaminadas que las del subsuelo y el canal de riego presenta una pérdida del 53.89% de agua en toda su trayectoria lo que corresponde a 1474.4 m, respecto al arroyo conduce un caudal de 0.54 l/s en su etapa crítica.

Palabras clave: disponibilidad, calidad, análisis químico, parámetros, caudales.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población mundial a niveles nunca antes vistos y la necesidad de satisfacer las demandas de consumo que éstas tienen, plantean la real problemática de sustentar países, tomando en cuenta la capacidad de la región de proveer los recursos indispensables para su funcionamiento. En el caso de los recursos hídricos, el continente asiático concentra el 60% de la población mundial y solamente cuenta con el 35% de las reservas de agua potable.

El agua cubre tres cuartas partes de la superficie de la Tierra, pese al área por la cual se extiende, la hidrósfera terrestre es comparativamente escasa. Del total de agua en el mundo, el 97.47% es agua salada y se encuentra principalmente en los océanos y mares, del cual solamente el 2,53% es dulce aproximadamente (se considera agua dulce por contener menos del 0.5% de salinidad basada en sales disueltas en ppm). Del 2.53% de agua dulce un 0.84% se encuentra en estado líquido componiendo los ríos, lagos, arroyos y aguas superficiales. Del total de agua dulce en estado líquido existente en la tierra el 0.59% se utiliza para riego y únicamente un 0.25% está destinado al consumo humano eso sin tomar en cuenta la calidad que presenta. El 1.69% restante del total de agua dulce, se encuentra formando casquetes o banquisa en las latitudes próximas a los polos. Con 14'107,637 Km² la Antártida es sin duda junto al Polo Norte la reserva más importante de agua dulce en el mundo. La sola idea de pensar en su deshielo supondría la elevación del nivel del mar en 4 metros. Fuera de las regiones polares el agua dulce se encuentra principalmente subterránea, en humedales y acuíferos. Hacia 1970 se consideraba, que la mitad del agua dulce del planeta Tierra estaba contaminada.

1.1 Justificación

Debido a la falta del extensionismo agrícola y pecuario en las regiones más marginadas del país, y al desinterés que muestran nuestros representantes políticos, el desarrollo del país se ha visto truncado en el ámbito agropecuario, esto debido a que se desconocen factores ambientales y características propias de una región que sirvan como base para establecer un sistema de explotación agrícola, ganadero o forestal sustentable y capaz de proporcionar recursos para ofrecer un mejor nivel de vida a sus habitantes, todo esto sin poner en riesgo la biodiversidad que se encuentre dentro y fuera de determinada área. Por otro lado es importante entender que la calidad del agua con destino al uso agrícola, ganadero y consumo humano tiene implicaciones importantes sobre los aspectos sociales y económicos de una región, ya que estos actúan indirectamente sobre el desarrollo de un país.

1.2 Objetivos

1. Conocer algunas características físico-químicas de cinco fuentes de agua del ejido El Portento Municipio de Hidalgo Durango.
2. Calcular la longitud y pendiente del canal de riego con que cuenta el ejido y evaluar las distintas pérdidas de agua que se presentan a lo largo de su trayecto.
3. Evaluar el volumen de agua que presenta el arroyo del ejido en su etapa crítica; antes de la temporada de lluvias.

1.3 Hipótesis

H₁: Los cuerpos de agua del área de estudio están fuera de los límites marcados por la normatividad oficial; tanto para riego como para consumo animal y para consumo humano.

H₂: El canal de riego del ejido presenta pérdidas de agua hasta de un 50 % durante toda su trayectoria

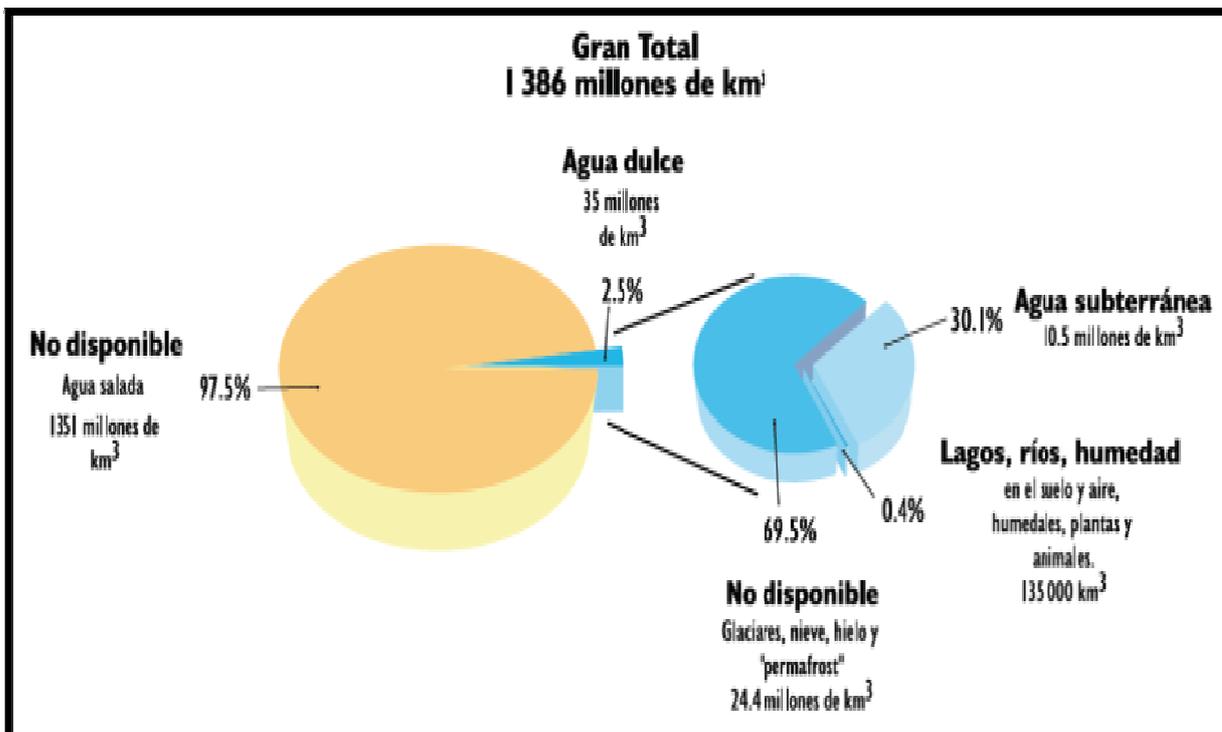
1.4 Metas

Obtener una base de datos sobre las características y recursos naturales con que cuenta el ejido, con el fin de que ayude a tomar decisiones y permita plantear las bases para el establecimiento de un proyecto agropecuario.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El agua dulce y su importancia en el mundo

El 70% de la superficie de la tierra está cubierta de agua, mientras que el 97.5% de esta agua es salada, sólo el 2.5% es dulce, de lo cual 0.76% está disponible para ser aprovechado. Además, este bajo porcentaje no es uniforme, sino que existen grandes diferencias en cuanto a disponibilidad en diferentes partes del mundo, ya que varía dependiendo a las características propias de cada región (Luege, 2007). (ver figura 1).



FUENTE: Conagua. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de Clarke, Robín y King, Jannet, The Water Atlas, Estados Unidos de América, 2004.

Figura 1. Distribución global del agua a nivel mundial.

El agua dulce puede ser un elemento que produce altas cantidades de energía, gracias a la intervención del hombre. El 60% de los ríos del mundo, han quedado dividido por una estructura hidráulica que permite la creación de electricidad.

Si tomamos las cifras de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), explica que alrededor de 2,000 millones de personas no disponen de electricidad en absoluto, que 1,000 millones utilizan medios de producción eléctrica antieconómicos, velas o queroseno. Además si pensamos que el uso de la energía hidráulica puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros contaminantes atmosféricos, nos planteamos la pregunta de por qué no se usa en mayor medida este elemento vital para la generación de energía. Del total de producción de electricidad del 2001, la energía hidroeléctrica constituyó el 19% (2.740 Tera voltios por hora) del total mundial. Los países desarrollados explotan hoy en día alrededor del 70% de su potencial eléctrico, mientras que en los países en desarrollo esta cifra apenas llega al 15%. Para dar un ejemplo concreto, en China actualmente existen 60,000 centrales hidroeléctricas pequeñas y en el 2015 habrán aumentado en un 60 % (Sepúlveda y Boye, 2003).

En 1992, La Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente realizado en Dublín, definió cuatro principios para entender y mejorar el uso del agua en el mundo:

- 1) El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.
- 2) El aprovechamiento y la gestión del agua deben inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles.
- 3) La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y protección del agua.

- 4) El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos, en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico.

Cabe mencionar que el papel que juegue la Organización de las Naciones Unidas será indispensable para el correcto y sistemático aprovechamiento de los recursos hídricos del planeta. La necesidad de mejorar las economías más pobres para que mejoren sus sistemas de agua potable es una labor fundamental. El apoyo de los países desarrollados será clave para el traspaso de tecnología, el desarrollo de nuevas herramientas y la mejora de la producción, además de ser factores que permitirán un mejor aprovechamiento del agua. Una cultura de responsabilidad social debe comenzar a gestionarse a nivel mundial para enfrentar el problema de la escasez de agua potable, esto debe comenzar de un programa de educación que inste a la conservación y al cuidado del medio ambiente y debe ser apoyado por todos los organismos pertinentes que aseguren una campaña donde involucre hasta el último ser humano, ya que la aldea global que habitamos debe ser cuidada por el bien de nuestra descendencia y de la supervivencia de la sociedad, tal cual la conocemos (Pittock, 2006).

Los ecosistemas de agua dulce, además de servir de hábitat fundamental para una amplia variedad de especies, proporcionan diversos beneficios a la sociedad. Las marismas, los lagos y los ríos son ecosistemas relacionados entre sí que abastecen de agua a una región, previenen la intrusión de agua salada, reducen los efectos de la erosión al mantener sedimentos, retienen sustancias nutritivas y eliminan sustancias tóxicas, estabilizan el microclima, sirven de sumidero de carbono para el mundo, sirven como medio de transporte y constituyen excelentes lugares turísticos. Además de ser

extremadamente productivos y gran parte de lo que producen puede ser utilizado por el hombre. Los recursos forestales, los recursos naturales y silvestres, la pesca, los recursos forrajeros, agrícolas y energéticos no son más que algunas de las categorías de los productos derivados de los ecosistemas de agua dulce. El valor de estos productos suele medirse en millones de dólares al año en cada lugar y representa una importante fuente de ingresos, tanto para las comunidades rurales como para las urbanas. Estos ecosistemas constituyen un hábitat fundamental para un conjunto muy rico de especies amenazadas.

A pesar de su importancia crítica, suele considerarse que muchos ecosistemas de agua dulce carecen de utilidad. La ignorancia generalizada sobre su importancia ha contribuido a este concepto y ha promovido la destrucción y degradación de esos ecosistemas. En todo el mundo se ha descuidado gravemente la conservación de la diversidad biológica de las aguas dulces y hay ecosistemas enteros amenazados de extinción.

La causa primordial de la pérdida de recursos es la alteración del hábitat, impulsada por el rápido crecimiento de la población y tendencias de desarrollo, planificado y no planificado. La erosión y la deforestación de los bosques de cuencas de captación, han alcanzado una enorme intensidad en las laderas orientales de los andes, desde Colombia hasta el norte de Argentina. El desarrollo rural (en su mayor parte para el cultivo de arroz) está afectando a las marismas en toda América latina y el Caribe. La contaminación procedente de la minería y la industria, al igual que del desarrollo humano, suscita cada vez mayor preocupación.

Lamentablemente, las cuestiones de sostenibilidad de las aguas dulces, no parecen constituir una consideración primordial en la planificación y ejecución de proyectos de aprovechamiento de aguas, como tampoco en la asignación de permisos de utilización. En realidad, en la mayoría de los países de América latina y el Caribe los derechos de agua no están subordinados a los efectos que puedan tener en el medio ambiente ni pueden ser modificados para reducir un peligro para el medio ambiente. Las tendencias actuales indican que este recurso se conservará siempre y cuando se formule y se ponga en práctica efectivamente una política sostenible sobre ordenación de los recursos hídricos (Bucher *et al*, 1997).

ISGWAS (2006) indica que el agua es un recurso esencial para la vida. Por lo que es necesario tomar en cuenta que las aguas subterráneas (recursos hídricos que se encuentra por debajo de la superficie de la tierra) representan más del 95% de las reservas mundiales de agua dulce. Dadas sus ingentes reservas y su amplia distribución geográfica, su buena calidad en general y su resistencia ante las fluctuaciones estacionales y la contaminación, las aguas subterráneas representan una garantía, de que la población mundial actual y futura ya que contará con un abastecimiento de agua asequible y segura. Las aguas subterráneas son predominantemente un recurso renovable, que cuando se gestiona adecuadamente garantiza un abastecimiento a largo plazo contribuyendo a atender las crecientes demandas y a mitigar los impactos del cambio climático previsto. En términos generales, el desarrollo de las aguas subterráneas requiere una inversión de capital menor que el desarrollo de las aguas superficiales y se puede poner en práctica en un plazo de tiempo más corto.

Las aguas subterráneas han proporcionado grandes beneficios a muchas sociedades en las últimas décadas a través de su uso directo como fuente de agua potable, mediante su utilización en la agricultura de riego y el desarrollo industrial, e indirectamente, a través del mantenimiento del ecosistema y de los flujos de agua.

El aprovechamiento del agua subterránea supone con frecuencia un medio rápido y asequible de combatir la pobreza y garantizar la seguridad alimentaria. Además entendiendo la naturaleza complementaria de las aguas superficiales y subterráneas, podrán aplicarse estrategias de gestión hídrica integral que permitan promover el uso eficaz del agua y prolongar su abastecimiento.

En algunos casos, la inadecuada explotación de los recursos subterráneos y los impactos no deseados de ciertas prácticas de uso del suelo han producido efectos adversos tales como la degradación de la calidad del agua, el daño a los ecosistemas acuáticos, el descenso excesivo de los niveles de agua subterránea y en consecuencia, la subsidencia del terreno y la desaparición de humedales.

Puesto que es menos caro y más eficaz proteger las aguas subterráneas frente a la degradación que restaurarlas, la mejora en su gestión ayudará a disminuir estos problemas y a ahorrar dinero.

2.2. El agua dulce y su importancia en la república Mexicana

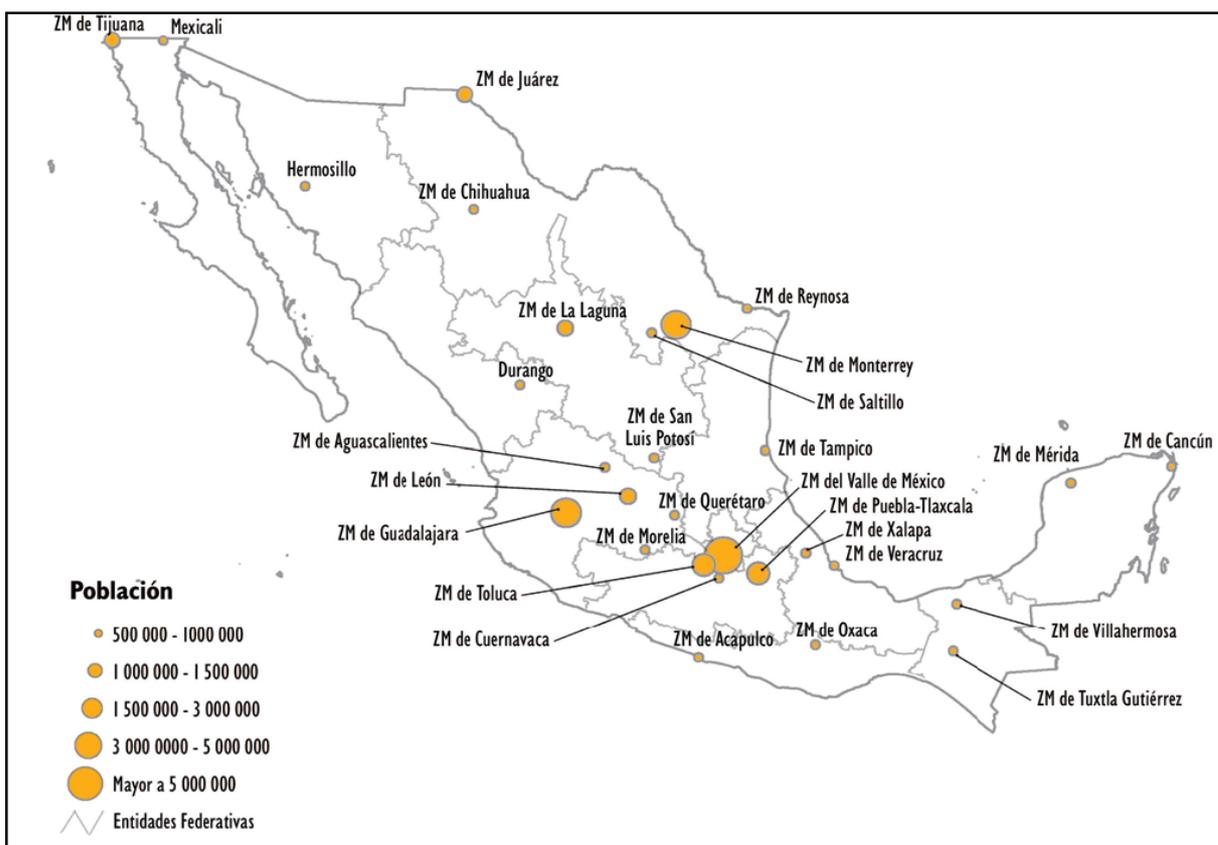
2.2.1. Aspectos geográficos y demográficos

El INEGI (2008) indicó que México abarca una extensión territorial de 1'964,375 km², de los cuales 1'959,248 km² son superficie continental y 5,127 km² son superficie insular. A este territorio debe añadirse la zona económica exclusiva de mar territorial, que abarca 3'149,920 km², por lo que la superficie total del país es de 5'114,295 km².

El país se encuentra ubicado entre los meridianos 118°42' y 86°42' de longitud oeste y entre las latitudes 14°32' y 32°43' norte, precisamente en las mismas latitudes que los desiertos de Sahara y Árabe. Por las características del relieve del país, se puede encontrar una gran variedad de climas. Dos terceras partes del territorio nacional se consideran áridas o semiáridas, mientras que el sureste es húmedo, con precipitaciones de más de 2,000 mm por año en algunas zonas. Cabe aclarar que el 63% de la población del país habita en límites superiores a los 1,000 metros sobre el nivel del mar.

Según el Centro Mexicano de Investigaciones Hidrológicas (SMIH, 2006) basado en el último censo realizado en el 2005, indicó que el país se encuentra habitado por 103.48 millones de personas que se encuentran establecidas en 187,938 localidades. 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. Cabe aclarar que las localidades se definen en función de los límites del municipio o delegación en el cual se encuentra.

Existen 29 centros de población en el país con más de 500,000 habitantes, de los cuales, 26 se consideran zonas metropolitanas (ZM) por abarcar más de un municipio (ver figura 2). Es necesario destacar que en las zonas metropolitanas de Valle de México, Guadalajara, Monterrey, Puebla-Tlaxcala y Toluca, se concentra el 29.8% de la población del país, es decir 30.83 millones de habitantes.



FUENTE: Elaboración propia con base en: Sedesol, INEGI y Conapo. *Delimitación de las zonas metropolitanas de México*. México, 2004. INEGI. II Censo de Población y Vivienda 2005. México, 2006.

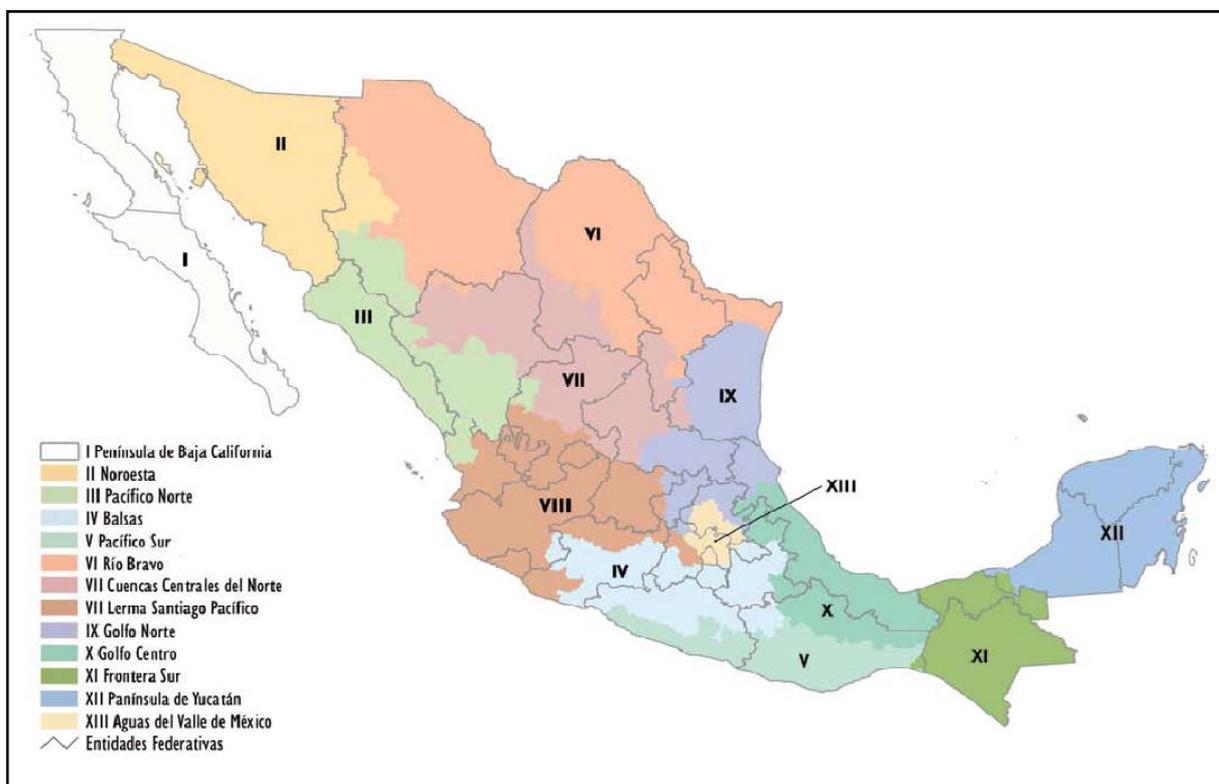
NOTA: Incluye zonas metropolitanas y municipios solos.

Figura 2. Centros de población con más de 500,000 habitantes en México.

Los recursos hídricos de México están constituidos por ríos, arroyos, lagos y lagunas, así como por almacenamientos subterráneos (acuífero) y grandes masas de agua oceánica.

2.2.2. Las regiones Hidrológico-Administrativas del agua en México

Dado que las cuencas hidrológicas son las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos en México, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2004) señala que el país está dividido en 13 Regiones Hidrológico-Administrativas con el fin de organizar la administración y preservación de las aguas nacionales. Las Regiones Hidrológico-Administrativas están formadas por agrupaciones de cuencas, respetando los límites municipales para facilitar la integración de la información socioeconómica (ver figura 3). CONAGUA es un órgano administrativo, normativo, técnico y consultivo encargado de la gestión del agua en México, desempeña sus funciones a través de 13 Organismos de Cuenca (antes conocidos como Gerencias Regionales), cuyo ámbito de competencia son las Regiones Hidrológico-Administrativas.



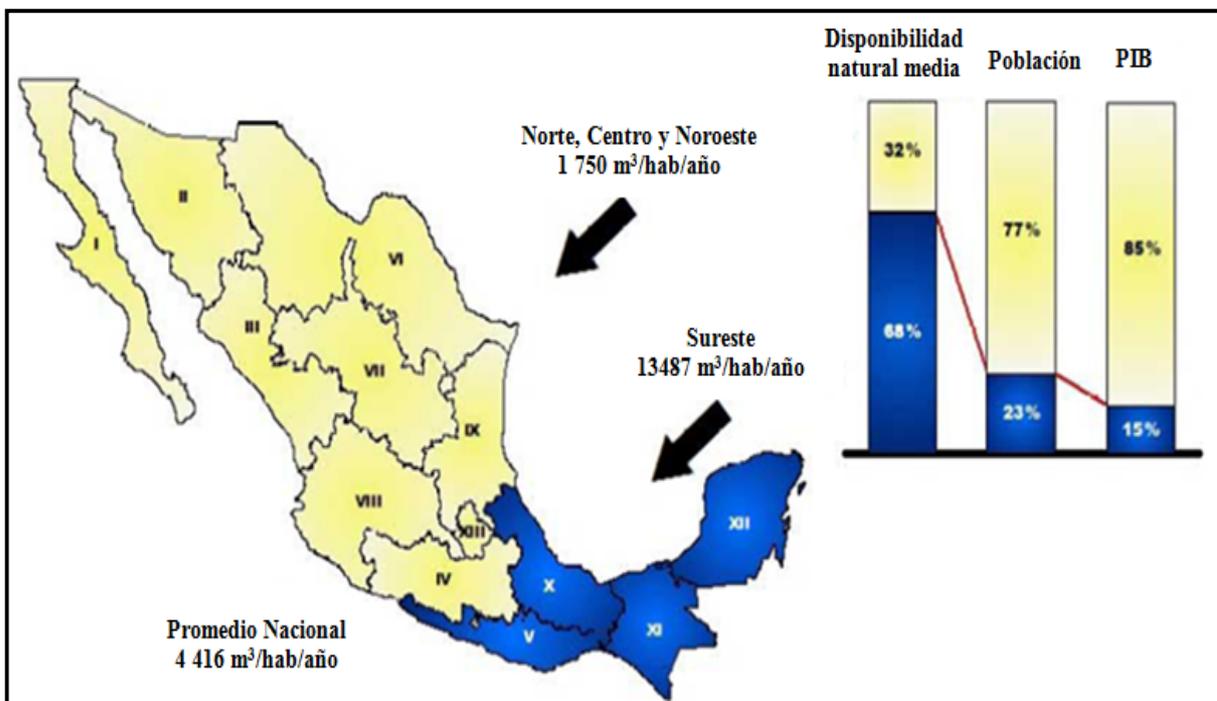
FUENTE: Conagua. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir del Reglamento Interior de la Conagua.

Figura 3. Regiones Hidrológico-Administrativas de los recursos hídricos en México.

Las Regiones Hidrológico-Administrativas fueron definidas conforme a la delimitación de las cuencas del país, y están constituidas por municipios completos. Los municipios que conforman cada una de esas Regiones Hidrológico-Administrativas se indican en el Reglamento Interior de la Comisión Nacional del Agua.

2.2.3. Contraste regional entre el desarrollo y la disponibilidad de agua

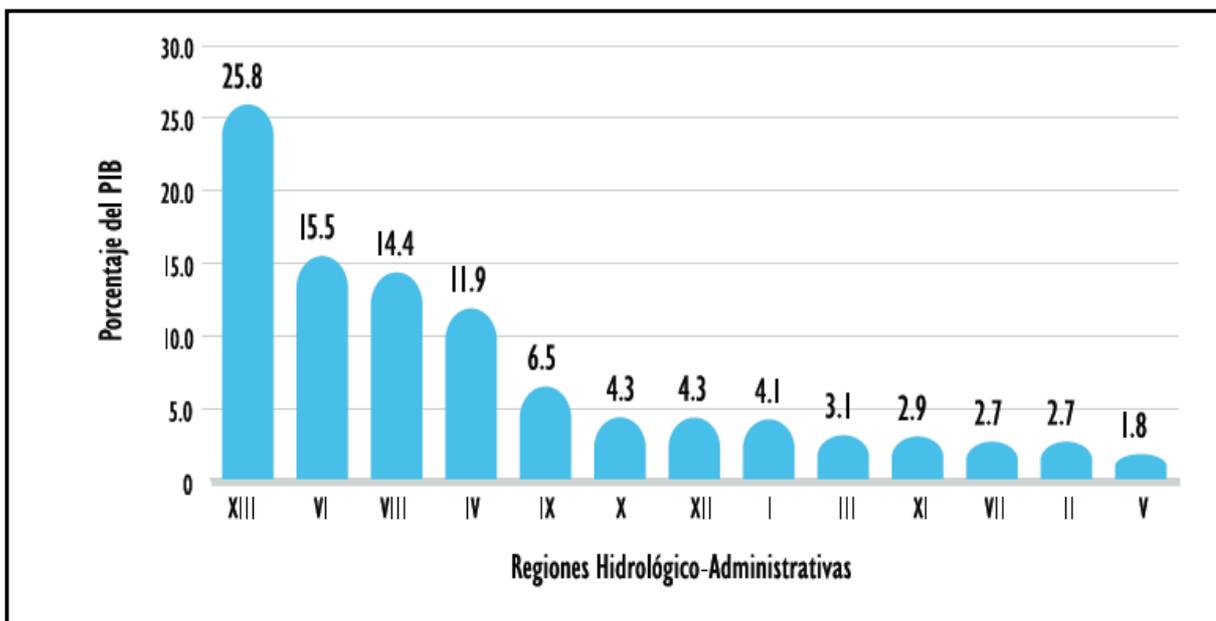
Martínez (2008) nos dice que el país se puede dividir en dos grandes zonas: la zona norte, centro y noroeste; donde se concentra el 77% de la población, se genera el 87% del PIB, pero únicamente ocurre el 32% del agua renovable (ver figura 4). Y la zona del sureste; donde habita el 23% de la población, se genera el 15% del PIB y ocurre el 69% del agua renovable.



FUENTE: Conagua. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de Conagua. Subdirección General Técnica. INEGI. Censos Económicos 2004. México, 2005. Conapo. Índices de marginación 2005. México, 2006.

Figura 4. Contraste regional entre el desarrollo y la disponibilidad de agua.

Cabe destacar que en las Regiones Hidrológico-Administrativas XIII Aguas del Valle de México, VI Río Bravo, VIII Lerma-Santiago-Pacífico y IV Balsas se concentra la mayoría de la actividad económica del país, con dos terceras partes del Producto Interno Bruto (PIB) nacional (ver figura 5).



FUENTE: Conagua. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de: INEGI. II Censo de Población y Vivienda, 2005. INEGI. Censos Económicos 2004. México 2005

Figura 5. Porcentaje del PIB nacional, por región Hidrológico-Administrativa.

2.2.4. Las cuencas y acuíferos del país

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 1944) aclaró que la unidad básica para el manejo del agua, es la cuenca hidrológica, en la cual se considera la forma en la que escurre el agua en la superficie (cuencas hidrográficas) y en el subsuelo (acuíferos). En base a esto se integraron las 13 Regiones Hidrológico-Administrativas en las que se divide el país para fines de administración del agua (ver figura 6).

Por otra parte, las 718 cuencas hidrográficas en las que está dividido el país se encuentran agrupadas en 37 regiones hidrológicas, que a su vez están agrupadas en

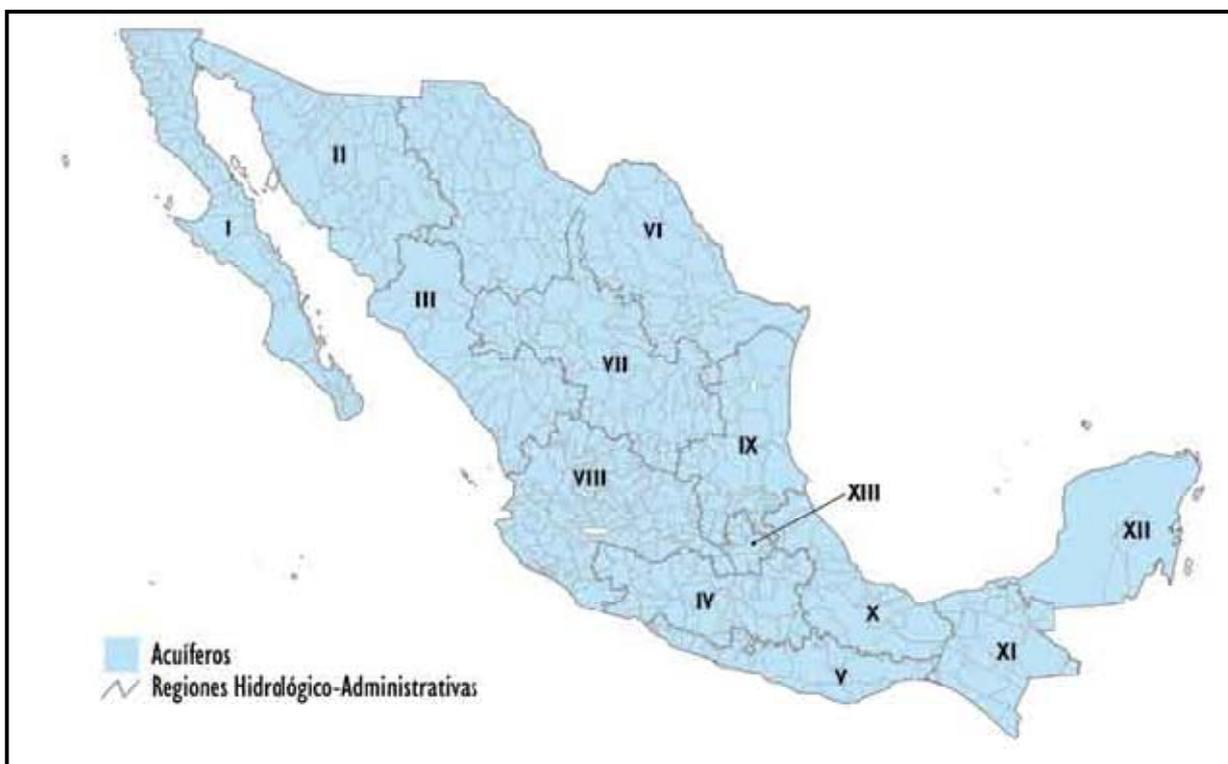
las 13 Regiones Hidrológico-Administrativas que se mencionaron anteriormente. La definición de las regiones hidrológicas se llevó a cabo en los años sesenta por la entonces Dirección de Hidrología de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.



FUENTE: Conagua. Subdirección General Técnica.

Figura 6. Regiones hidrológicas.

Por otro lado, 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 (ver figura 7).

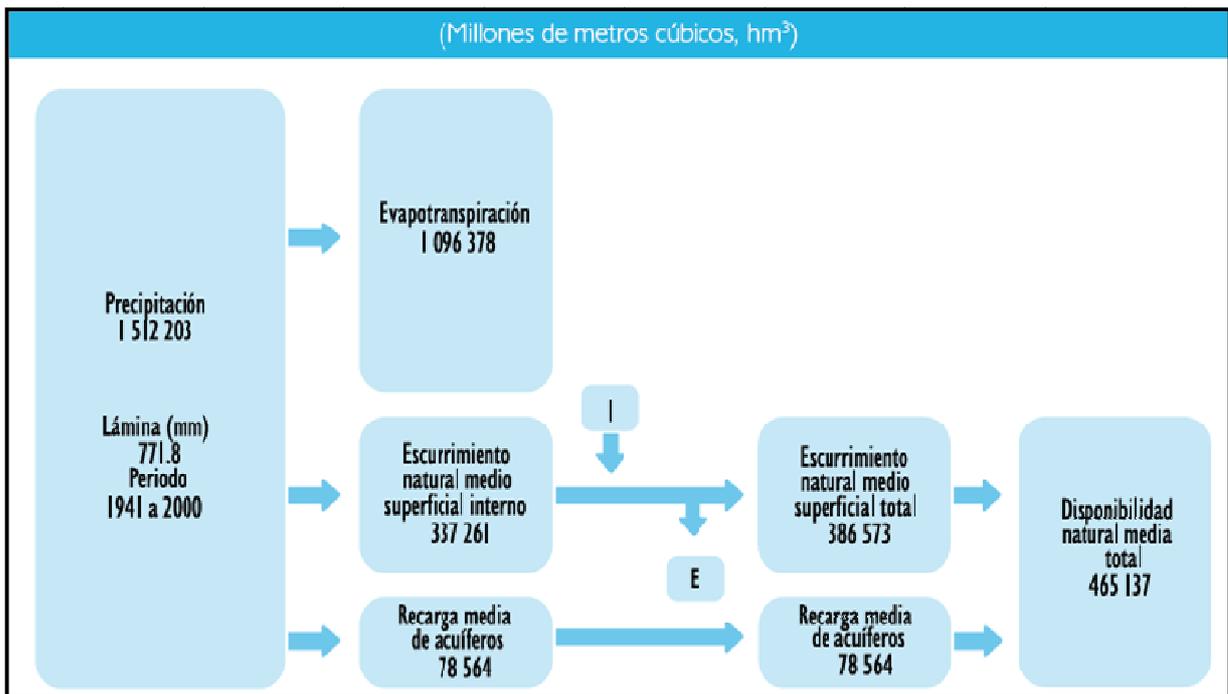


FUENTE: Conagua. Subdirección General Técnica.

Figura 7. Delimitación de acuíferos por región Hidrológica Administrativa.

2.2.5. Disponibilidad natural media del agua

La CNA y la SEMARNAT (2008), indican que anualmente México recibe del orden de 1.51 billones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, el 72.5% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 25.6% escurre por los ríos o arroyos y el 1.9% restante se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos, de tal forma que anualmente el país cuenta con 465 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable, a lo que se denomina disponibilidad natural.



NOTA: I = Importaciones de otros países, 49 744. NOTA: = Exportaciones a otros países, 432
FUENTE: Conagua. Subdirección General Técnica.

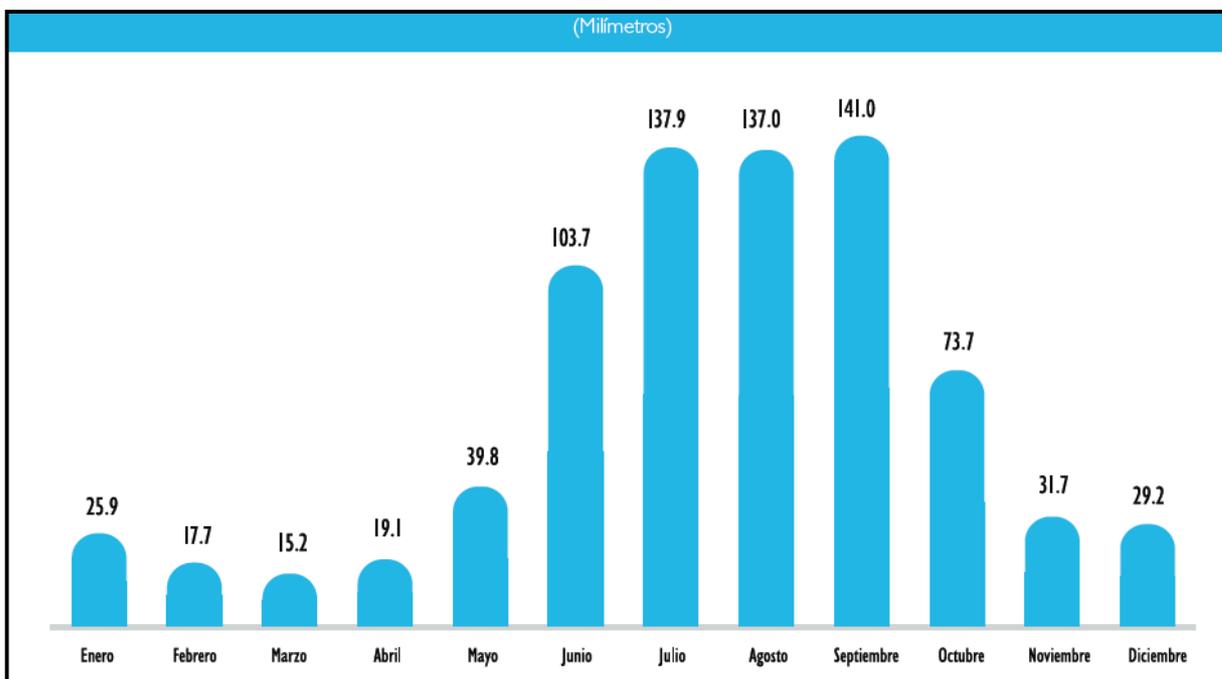
Figura 8. Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico en México.

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.

2.2.6. Precipitación pluvial

Luege (2007), indica que la precipitación normal del país en el periodo de 1941 a 2000 fue de 771.8 mm (1 mm de lluvia = 1 litro por m²). Los valores “normales” corresponden a medidas periódicas, calculadas para un periodo uniforme y relativamente largo, el cual debe tener como mínimo una década de información 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 (ver figura 9).

Cabe destacar que la distribución mensual de la precipitación en particular, acentúa los problemas relacionados con la disponibilidad del recurso, ya que el 67.3% de la precipitación normal mensual cae entre los meses de junio y septiembre.



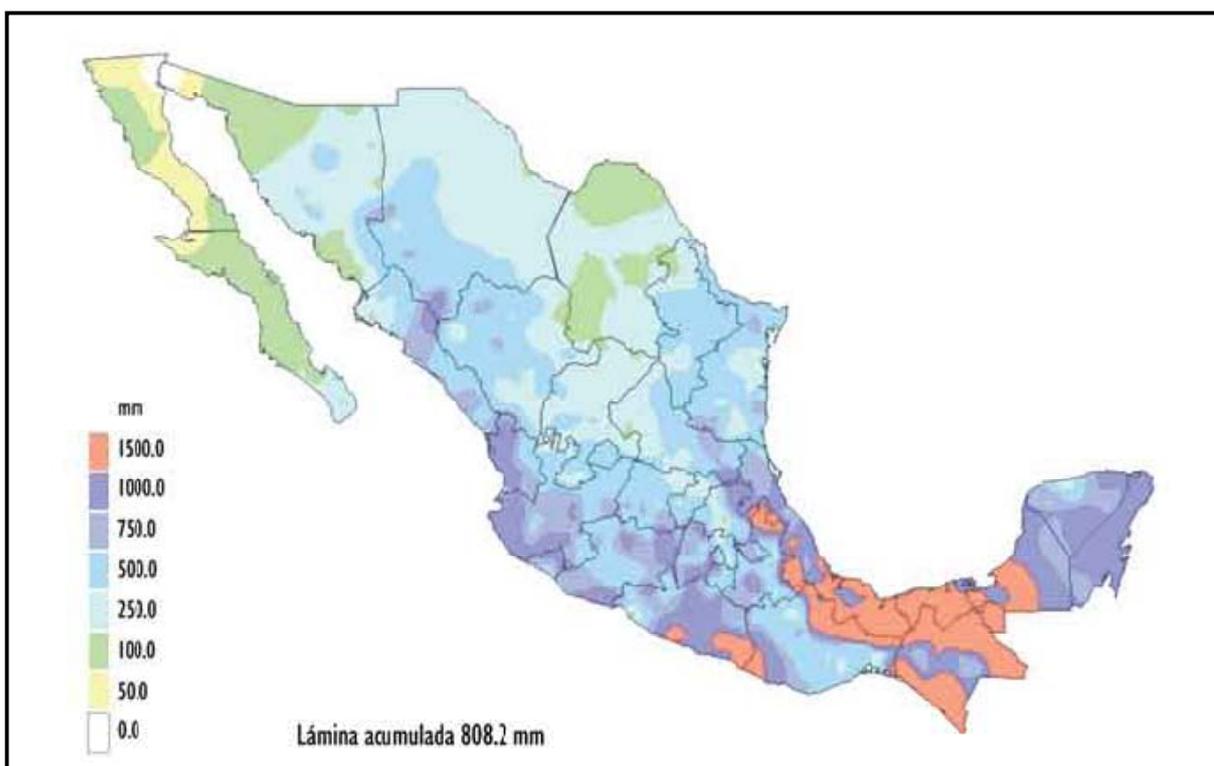
FUENTE: Conagua. Subdirección General Técnica, Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional.

Figura 9. Precipitación pluvial normal mensual histórica en México, en el periodo de 1941 a 2000.

En México llueve cada vez menos ya que la mayoría de las precipitaciones en los meses del 2006 se encuentran por debajo en comparación con las de 1941. En la clasificación mundial, México está considerado como un país de disponibilidad baja de agua, los países más ricos en disponibilidad de agua son Canadá y Brasil.

Los ciclones tropicales son fenómenos naturales que deben de recibir prioridad, ya que la mayor parte del transporte de humedad del mar hacia las zonas semiáridas del país ocurre por su causa. En diversas regiones del país, las lluvias ciclónicas representan la mayor parte de la precipitación pluvial anual.

Por otra parte, la precipitación acumulada ocurrida en la República Mexicana del 1° de enero al 31 de diciembre del año 2006 alcanzó una lámina de 808.2 mm, lo cual fue 4.7% superior a la media histórica normal del período de 1941 a 2000 (771.8 mm). En la figura 10 se presenta la variación a nivel nacional en la precipitación para el 2006.



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

Figura 10. Distribución de la precipitación pluvial total en el 2006 registrada en México.

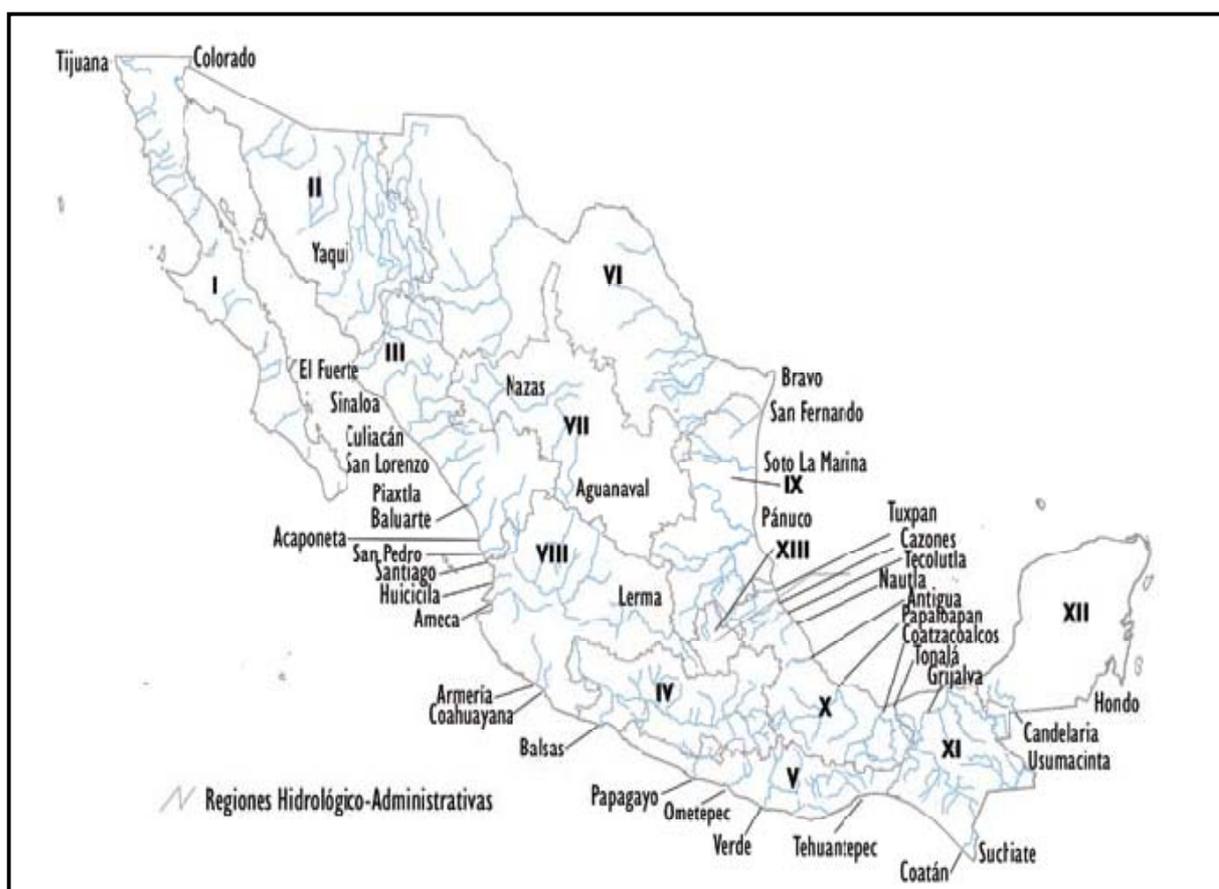
2.2.7. Sequías

En México las sequías se presentan con mayor intensidad cada diez años, con duración variable, siendo las regiones más afectadas las áridas y semiáridas, en las cuales la precipitación promedio es de 400 milímetros al año. Las sequías se localizan en los estados de Chihuahua, Coahuila de Zaragoza, Durango, Nuevo León, Baja California, Sonora, Sinaloa, Zacatecas, San Luís Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Tlaxcala.

2.2.8. Aguas superficiales

2.2.8.1. Ríos

Alba y Eugenia (2007¹) indican que México está formado por tres vertientes principales de ríos las cuales son: la vertiente del pacifico, el golfo y la interior (ver cuadro 1, 2 y 3), además de que en los ríos del país escurren aproximadamente 400 km³ de agua anualmente, incluyendo las importaciones de otros países pero excluyendo las exportaciones. Aproximadamente el 87% de este escurrimiento se presenta en los 39 ríos principales que se indican en la figura 11, cuyas cuencas ocupan el 58% de la extensión territorial continental.



FUENTE: Conagua. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de la Subdirección General Técnica.

Figura 11. Principales ríos de México.

El 65% 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.

Cuadro 1. Características de los ríos principales de la vertiente del pacífico, jerarquizados por escurrimiento natural medio superficial.

No.	RÍO	REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA		ESCURRIMIENTO NATURAL MEDIO SUPERFICIAL ^a (hm ³ /año)	ÁREA DE LA CUENCA (km ²)	LONGITUD DEL RÍO (km)
1	Balsas	IV	Balsas	16 587	117 406	770
2	Santiago	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	7 849	76 416	562
3	Verde	V	Pacífico Sur	5 937	18 812	342
4	Ometepec	V	Pacífico Sur	5 779	6 922	115
5	El Fuerte	III	Pacífico Norte	5 176	33 590	540
6	Papagayo	V	Pacífico Sur	4 237	7 410	140
7	Yaquí	II	Noroeste	3 163	72 540	410
8	San Pedro	III	Pacífico Norte	3 528 ^p	26 480	255
9	Culiacán	III	Pacífico Norte	3 161	15 731	875
10	Suchiate ^p	XI	Frontera Sur	2 737	203	75
11	Ameca	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	2 165 ^p	12 214	205
12	Armería	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	2 015 ^p	9 795	240
13	San Lorenzo	III	Pacífico Norte	1 680	8 919	315
14	Coahuayana	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	1 867 ^p	7 114	203
15	Colorado ^p	I	Península de Baja California	1 863	3 840	160
16	Sinaloa	III	Pacífico Norte	2 126	12 260	400
17	Baluarte	III	Pacífico Norte	1 838	5 094	142
18	Acaponeta	III	Pacífico Norte	1 438	5 092	233
19	Piaxtla	III	Pacífico Norte	1 415	11 473	220
20	Tehuantepec	V	Pacífico Sur	950	10 090	240
21	Coatán ^p	XI	Frontera Sur	751	605	75
22	Huicicila	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	410	1 194	50
Total				76 671	463 200	6 567

FUENTE: Conagua. Subdirección General Técnica.

NOTA: ^a Los datos del escurrimiento natural medio superficial representan el valor medio anual de su registro histórico. ^b El escurrimiento natural medio superficial de este río incluye importaciones de otros países. El área de la cuenca y la longitud se refieren sólo a la parte mexicana. ^p Cifra preliminar.

Cuadro 2. Características de los ríos principales de la vertiente del golfo de México, jerarquizados por escurrimiento natural medio superficial.

No	RÍO	REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA		ESCURRIMIENTO NATURAL MEDIO SUPERFICIAL ^a (hm ³ /año)	ÁREA DE LA CUENCA (km ²)	LONGITUD DEL RÍO (km)
23	Grijalva-Usumacinta ^b	XI	Frontera Sur	115 536	83 553	1 521
24	Papaloapan	X	Golfo Centro	44 662	46 517	354
25	Coatzacoalcos	X	Golfo Centro	32 752	17 369	325
26	Pánuco	IX	Golfo Norte	20 330	84 956	510
27	Tonalá	X	Golfo Centro	11 389	5 679	82
28	Bravo ^b	VI	Río Bravo	5 588	226 280	2 018 ^c
29	Tecolutla	X	Golfo Centro	6 885	7 903	375
30	Nautla	X	Golfo Centro	2 284	2 785	124
31	Antigua	X	Golfo Centro	2 193	2 827	139
32	Tuxpán	X	Golfo Centro	2 580	5 899	150
33	Soto La Marina	IX	Golfo Norte	2 086	21 183	416
34	Candelaria ^b	XII	Península de Yucatán	2 011	13 790	150
35	Cazones	X	Golfo Centro	1 716	2 688	145
36	San Fernando	IX	Golfo Norte	1 545	17 744	400
Total				251 557	539 173	6 709

FUENTE: Conagua. Subdirección General Técnica.

NOTA: ^a Los datos del escurrimiento natural medio superficial representan el valor medio anual de su registro histórico. ^b El escurrimiento natural medio superficial de este río incluye importaciones de otros países. El área de la cuenca y la longitud se refieren sólo a la parte mexicana. ^c Longitud de la frontera entre México y los Estados Unidos de América.

Cuadro 3. Características de los ríos principales de la vertiente interior, jerarquizados por escurrimiento natural medio superficial.

No.	RÍO	REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA		ESCURRIMIENTO NATURAL MEDIO SUPERFICIAL ^a (hm ³ /año)	ÁREA DE LA CUENCA (km ²)	LONGITUD DEL RÍO (km)
37	Lerma ^b	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	4 908	47 116	708
38	Nazas	VII	Cuencas Centrales del Norte	1 999	57 101	600
39	Aguanaval	VII	Cuencas Centrales del Norte	509	32 138	481
Total				7 416	136 355	1 789

FUENTE: Conagua. Subdirección General Técnica.

NOTA: ^a Los datos del escurrimiento natural medio superficial representan el valor medio anual de su registro histórico. ^b Este río se considera dentro de la vertiente interior porque desemboca en el Lago de Chapala.

2.2.8.2. Cuencas transfronterizas de México

Según el Siglo de Torreón (2004), México comparte en total ocho cuencas con los países vecinos: tres con los Estados Unidos de América (Bravo, Colorado y Tijuana), cuatro con Guatemala (Grijalva-Usumacinta, Suchiate, Coatán y Candelaria) y una con Belice y Guatemala (Río Hondo). (ver cuadro 4).

Cuadro 4. Características de los ríos con cuencas transfronterizas, por región Hidrológico-Administrativa.

No.	RÍO	REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA		PAÍS	ESCURRIMIENTO NATURAL MEDIO SUPERFICIAL (hm ³ /año)	ÁREA DE LA CUENCA (km ²)	LONGITUD DEL RÍO (km)
1	Bravo	VI	Río Bravo	México	6 778	225 242	NA
				E.U.A.	502	241 697	1 074
				Binacional	NA	NA	2 034
2	Colorado	I	Península de Baja California	México	13	3 840	160
				E.U.A.	17 885	484 350	2 056
				Binacional	NA	NA	29
3	Tijuana	I	Península de Baja California	México	78	3 203	143
				E.U.A.	92	1 221	9
4	Grijalva-Usumacinta	XI	Frontera Sur	México	71 716	83 553	1 521
				Guatemala	43 820	44 837	390
5	Suchiate	XI	Frontera Sur	México	184	203	75 ^a
				Guatemala	2 553	1 084	60
6	Coatán	XI	Frontera Sur	México	354	605	75
				Guatemala	397	280	12
7	Candelaria	XII	Península de Yucatán	México	1 750	13 790	150
				Guatemala	261	1 558	8
8	Hondo	XII	Península de Yucatán	México	533 ^a	7 614	115 ^b
				Guatemala	NA	2 873	45
				Belice	NA	2 978	16

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

NOTA: ^a Los 75 km pertenecen a la frontera entre México y Guatemala. ^b Los 115 km pertenecen a la frontera entre México y Belice
NA = No Aplica.

Las aguas de los ríos Bravo, Colorado y Tijuana se comparten conforme a lo indicado en el Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales entre los Estados Unidos de México y los Estados Unidos de América, firmado en Washington, D.C. el 3 de febrero de 1944. En el caso del Río Colorado, el Tratado especifica que los Estados Unidos de América deben entregar anualmente a México 1,850.2 hm³.

Alba y Eugenia (2007²), aclaran que debido al régimen climático del país, en casi todos los ríos existe una diferencia notable entre el volumen de agua que llevan en la época de sequía y la época lluviosa. Esta variación está acentuada por las obras de retención de agua y su uso para irrigación, de tal manera que muchos de los ríos que originalmente eran permanentes, ahora se vuelven intermitentes, por lo menos en algunos tramos de su recorrido. En zonas amplias deforestadas y con un alto grado de erosión del suelo se produce un aumento en el escurrimiento superficial y la disminución de la infiltración del agua de lluvia.

2.2.8.3. Principales Lagos de México

Luege *Op cipa* (2007), menciona que en cuanto a lagos y lagunas, la mayor parte de las formaciones naturales son de origen endorreico o están ligadas con los litorales. Las cuencas endorreicas son originadas por la obstrucción del drenaje superficial debido a fenómenos volcánicos o tectónicos o como consecuencia de la aridez. Las lagunas pueden estar formadas por agua dulce o salada; el contenido de sal varía de una época a otra, y también está en función de la apertura temporal o el cierre de la comunicación con otras lagunas y con el mar, la Subdirección General Técnica de Conagua muestra los volumen de almacenamiento de los principales lagos de México (ver cuadro 5).

Cuadro 5. Área y volumen de almacenamiento de los lagos principales de México, según región Hidrológico-Administrativa y Entidad Federativa, 2006.

No.	LAGO	ÁREA DE LA CUENCA PROPIA (km ²)	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO (hm ³)	REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA		ENTIDAD(ES) FEDERATIVA(S)
1	Chapala	1 116	8 126	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	Jalisco y Michoacán de Ocampo
2	Cuitzeo	306	920 ^a	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	Michoacán de Ocampo
3	Pátzcuaro	97	550 ^a	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	Michoacán de Ocampo
4	Yuriria	80	188	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	Guanajuato
5	Catemaco	75	454	X	Golfo Centro	Veracruz de Ignacio de la Llave
6	Tequesquitengo	8	160 ^a	IV	Balsas	Morelos
7	Nabor Carrillo	10	12 ^a	XIII	Lerma-Santiago-Pacífico	México

FUENTE: Conagua. Subdirección General Técnica.

NOTA: ^a El dato se refiere al volumen medio almacenado, todavía no se tienen estudios actualizados de su capacidad de almacenamiento.

La región más rica en lagos interiores es la que abarca el Norte de Michoacán y el centro de Jalisco, donde existe gran cantidad de cuerpos de agua de tamaños, profundidades y estados evolutivos diversos. El lago de Chapala es el más grande de los lagos interiores de México. Tiene una extensión de 1 116 km² y cuenta con una profundidad promedio que oscila entre los 4 y 6 m.

2.2.9. Aguas subterráneas

2.2.9.1. Acuíferos

La importancia del agua subterránea queda de manifiesto por la magnitud del volumen utilizado por los principales usuarios; cerca del 37% (28,341 hm³/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, (ver cuadro 6).

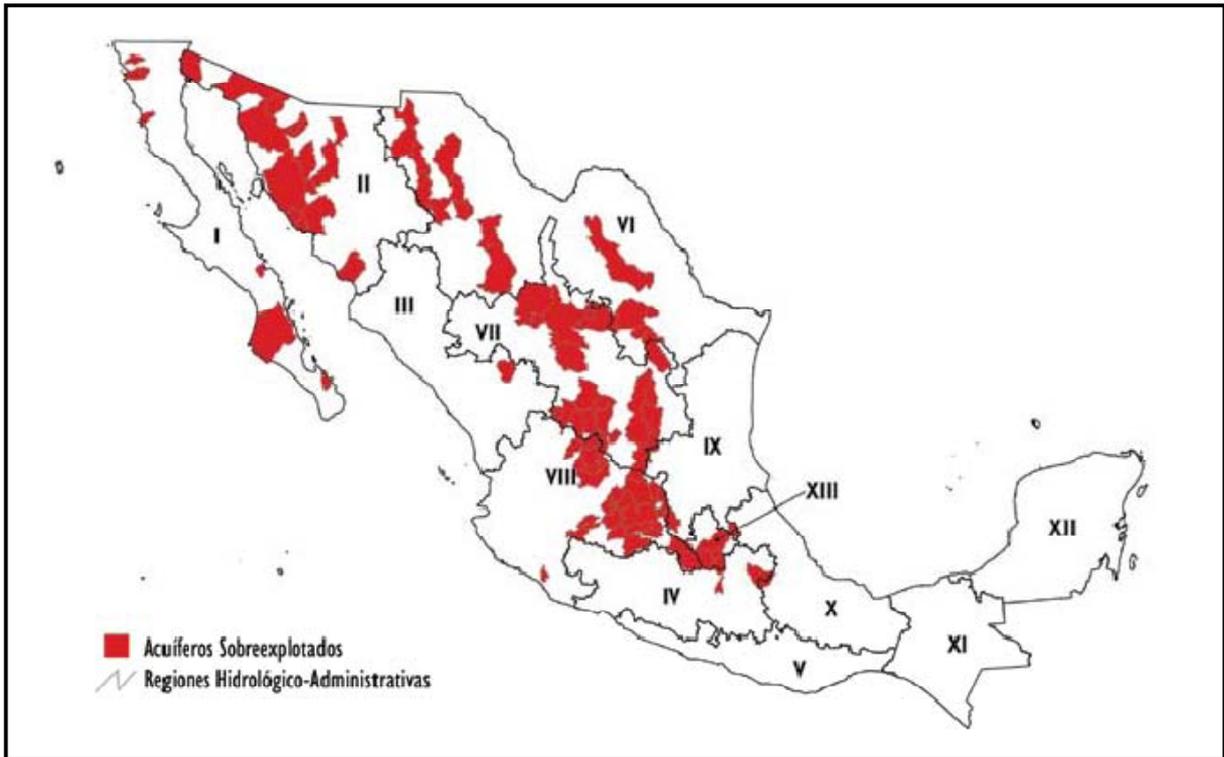
Cuadro 6. Acuíferos del país, por región Hidrológico-Administrativa, 2006.

REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA	NÚMERO DE ACUÍFEROS				RECARGA MEDIA (hm ³)
	TOTAL	SOBREEXPLOTADO	CON INTRUSIÓN MARINA	BAJO EL FENÓMENO DE SALINIZACIÓN DE SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS SALOBRES	
I Península de Baja California	87	7	9	4	1 233
II Noroeste	63	15	5	0	2 870
III Pacífico Norte	24	1	0	0	3 194
IV Balsas	47	2	0	0	4 220
V Pacífico Sur	34	0	0	0	1 696
VI Río Bravo	100	16	0	4	5 081
VII Cuencas Centrales del Norte	68	24	0	8	2 297
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	127	33	1	0	7 566
IX Golfo Norte	40	2	0	0	1 392
X Golfo Centro	22	0	2	0	3 849
XI Frontera Sur	23	0	0	0	18 015
XII Península de Yucatán	4	0	0	1	25 316
XIII Aguas del Valle de México	14	4	0	0	1 835
Total	653	104	17	17	78 564

FUENTE: Conagua. Subdirección General Técnica.

2.2.9.2. Sobreexplotación de acuíferos

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) *Op cjp* (2004), indica que a partir de la década de los setenta, 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. De éstos se extrae casi el 60% del agua subterránea para todos los usos, (ver figura 12).



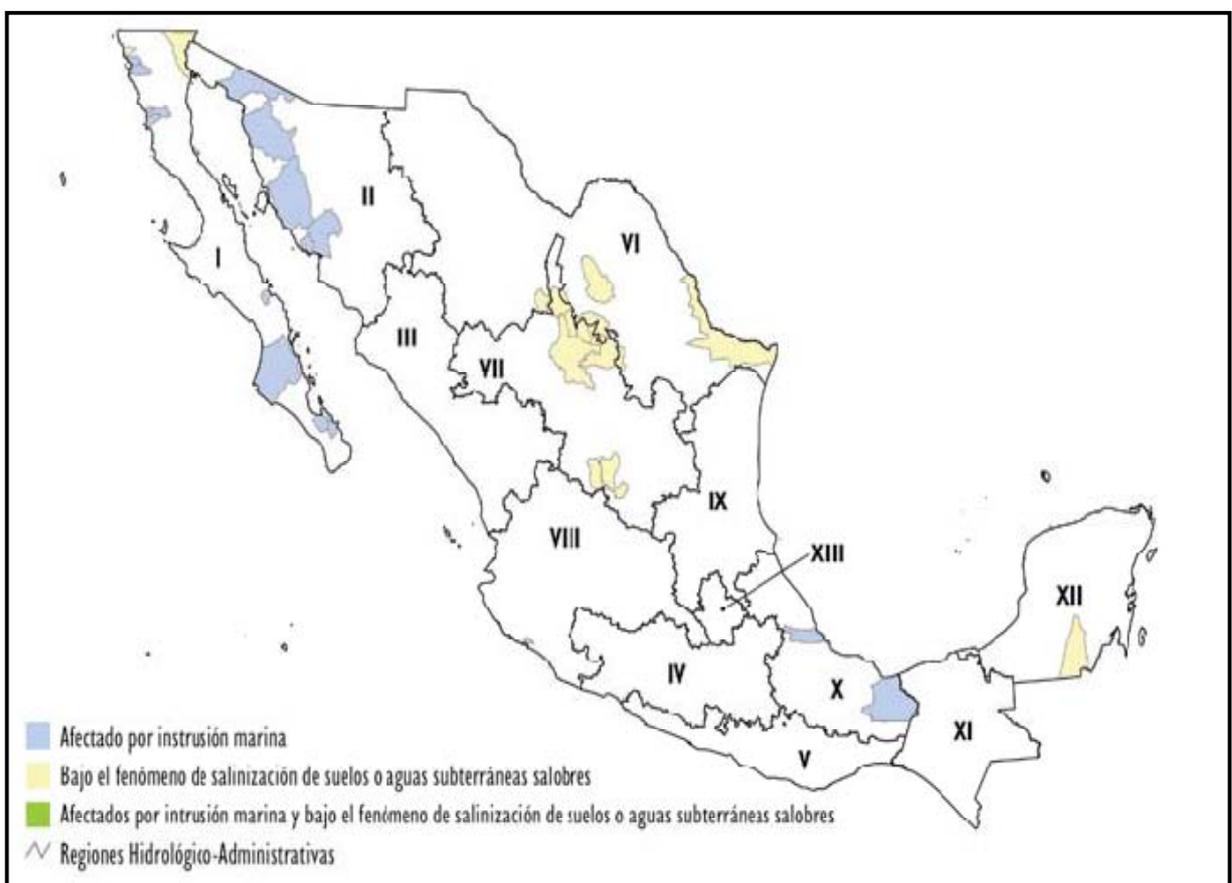
FUENTE: Conagua. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de la Subdirección General Técnica.

Figura 12. Acuíferos sobreexplotados, por región Hidrológico-Administrativa, 2006.

2.2.9.3. Acuíferos con intrusión marina y/o bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres

La intrusión marina se entiende como el fenómeno en el que el agua de mar se introduce por el subsuelo hacia el interior del continente, ocasionando la salinización del agua subterránea; esto ocurre cuando la extracción de agua provoca abatimientos del nivel de agua subterránea por debajo del nivel del mar, alterando el balance dinámico natural entre el agua de mar y el agua dulce. El fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres son factores que afectan las aguas subterráneas; el primero al propiciar la recarga con agua salinizada y el segundo al inducir el arrastre de agua congénita salina.

Existen 17 acuíferos en el país con problemas de intrusión marina, ubicados en los estados de Baja California, Baja California Sur, Colima, Sonora y Veracruz. Entre éstos se encuentran Maneadero y San Quintín en Baja California, Santo Domingo en Baja California Sur, Caborca, Costa de Hermosillo, Valle de Guaymas y San José de Guaymas en Sonora, (ver figura 13).

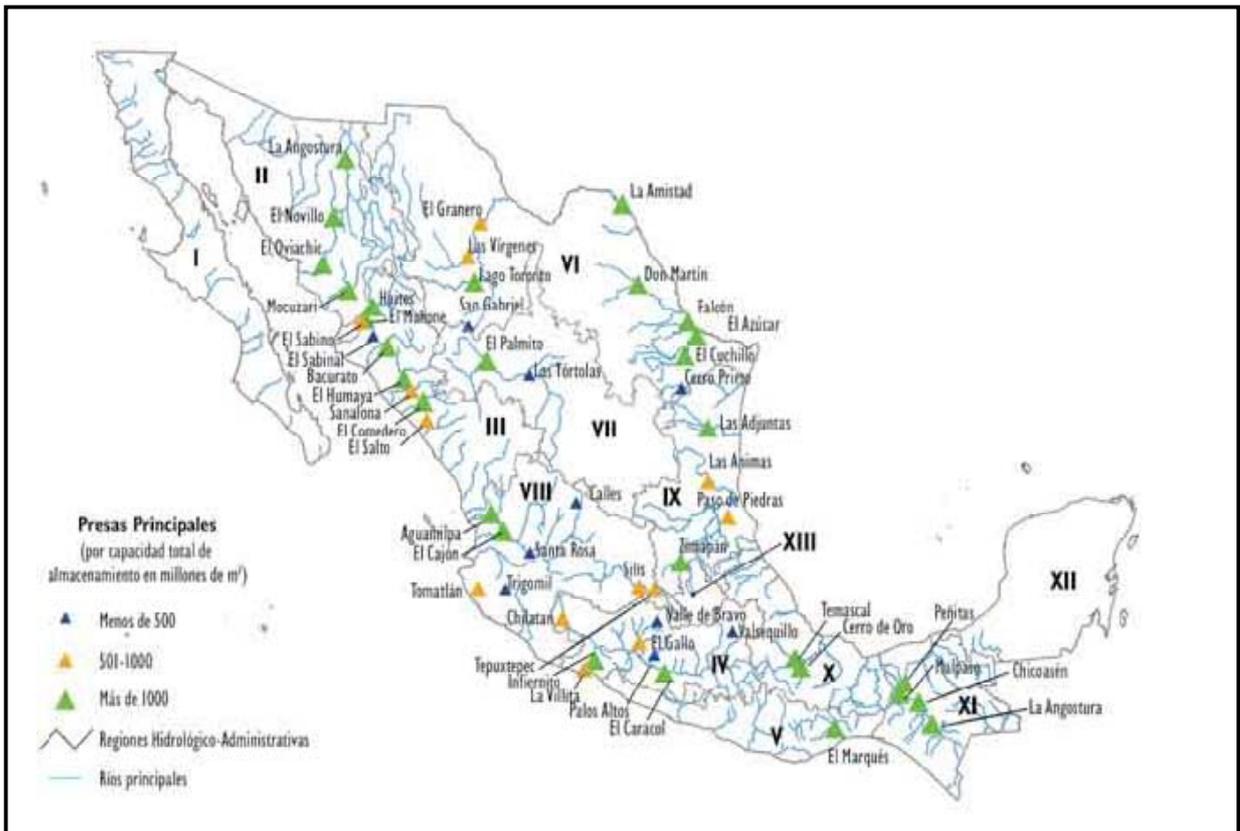


FUENTE: Conagua. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de la Subdirección General Técnica.

Figura 13. Acuíferos con intrusión marina y/o bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres, por región Hidrológico-Administrativa, 2006.

2.2.10. Principales presas de México

Luege *Op cíp* (2007), nos dice que existen alrededor de 4,000 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 m³. Este volumen depende de la precipitación y los escurrimientos en las distintas regiones del país. Las 52 presas del país con mayor capacidad de almacenamiento representan casi el 60% de la capacidad total de almacenamiento del país (ver Cuadro 7). Su ubicación se muestra en la figura 14.



FUENTE: Conagua. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de la Subdirección General Técnica.

Figura 14. Principales presas en México por su capacidad de almacenamiento, 2006.

Cuadro 7. Capacidad de almacenamiento y uso de las principales presas de México, 2007.

No.	NOMBRE OFICIAL	NOMBRE COMÚN	CAPACIDAD TOTAL ^a (hm ³)	ALTURA DE LA CORTINA (m)	AÑO DE TERMINACIÓN	REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA	ENTIDAD FEDERATIVA	USOS	CAPACIDAD EFECTIVA (MW)
1	Belisario Domínguez	La Angostura	10 727	143	1974	Frontera Sur	Chiapas	G	900.0
2	Netzahualcóyotl	Malpaso	9 605	138	1964	Frontera Sur	Chiapas	G	1 080.0
3	Infiernillo	Infiernillo	9 340	149	1963	Balsas	Guerrero -Michoacán	G, C	1 000.0
4	Presidente Miguel Alemán	Temascal	8 119	76	1955	Golfo Centro	Oaxaca	G, C	354.0
5	Solidaridad	Aguamilpa	5 540	186	1993	Lerma-Santiago-Pacífico	Nayarit	G, I	960.0
6	General Vicente Guerrero	Las Adjuntas	3 900	60	1971	Golfo Norte	Tamaulipas	I, A	
7	Internacional La Amistad	La Amistad	3 887	77	1969	Río Bravo	Coahuila	G, I, A, C	66.0
8	Internacional Falcón	Falcón	3 273	50	1953	Río Bravo	Tamaulipas - Texas	A, C, G	32.0
9	Adolfo López Mateos	El Humaya	3 087	106	1964	Pacífico Norte	Sinaloa	G, I	90.0
10	Álvaro Obregón	El Oviachic	2 989	90	1952	Noroeste	Sonora	G, I	19.0
11	Plutarco Elías Calles	El Novillo	2 925	139	1964	Noroeste	Sonora	G, I	135.0
12	Miguel Hidalgo y Costilla	El Mahone	2 921	81	1956	Pacífico Norte	Sinaloa	G, I	60.0
13	Luis Donaldo Colosio	Huites	2 908	165	1995	Pacífico Norte	Sinaloa	G, I	422.0
14	La Boquilla	Lago Toronto	2 903	80	1916	Río Bravo	Chihuahua	I	0
15	Lázaro Cárdenas	El Palmito	2 873	105	1946	Cuencas Centrales del Norte	Durango	I, C	
16	Leonardo Rodríguez Alcaine	El Cajón	2 282	186	2006	Lerma-Santiago-Pacífico	Nayarit	G	750.0
17	José López Portillo	El Comedero	2 250	134	1983	Pacífico Norte	Sinaloa	G, I	100.0
18	Gustavo Díaz Ordaz	Bacurato	1 860	116	1981	Pacífico Norte	Sinaloa	G, I	92.0
19	Carlos Ramírez Ulloa	El Caracol	1 414	126	1986	Balsas	Guerrero	G	600.0
20	Manuel Moreno Torres	Chicoasén	1 376	261	1980	Frontera Sur	Chiapas	G	2 400.0
21	Ingeniero Fernando Hiriart	Zimapán	1 360	297	1996	Golfo Norte	Hidalgo - Querétaro	G	292.0
22	Venustiano Carranza	Don Martín	1 313	35	1930	Río Bravo	Coahuila	I, A, C	
23	Miguel de la Madrid	Cerro de Oro	1 250	70	1988	Golfo Centro	Oaxaca	G, I	360.0
24	Cuchillo-Solidaridad	El Cuchillo	1 123	44	1994	Río Bravo	Nuevo León	A, I	
25	Ángel Albino Corzo	Peñitas	1 091	58	1986	Frontera Sur	Chiapas	G	420.0

No.	NOMBRE OFICIAL	NOMBRE COMÚN	CAPACIDAD TOTAL ^a (hm ³)	ALTURA DE LA CORTINA (m)	AÑO DE TERMINACIÓN	REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA	ENTIDAD FEDERATIVA	USOS	CAPACIDAD EFECTIVA (MW)
26	Adolfo Ruiz Cortines	Mocúzari	950	62	1955	Noroeste	Sonora	G, I	10.0
27	Benito Juárez	El Marqués	947	86	1961	Pacífico Sur	Oaxaca	I	
28	Marte R. Gómez	El Azúcar	824	49	1946	Río Bravo	Tamaulipas	I	
29	Sanalona	Sanalona	673	81	1948	Pacífico Norte	Sinaloa	G, I	14.0
30	Solis	Solis	728	52	1980	Lerma-Santiago-Pacífico	Guanajuato	I	
31	Lázaro Cárdenas	La Angostura	703	73	1942	Noroeste	Sonora	I, A	
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 – Guerrero	G, I	280.0
35	Josefa Ortiz de Domínguez	El Sabino	514	44	1967	Pacífico Norte	Sinaloa	I	
36	Cajón de Peña	Tomatán	467	68	1976	Lerma-Santiago-Pacífico	Jalisco	I	
37	Chicayán	Paso de Piedras	457	30	1976	Golfo Norte	Veracruz	I	
38	El Gallo	El Gallo	441	30	1991	Balsas	Guerrero	G	60.0
39	Tepuxtepec	Tepuxtepec	425	43	1972	Lerma-Santiago-Pacífico	Michoacán	G, I	79.5
40	Valle de Bravo	Valle de Bravo	418	56	1944	Balsas	México	A	
41	Aurelio Benassini Viscaño	El Salto	415	73	1986	Pacífico Norte	Sinaloa	I	
42	Manuel M. Diéguez	Santa Rosa	403	114	1964	Lerma-Santiago-Pacífico	Jalisco	G	61.0
43	Francisco Zarco	Las Tórtolas	365	40	1968	Cuencas Centrales del Norte	Durango	C, I	
44	Luis L. León	El Granero	356	62	1968	Río Bravo	Chihuahua	I, C	
45	Plutarco Elías Calles	Calles	350	67	1931	Lerma-Santiago-Pacífico	Aguascalientes	I	
46	Francisco I. Madero	Las Vírgenes	348	57	1949	Río Bravo	Chihuahua	I	
47	Manuel Ávila Camacho	Valsequillo	304	85	1946	Balsas	Puebla	I	
48	Guillermo Blake Agullar	El Sabinal	300	81	1985	Pacífico Norte	Sinaloa	C, I	
49	José López Portillo	Cerro Prieto	300	50	1984	Río Bravo	Nuevo León	A, I	
50	Vicente Guerrero	Palos Altos	250	67	1968	Balsas	Guerrero	I	
51	General Ramón Corona Madrigal	Trigomil	250	107	1993	Lerma-Santiago-Pacífico	Jalisco	I	
52	Federalismo Mexicano	San Gabriel	247	44	1981	Río Bravo	Durango	I, A	
	Total		103 465						10 636.5

FUENTE: Conagua. Subdirección General Técnica.

NOTA: 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

2.3. El agua dulce y su importancia en el Norte de México

El territorio de México está dividido en 31 entidades federativas y un Distrito federal, el cual es sede de los poderes de la Nación. Cada entidad se caracteriza por su propia historia, costumbres, geografía y rasgos característicos de la población. México está conformado por una gran variedad cultural que se destaca aún entre los propios estados que lo conforman.

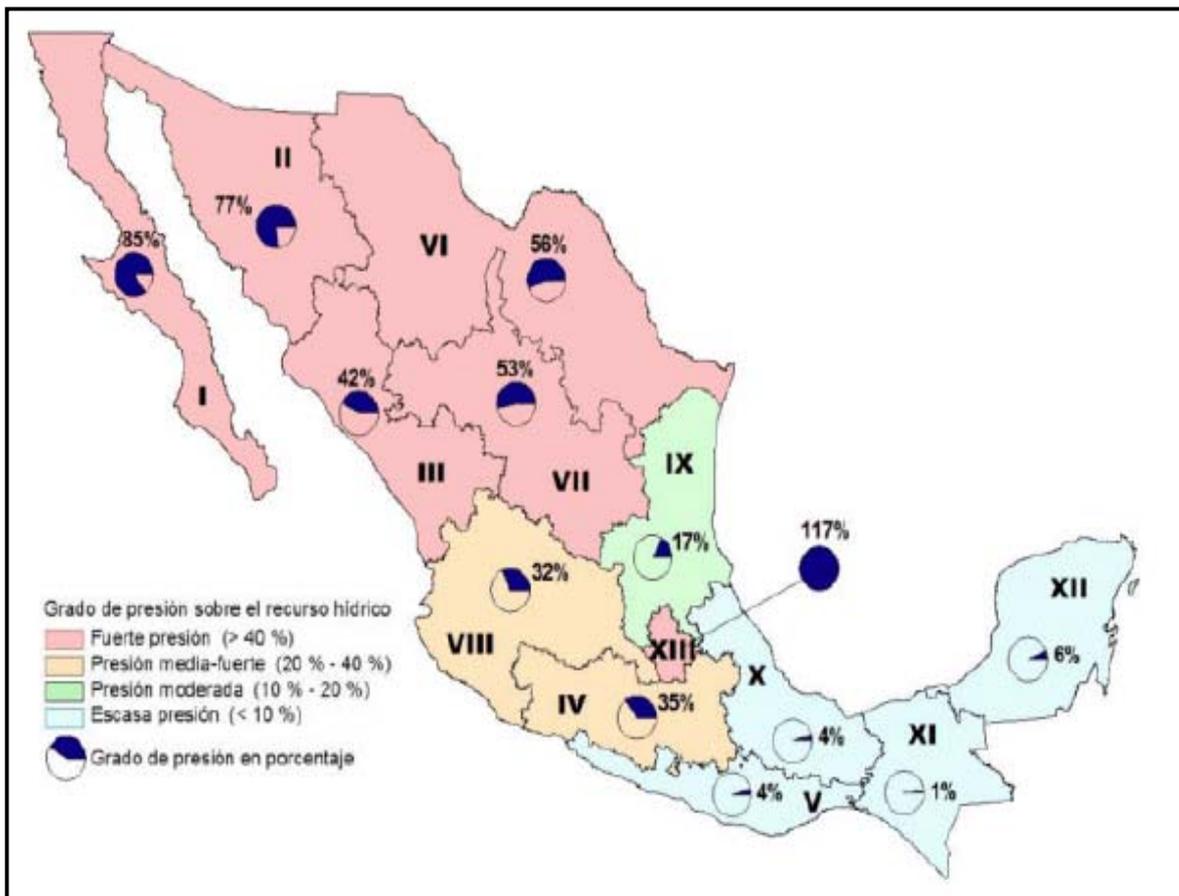
Becerra *et al*, (2006) menciona que para fines prácticos, los estados del país se agrupan por regiones de la siguiente manera: Noroeste (NE), Norte (N), Centro-Norte (CN), Occidente (OCC), Oriente (O), Sur (S) y la Península de Yucatán (P. Y). Para el caso de la región Norte del país, lo componen los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Coahuila, Chihuahua y Durango (ver figura 15).



Figura 15. Estados que corresponden a la región Norte de México.

2.3.1. Grado de presión sobre el recurso

Según Tudela (2002), el porcentaje que representa el agua utilizada para usos consuntivos con 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 un nivel moderado; sin embargo, como se puede ver en el mapa de la figura 16, 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.



FUENTE: Conagua. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de: Conagua. Subdirección General Técnica. Conagua. Subdirección General de Administración del Agua.

Figura 16. Grado de presión sobre el recurso por regiones Hidrológico-Administra.

2.3.2. Disponibilidad y origen de los recursos hídricos en el Norte de México

(Luege *Op cip* en el 2007)

2.3.2.1. Nuevo León

Según el censo realizado en el 2005, esta entidad cuenta con una población actual total de 4'199,292 habitantes de los cuales 3'962,457 corresponden a habitantes de la zona urbana, el resto que son 236,835 corresponden a las zonas rurales, dichos habitantes se encuentran distribuidos en 51 municipios.

Esta región presenta una precipitación promedio de (1941-200) 588.9 mm anuales y cuenta con un total de 1,968 hm³ de agua, lo que corresponde a un 100%; de esta cantidad total de agua el 69.8% se emplea en el campo agropecuario, el 4% corresponde a las industrias, un 0.2% se emplea en las termoeléctricas y el 26.0% restante se emplea para el abastecimiento público (ver figura 17).

Se considera que el 43.6% de esta agua es proveniente de los acuíferos (agua subterránea) y el otro 56.4% faltante corresponde a las aguas superficiales, de los cuales se utilizan de la siguiente manera:

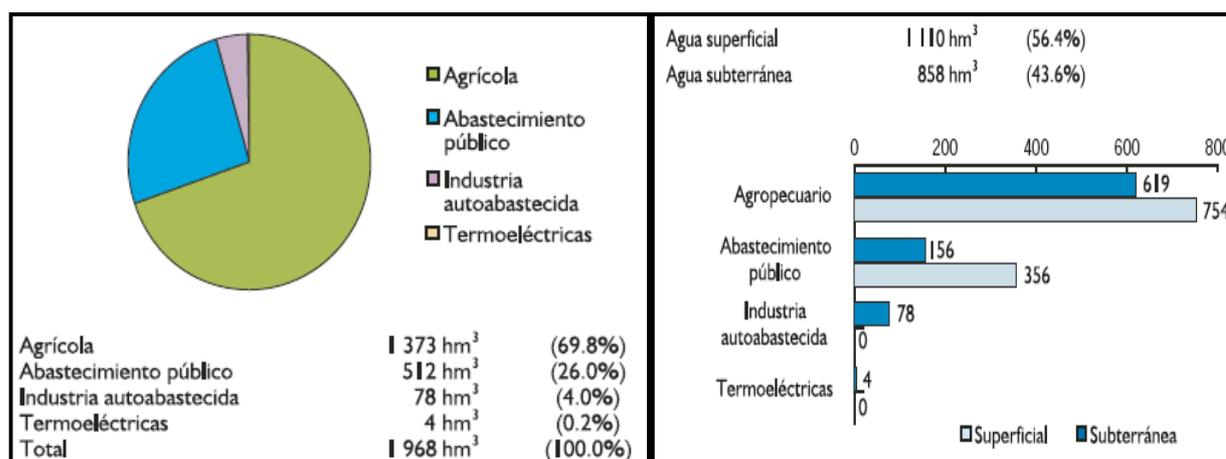


Figura 17. Uso y origen de los recursos hídricos en el estado de Nuevo León.

2.3.2.2. Tamaulipas

Esta entidad cuenta con una población actual total de 3'024,238 habitantes de los cuales 2'638,914 son habitantes de la zona urbana, el resto, que es 385,324 corresponden a las zonas rurales, dichos habitantes se encuentran distribuidos en 43 municipios.

La precipitación normal para esta región es de (1941-200) 765.4 mm anuales y cuentan con un total de 3,759 hm³ de agua, lo que corresponde a un 100%; de esta cantidad total de agua el 87.4% tiene un uso agrícola y pecuario, el 2.8% corresponde a las industrias, un 1.4% se emplea en las termoeléctricas y el 8.4% restante se emplea para el abastecimiento público (ver figura 18).

Se considera que el 9.4% de este recurso es proveniente de los acuíferos (agua subterránea) ya que la mayor parte o sea el 90.6% corresponde a las aguas superficiales de los cuales se utilizan de la siguiente manera:

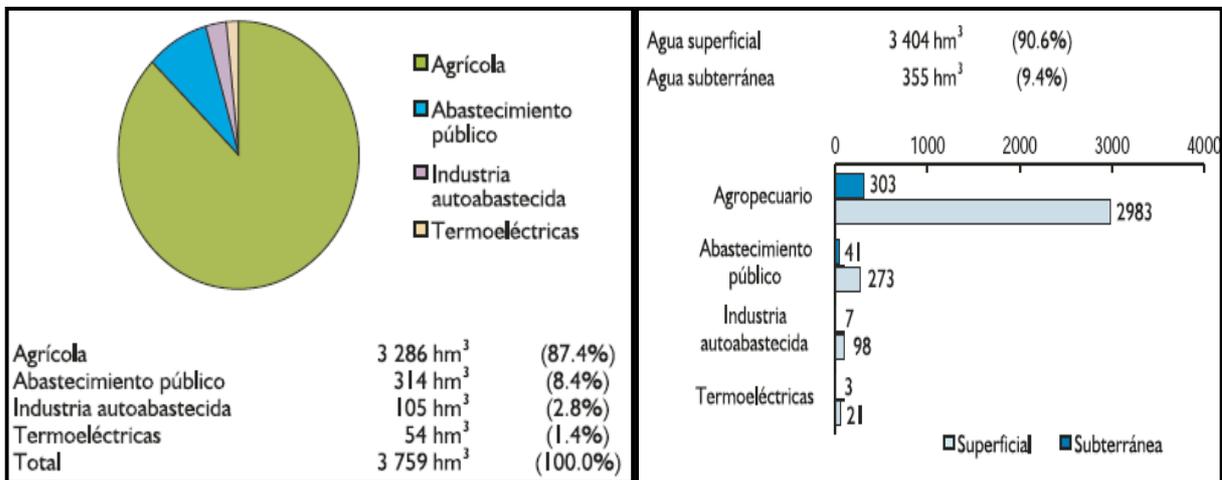


Figura 18. Uso y origen de los recursos hídricos en el estado de Tamaulipas.

2.3.2.3. Coahuila

Esta entidad cuenta con una población actual total de 2'495,200 habitantes de los cuales 2'246,697 se encuentran viviendo en zonas urbanas y únicamente 248,503 corresponden a las zonas rurales. Dichos habitantes se encuentran distribuidos en 38 municipios.

Esta región presenta una precipitación normal de (1941-200) 315.8 mm anuales y cuentan con un total de 1,907 hm³ de agua, lo que corresponde a un 100 %; de esta cantidad total de agua el 82.6% tiene usos agropecuarios, el 3.8% corresponde a las industrias, un 3.9% se emplea en las termoeléctricas y únicamente el 9.6% se emplea para el abastecimiento público (ver figura 19).

Se considera que el 53.3% del total de agua es proveniente de acuíferos (agua subterránea) y el 46.7% restante corresponde a las aguas superficiales de los cuales se utilizan de la siguiente manera:

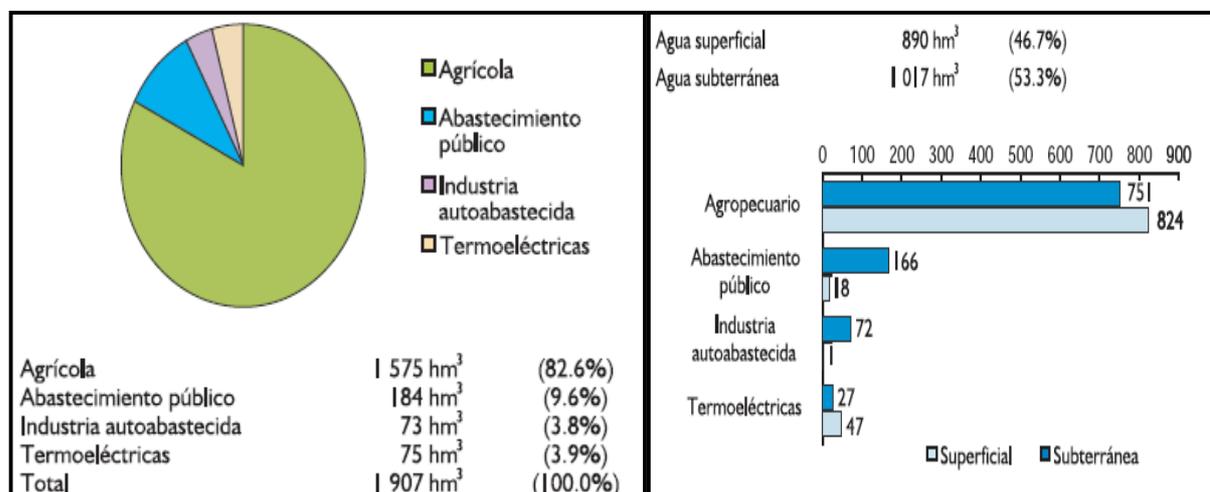


Figura 19. Uso y origen de los recursos hídricos en el estado de Coahuila.

2.3.2.4. Chihuahua

El estado de Chihuahua cuenta con una población actual de 3'241,444 habitantes de los cuales 2'738,858 se encuentran habitando en zonas urbanas, el resto 502,586 corresponden a las zonas rurales, dichos habitantes se encuentran distribuidos en 67 municipios.

La precipitación normal para esta región es de (1941-200) 421.0 mm anuales y cuentan con un total de 5,133 hm³ de agua, lo que corresponde a un 100%; de esta cantidad total de agua el 89.2% se emplea en la agricultura y ganadería, el 1.0% corresponde a las industrias, un 0.5 % se emplea en las termoeléctricas y únicamente el 9.3% restante se emplea para el abastecimiento público (ver figura 20).

Se considera que el 61.9% de este recurso es proveniente de acuíferos (agua subterránea) y el 38.1% restante corresponde a las aguas superficiales, de los cuales se utilizan de la siguiente manera:

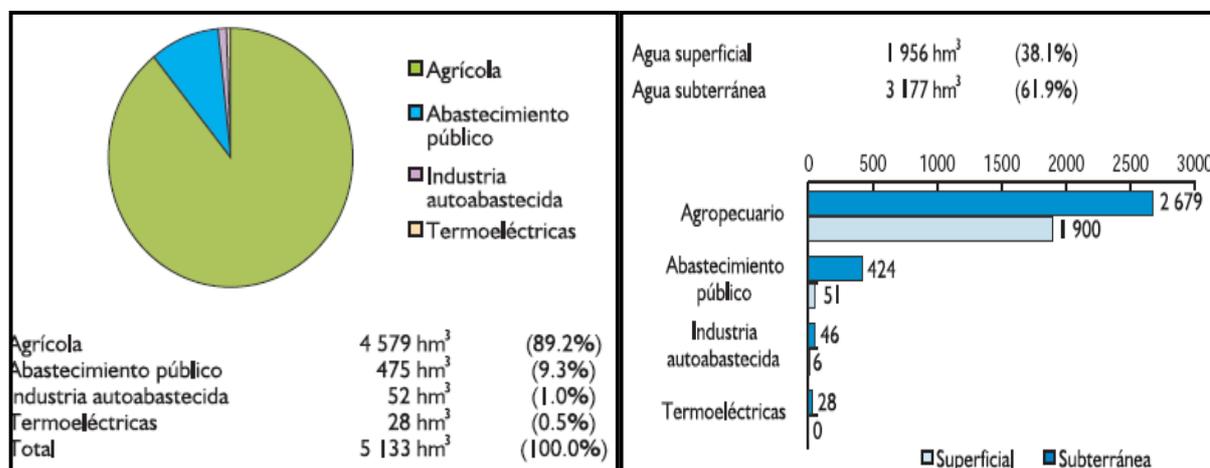


Figura 20. Uso y origen de los recursos hídricos en el estado de Chihuahua.

2.3.2.5. Durango

El estado de Durango tiene una población actual de 1'509,117 habitantes de los cuales 1'014,680 se encuentran en zonas urbanas, el resto que es 494,437 corresponden a las zonas rurales, dichos habitantes se encuentran distribuidos en 39 municipios.

Esta región presenta una precipitación promedio normal de (1941-200) 505.6 mm anuales y cuentan con un total de 1,559 hm³ de agua, lo que corresponde a un 100%; de esta cantidad total de agua, el 88.2% se emplea en el campo agropecuario, el 1.4% corresponde a las industrias, un 0.6% se emplea en las termoeléctricas y el 9.8% restante se emplea para el abastecimiento público (ver figura 21).

El 52.6% de esta agua es proveniente de acuíferos (agua subterránea) y únicamente el 47.4% corresponde a las aguas superficiales de los cuales se utilizan de la siguiente manera:

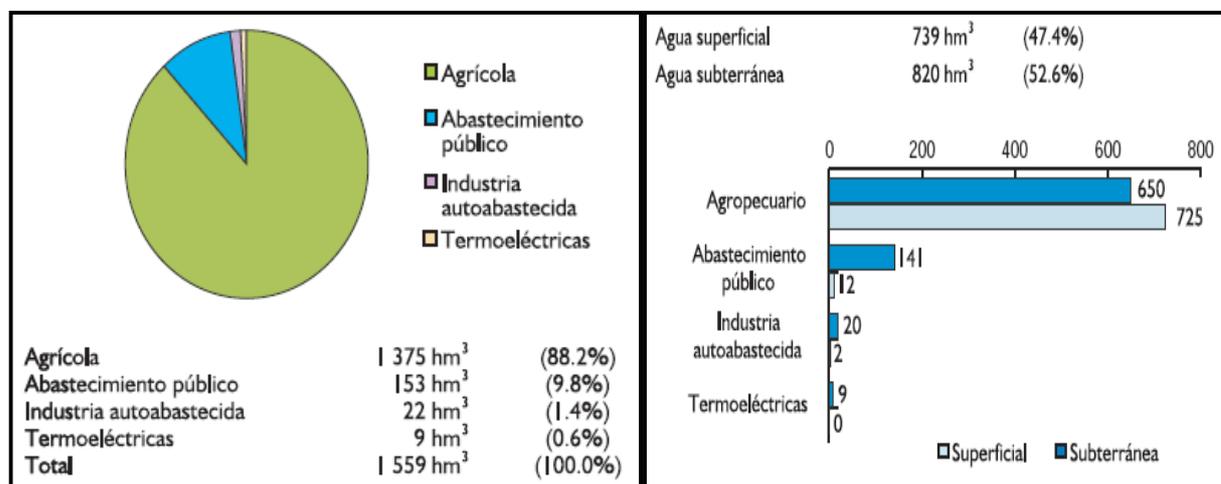


Figura 21. Uso y origen de los recursos hídricos en el estado de Durango.

2.4. El agua dulce y su importancia en el Norte del estado de Durango

El Gobierno del estado de Durango y el Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED, 2008) citan que Durango se encuentra actualmente dividido en 39 municipios de los cuales 7 corresponden a la Zona Norte de este, entre ellos se encuentran como se muestra a continuación (ver figura 22).

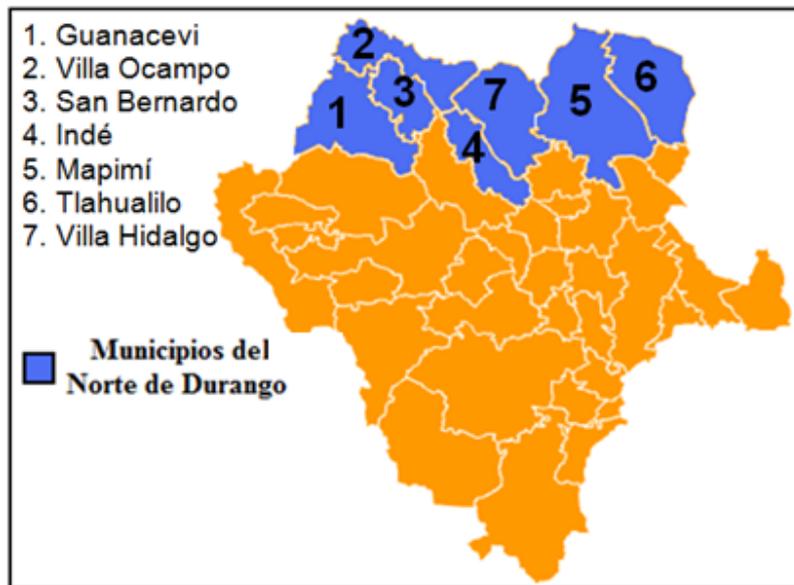


Figura 22. División Política del estado de Durango.

2.4.1. Municipio de Guanaceví, Dgo.

El municipio de Guanaceví se localiza al Noroeste del estado de Durango, en las coordenadas 25° 56' 00" latitud Norte y 106° 00' 00" de longitud Oeste, a una altura de 2,300 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte con los municipios de Ocampo y San Bernardo; al Oeste con el estado de Chihuahua; al Este con el municipio de El Oro; y al sur con el municipio de Tepehuanes. Se divide en 147 localidades, de las cuales las más importantes son: San Pedro, San Marcos, El Zape, Quelites, Sembradilla, Guanaceví y la Rosilla. Tiene una extensión territorial de 5'246.9 Km², que representan el 4.68% respecto al total del estado.

Por el Norte provienen del municipio de San Bernardo los ríos Sixtín y San Esteban. En la porción oriente corre el río del Zape que es afluente de El Oro, de la cuenca del Nazas, formándose un valle fluvial elevado a una altura media de 1,900 metros sobre el nivel del mar (msnm). De la región poniente, las aguas que bajan de las cumbres de la sierra llegan a la cuenca del río Conchos, afluente del Bravo del Norte, y al río El Fuerte que desemboca en el Pacífico, y más al sur se encuentran los afluentes de la hermosa quebrada de Huyapan origen del río Humaya, que se une al de Culiacán. La superficie de la cuenca es de 8,352 kilómetros con una longitud de 175 kilómetros aproximadamente.

Las temperaturas máximas y mínimas que se presentan en el municipio son de 32 °C y 5 °C, con una temperatura media anual es de 23 °C. La precipitación media anual es de 550 mm durante los meses de Junio y Agosto. La primera helada se registra en el mes de septiembre y la última en junio, con vientos predominantes hacia el sur y velocidades moderadas de 2.1 a 6.0 m/seg. El tipo de clima que se presenta en el municipio es templado sub-húmedo.

El municipio de Guanaceví está constituido por varios tipos de suelo: litosol, fluvisol, y en su totalidad está formado por rocas ígneas.

2.4.2. Municipio de Villa Ocampo, Dgo.

El municipio de Ocampo se encuentra en la parte más septentrional del estado de Durango, en los límites con el estado de Chihuahua, en las coordenadas 26°04'19" y 26°49'48" latitud Norte y 105°06'04" y 106°13'44" longitud Oeste a una altura de 1,740 msnm. Colinda al Norte con el estado de Chihuahua, al Sur con el municipio de Indé, al Este con el municipio de Hidalgo y al Oeste con los municipios de San Bernardo y

Guanaceví. La distancia aproximada a la capital del estado es de 345 Kilómetros. El municipio tiene una superficie territorial de 3'207.70 km², que representan el 3.3% del total del territorio del estado.

Casi todos los ríos del municipio recorren la vertiente del Golfo de México, pues desagua en el río de villa Ocampo o en el de Canutillo, que unidos forman el río Florido, afluente del Concho, el que a su vez lleva su corriente al río Bravo. Le siguen varios arroyos entre ellos el de Canutillo, Torreón de Cañas, La Sandia, Cañada de Muñoz, Matalotes, de la Pastorcilla y de la Ciénaga. El municipio cuenta con cinco presas de almacenamiento, destacándose por su importancia las siguientes: Federalismo Mexicano o San Gabriel, con una capacidad de almacenamiento de 245.4 millones de metros cúbicos, siguiéndole las de Cimarrones y Nogales. Así mismo dentro de este contexto se pueden mencionar derivadores (tanques) que se localizan dentro del municipio, además de bordos de abrevaderos, represas y ojos de agua.

Esta región presenta una temperatura media anual de 18°C y una precipitación pluvial media anual de 550 mm, con régimen de lluvias en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, presentándose la primera helada en el mes de octubre y la última en el mes de mayo. Los vientos dominantes son del noroeste con intensidades variables pero menores a 120 km/h. Los meses de mayor intensidad son marzo, abril, octubre y noviembre.

Los tipos de suelos que caracterizan al municipio son: fluvisol, regosol, cambisol, solonchac; son suelos que se forman principalmente por materiales acarreados por agua, poco desarrollados y se encuentran en todos los climas.

2.4.3. Municipio de San Bernardo, Dgo

El municipio se localiza en la porción septentrional del estado. Limita al Norte y Oriente con el municipio de Ocampo; al Sur con el del Oro y al Poniente con el de Guanaceví. Su cabecera municipal se encuentra en las coordenadas 26°00' de latitud Norte y los 105°31' de longitud Oeste, a una altura de 1,640 metros sobre el nivel del mar. El municipio cuenta con una extensión territorial de 2,078 km² y representa el 1.7% respecto a la superficie total del estado.

Al municipio lo cruza diagonalmente de Noroeste a Sureste el río Sixtín que es la corriente más importante de la región, afluente del Nazas; el río del Oro, penetra a esta entidad y la recorre longitudinalmente, recibiendo las aguas del río Matalote, que a su vez recibe las del arroyo de Muñoz, cuyo curso se le reconoce como el lindero del Municipio de Ocampo.

El clima que predomina en esta región es casi semi-frío. La temperatura media anual es de 18°C, y una precipitación media anual de 550 mm; con régimen de lluvias de julio a diciembre. El promedio de heladas por año es de 67.42 días, de octubre a marzo.

El municipio está constituido por erupciones del terciario. La composición del suelo corresponde al denominado litosol, que es un suelo que se encuentra en todos los climas con muy diversos tipos de vegetación, tiene características muy variables, su profundidad no rebasa los 10 centímetros, su uso depende principalmente de la vegetación que lo cubre y su susceptibilidad a la erosión es de moderada a alta. La tenencia de la tierra es ejidal en su mayoría.

2.4.4. Municipio de Indé, Dgo.

El municipio de Indé se localiza en la parte Norte-Centro del estado de Durango, sus colindancias son: al Norte con Ocampo e Hidalgo; al Sur El Oro y Rodeo; al Oriente con Hidalgo y San Pedro del Gallo; y al Poniente con El Oro. Se ubica a los 25° 54' 43" latitud Norte, y a los 105° 13' 20" de longitud Oeste, a una altura de 1,860 metros sobre el nivel del mar; se divide en 77 localidades, de las cuales las más importantes son: Indé, Concepción, San Rafael y el Palmito. Cuenta con una superficie de 2,370.90 Km². La cabecera de la municipalidad está ubicada en una planicie de la cadena montañosa, al Norte del Picacho acantilado de la Bufa de Indé.

Por la parte central corre el arroyo del Tizonazo que se une al río del Oro, en San Francisco del Palo Blanco, y juntos fluyen al río de Ramos en la hacienda del Rincón, para formar el verdadero río Nazas, el cual sirve de límite por el sur del municipio; asimismo cerca de esta confluencia se encuentra una de las boquillas del Palmito, que actualmente forma parte de la obra hidráulica denominada presa Lázaro Cárdenas, con más de 3000 millones de metros cúbicos de capacidad, ocupando el cuarto lugar en América Latina y cuya función es regular las aguas del río Nazas.

Está sujeto durante los meses de enero a abril a fuertes y constantes vientos del Noroeste, producidos por la diferencia de temperaturas entre las llanuras que sufren la radiación intensa de los rayos solares y las mesetas de la sierra que permanecen frías. Sus estaciones son bien marcadas en sus caracteres de temperatura y lluvias, pero sin llegar a ser extremo, con temperatura media de 17°C, máxima de 39°C y la mínima de -6°C con una precipitación pluvial de 704 mm, su clima es seco o estepario; el promedio de días con heladas al año es de 13.80, cayendo la primera en octubre y la última en mayo.

Las formaciones calizas constituyen la región semiárida y se prologan por el Norte a través de la meseta de la Zarca hasta las cordilleras de Indé, remontan su origen al período cretáceo. La composición del suelo es de tipo rendzina, su vegetación natural es de matorral, selva o bosque, posee una capa superficial rica en humus, que es muy fértil, descansa sobre roca caliza, generalmente no es muy profunda, La tenencia de la tierra es de propiedad privada y ejidal.

2.4.5. Municipio de Mapimí, Dgo.

El municipio de Mapimí se localiza al extremo Norte del estado de Durango, a los 26° 14' 6" latitud Norte y 104° 29' 14" longitud Oeste, a una altura de 1,300 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte, con el estado de Chihuahua; al Oriente, con el municipio de Tlahualilo; por el Sur, con los municipios de Gómez Palacio, Nazas, Lerdo y San Pedro del Gallo y hacia el Poniente con el municipio de Hidalgo. Cuenta con una superficie total de 7,126.7 Km², se divide en 241 localidades, entre las cuales las más importantes son: Ceballos, Santa Librada, San Felipe, El Refugio, Jaralito, Yermo, La Merced y Bermejillo.

Tienen cauce definido en algunos arroyos, entre los que se cuentan dos importantes: el de Cerro Gordo y el de La Cadena que unidos van a verter sus aguas cuando las lluvias lo hacen posible a la laguna salinera de Palomas en el estado de Chihuahua. El río más importante que atraviesa el municipio es La Cadena juntando su vertiente con el de Yermo y Cerro Gordo. Cuenta además, con 27 pozos profundos y una presa en la localidad de Benjamín Ortega.

En la mayor parte del municipio predomina un clima semiárido y semiseco, influyendo en gran forma para ello el Bolsón de Mapimí, la gran parte desértica que predomina en el municipio, con una temperatura máxima de 41°C y una mínima de 9°C. Los vientos dominantes en esta región son densos y calientes. La temperatura media es de 18° C. La precipitación pluvial es de 263.1 mm anuales. El régimen de lluvias comprende los meses de julio a septiembre, con heladas en el mes de enero.

El municipio está constituido por complejos de montañas castañas y semidesérticas. Suelos calizos de poca profundidad en las partes altas, y laderas más profundas en llanuras y valles. Se clasifican de la siguiente manera:

Suelos planos: Estos corresponden al período cenozoico superior clásico de origen aluvial de color castaño, claro oscuro, textura arcillosa con grava y un pH de 7.4.

Suelos ondulados: Corresponden al período cenozoico medio volcánico y cretácico inferior color castaño oscuro de textura arcillosa con grava y un pH de 7.4.

2.4.6. Municipio de Tlahualilo, Dgo.

El municipio de Tlahualilo se localiza al Noroeste del estado en las coordenadas 26° 06' 12" de latitud Norte y 103° 26' 26" longitud Oeste, a una altura de 1,095 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte y Oriente con el estado de Coahuila; al Sur con el municipio de Gómez Palacio y al Poniente con el municipio de Mapimí, tiene una extensión territorial de 3,709.8 Km².

El municipio es una región desértica, carece de aguajes y no hay posibilidad de encontrar aguas subterráneas potables; la única región poblada es la que fue el lecho de la laguna de Tlahualilo.

El clima característico de este lugar, es muy seco o estepario. La temperatura media anual es de 21°C. La precipitación media anual es de 211 mm. La primera helada se registra en el mes de Noviembre y la última en el mes de Marzo.

El suelo del municipio en su mayoría está considerado como tierra fértil apta para la agricultura clasificándose como yermosol; parte de su tierra es usada para la ganadería y en menor escala la agricultura. Un 70% se emplea para siembra con agua de bombeo y agua rodada, y no tiene uso el sembradío por temporal.

2.4.7. Municipio de Villa Hidalgo, Dgo.

El municipio se localiza en la parte Norte del estado de Durango, limita 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. El arroyo de Cerro Gordo junto con el de Cruces y la Parida, son los principales afluentes del Municipio. 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. En la actualidad ha vuelto a desarrollarse la ganadería. Su superficie es de 5,020.80 Km², su distancia de la cabecera municipal a la capital del estado es de 302 Km.

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.

El municipio se encuentra enclavado en la zona de los valles, que es la parte 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.

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.

2.5. El agua y sus características físico-químicas para el consumo humano

Borbolla *et al* (2003), la calidad del agua con destino al consumo humano tiene implicaciones importantes sobre los aspectos sociales y económicos, ya que estos actúan indirectamente sobre el desarrollo de un país. Por tal motivo, caracterizar la calidad del agua a través de la definición de los límites permisibles en base a los parámetros físico-químicos y microbiológicos es fundamental para garantizar la salud pública.

La estructuración de las normas, considera la importancia sanitaria de los parámetros a analizar, como la calidad y la sensibilidad de las fuentes utilizadas a la obtención de agua para consumo humano, teniendo como objetivo los siguientes puntos:

- a) Garantizar la salud de los consumidores: Los parámetros y sus niveles que representan un peligro para la salud son perfectamente conocidos, y las exigencias asociadas para la protección del consumidor se encuentran bien definidas y se basan en los conocimientos científicos, epidemiológicos y principios de gestión de riesgos. Posteriormente se definen límites permisibles de calidad de agua y se propone una jerarquía en referencia a los riesgos que presentan.
- b) Ser factibles en el contexto del país: Las recomendaciones se adecuan lo más posible con la situación existente en los laboratorios y en las empresas prestadoras de servicios de agua y alcantarillado, siempre y cuando no se ponga en riesgo la salud humana.
- c) Ser adaptables: Debido a que existen diferencias naturales y económicas entre las diferentes ciudades es necesario dar flexibilidad y gradualidad en los requisitos, con el fin de permitir una adaptación a las condiciones locales.

2.5.1. Características físicas del agua

Los parámetros físicos definen las características del agua que responda a uno o varios sentidos del ser humano, estos pueden ser la vista, el tacto, el gusto y el olfato, en este parámetro se encuentran sólidos suspendidos, turbiedad, color, gusto u olor y caída de temperatura. El Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA, 1998) nos menciona que estas características se pueden detectar sensorialmente o por medio de métodos analíticos de laboratorio

2.5.2. Características químicas del agua

Los parámetros químicos son aquellos que están relacionados con la capacidad del solvente del agua y en ellos se encuentra la materia orgánica desintegrable o no desintegrable y los gases disueltos. IBNORCA *Op sip* (1988), cita que las características químicas son aquellas que debido a elementos o compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, que como resultado de la investigación científica, se ha comprobado que en altas concentraciones, pueden causar efectos nocivos a la salud, perjudicar otros usos o afectar al sistema de abastecimiento.

A continuación García (1988), describió los límites máximos permisibles de calidad de agua para consumo humano (ver cuadro 8, 9 y 10).

Cuadro 8. Límites Máximos Permisibles de agua para consumo humano en los parámetros físicos y organolépticos.

Parámetros	Unidades	Límite máximo permisible	Método de medición
Color verdadero Pt/Co	Unidades Pt/Co	15	Colorimetría
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S/cm}$	1200	Conductimetría
Olor	No. Umbral	3.0	Panel Sensorial
pH	Unidades de pH	6.5-8.5	Potenciometría
Sabor	No. Umbral	1	Panel Sensorial
Turbiedad	UNT	3.0	Turbidimetría

Cuadro 9. Límites Máximos Permisibles de agua para consumo humano en los parámetros inorgánicos.

Parámetros	Unidades	Límite máximo permisible	Método de medición
Cianuros totales	mg/L	0.07	Espectrofotometría UV/Visible
Dureza total como CaCO₃	mg/L	500	Volumetría
Fluoruros	mg/L	0.70	Espectrofotometría UV/Visible
Nitrógeno de Nitratos	mg/L	10.0	Espectrofotometría UV/Visible
Nitrógeno de Nitritos	mg/L	0.06	Espectrofotometría UV/Visible

Cuadro 10. Límites Máximos Permisibles de agua para el consumo humano en cuestión de metales pesados y metaloides.

Parámetros	Unidades	Límite Máximo Permissible	Método de medición
Aluminio	mg/L	0.20	Espectrometría de emisión atómica acoplada inductivamente a plasma/Espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma o Espectrometría de absorción atómica con Horno de Grafito Estabilizado.
Arsénico	mg/L	0.01	Espectrometría de emisión atómica acoplada inductivamente a plasma/Espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma o Espectrometría de absorción atómica con Horno de Grafito Estabilizado.
Antimonio	mg/L	0.02	Espectrometría de emisión atómica acoplada inductivamente a plasma/Espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma o Espectrometría de absorción atómica con Horno de Grafito Estabilizado.
Bario	mg/L	0.70	Espectrometría de emisión atómica acoplada inductivamente a plasma/Espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma o Espectrometría de absorción atómica con Horno de Grafito Estabilizado.
Boro	mg/L	0.50	Espectrometría de emisión atómica acoplada inductivamente a plasma/Espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma o Espectrometría de absorción atómica con Horno de Grafito Estabilizado.
Cadmio	mg/L	0.003	Espectrometría de emisión atómica acoplada inductivamente a plasma/Espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma o Espectrometría de absorción atómica con Horno de Grafito Estabilizado.
Cobre	mg/L	2.00	Espectrometría de emisión atómica acoplada inductivamente a plasma/Espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma o Espectrometría de absorción atómica con Horno de Grafito Estabilizado. Espectrometría de absorción atómica por flama.

Parámetros	Unidades	Límite Máximo Permissible	Método de medición
Cromo	mg/L	0.05	Espectrometría de emisión atómica acoplada inductivamente a plasma/Espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma o Espectrometría de absorción atómica con Horno de Grafito Estabilizado. Espectrometría de absorción atómica por flama.
Hierro	mg/L	0.30	Espectrometría de emisión atómica acoplada inductivamente a plasma/Espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma o Espectrometría de absorción atómica con Horno de Grafito Estabilizado.
Manganeso	mg/L	0.15	Espectrometría de emisión atómica acoplada inductivamente a plasma/Espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma o Espectrometría de absorción atómica con Horno de Grafito Estabilizado.
Mercurio	mg/L	0.001	Espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma o Espectrometría de absorción atómica Vapor Frío
Molibdeno	mg/L	0.07	Espectrometría de emisión atómica acoplada inductivamente a plasma/Espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma o Espectrometría de absorción atómica con Horno de Grafito Estabilizado
Níquel	mg/L	0.02	Espectrometría de emisión atómica acoplada inductivamente a plasma/Espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma o Espectrometría de absorción atómica con Horno de Grafito Estabilizado.
Plomo	mg/L	0.01	Espectrometría de emisión atómica acoplada inductivamente a plasma/Espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma o Espectrometría de absorción atómica con Horno de Grafito Estabilizado.
Selenio	mg/L	0.01	Espectrometría de emisión atómica acoplada inductivamente a plasma/Espectrometría de masas acoplada inductivamente a plasma o Espectrometría de absorción atómica con Horno de Grafito Estabilizado.

2.6. El agua y sus características físico-químicas para el uso agrícola

Pérez y Sánchez (2002), mencionan que por sus propias características estructurales, el agua disuelve y/o mantiene en suspensión un gran número de sustancias. Muchas de esas sustancias son potencialmente tóxicas para las plantas y la acumulación de ellas genera problemas para los vegetales por efecto salino. Por ello, la aplicación de agua para riego agrícola debe estar precedida por un estudio para su tipificación y, en su caso aprobarla o rechazarla para esa finalidad.

El origen de las sustancias presentes en el agua, principalmente las disueltas, es el material geológico que ha estado en contacto con ella, a través de los procesos de disolución e hidrólisis de los minerales que los constituyen.

A lo largo del tiempo han sido desarrollados diversos sistemas de clasificación de las aguas para riego. Con pequeñas variaciones, los criterios de clasificación de todos ellos toman en consideración la presencia de constituyentes particulares que pueden ser fitotóxicos (por ejemplo Boro o metales pesados), ya que representan riesgos para la calidad del suelo (por ejemplo Sodio o metales pesados); y la concentración total de los constituyentes solubles en el agua.

Estudiar la calidad del agua puede proporcionar información acerca del ambiente a través del cual circuló el agua y del impacto de las prácticas de manejo en el ecosistema. La calidad del agua es importante no sólo desde el punto de vista de la población, como agua para consumo humano, sino también como agua de riego para alcanzar una adecuada producción de cultivos.

2.6.1. El pH en el agua de riego

Bauder *et al* (2007), mencionan que la acidez o basicidad del agua de riego se expresa como el pH (<7,0 ácidos;> 7,0 de base). El rango de pH normal del agua de riego es 6,5 a 8,4. Un pH bajo (ácido) en agua de riego, puede causar una corrosión acelerada de cualquier sistema de riego (ver cuadro 12 y 13).

Un pH por encima de 8.5 (alcalino) a menudo es causado por altas concentraciones de Bicarbonatos y Carbonatos. Altos contenidos de Carbonatos de Calcio y Magnesio provocan la formación de minerales insolubles dejando al sodio como el ión dominante en la solución. Esta agua alcalina podría intensificar las condiciones de los suelos sódicos.

2.6.2. Condiciones de Conductividad Eléctrica en agua de riego

La conductividad eléctrica (C.E) es un parámetro físico que está relacionado directamente con la salinidad del agua; es una medida indirecta de los sólidos totales disueltos en el agua de riego. El agua pura no conduce la corriente eléctrica; mientras mayor es el contenido de sólidos disueltos, más alto es su valor de la C. E.

2.6.3. Concentración de sales en el agua de riego

Baccaro *et al* (2006), citan que la concentración de las sales disueltas en el agua de riego varía durante su almacenamiento y transporte antes de llegar al punto de aplicación. Al ser aplicada al suelo, la concentración de las sales ocurre a una mayor rapidez por el efecto de la evaporación del agua desde la superficie del suelo y la transpiración de las plantas. Todas las aguas de irrigación contienen sales disueltas en cantidades variables. La calidad del agua está determinada por la presencia de algunos constituyentes de importancia en el ambiente y por la concentración total de todos ellos.

Al encontrarse en solución, las sales están separadas en aniones y cationes que finalmente serán las formas en que cada constituyente se determinará analíticamente para la clasificación de la calidad del agua.

El exceso de sales solubles perjudica el crecimiento de los cultivos, ya que dificulta la absorción de agua debido a un efecto de potencial osmótico. No sólo es importante la concentración de sales en el agua, sino también la composición de ésta en cuanto al tipo de cationes y aniones presentes.

Las aguas para riego pueden presentar cationes como calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Sodio (Na^+) y generalmente cantidades menores de potasio (K^+). Aniones como Cloruro (Cl^-), Bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{--}) y sulfato (SO_4^{--}). El exceso de Cl^- puede ser tóxico para algunas plantas, mientras que el HCO_3^- tiende a precipitar con los iones Ca^{++} y Mg^{++} , bajo la forma de CO_3^{--} . Esto resulta en un aumento de la concentración relativa de Na^+ intercambiable y en la dispersión del suelo.

2.6.4. La sodicidad en el agua de riego

Este criterio mide el efecto probable de Sodio sobre las propiedades físicas del suelo. Cuando el Sodio (Na^+) se encuentra presente en altas concentraciones en el agua de riego, y el calcio y el magnesio se precipitan en la solución del suelo por la acción de carbonatos y bicarbonatos, el Sodio (Na^+) se acumula y substituye al Calcio (Ca^{++}) y al Magnesio (Mg^{++}) en el intercambio de cationes, dando lugar a un desequilibrio eléctrico de las partículas coloidales del suelo debido al predominio de cargas negativas, las partículas se repelen, el suelo se deflocula (suelta) y pierde estructura, provocando menos entrada de oxígeno al suelo, con lo que en última estancia se afecta el desarrollo normal de los cultivos. Mass (1990) indicó que el Sodio en el agua de riego también puede causar problemas de toxicidad como quemaduras, para algunos cultivos, especialmente cuando se aplica por aspersión.

Levy (2000), afirma que aguas con un alto contenido de sodio, tienden a aumentar el nivel de sodio (Na^+) intercambiable en el suelo. Con estas condiciones, los suelos se dispersan, decreciendo la conductividad hidráulica o la permeabilidad, lo cual interfiere con el drenaje que a su vez altera el normal suministro de agua, y la aireación del suelo requerida para el crecimiento de los cultivos. Las aguas sódicas presentan el peligro adicional de que el lavado del suelo con agua de lluvia no es tan efectivo en desplazar el sodio como ocurre con las sales.

2.6.5. El cloruro en el agua de riego

El cloruro es un ion común en las aguas de riego y aunque el cloruro es esencial para las plantas en cantidades muy bajas, puede causar toxicidad para los cultivos sensibles a concentraciones elevadas. Al igual que el sodio, el cloruro en altas concentraciones puede causar mayores problemas al cultivo (quemaduras de hojas) cuando se aplica con riego por aspersión. Las quemaduras en las hojas bajo rociadores de sodio y cloruro pueden ser reducidas si el riego se efectúa por la noche (riego nocturno) o si se hace una aplicación en frío en días nublados (ver cuadro 14).

2.6.6. El Sulfato en el agua de riego

El ion sulfato es un importante contribuyente a la salinidad en muchas de las aguas de riego. Sin embargo, la toxicidad es rara vez un problema, excepto en concentraciones muy altas, donde el sulfato puede interferir con la absorción de otros nutrientes.

2.6.7. Concentración de metales pesados en el agua de riego (As)

El arsénico en el agua de riego representa una posible amenaza para los suelos y los cultivos, teniendo su impacto por efecto de la cadena alimentaria en general y, por consiguiente, la salud humana (Craig, 2004).

Moyano *et al* (2009), un equipo de investigadores de la Universidad de Valladolid (UVA) y del Instituto de Recursos Naturales y Agro biología de Salamanca (IRNASA-CSIC) demostraron que en las patatas regadas con aguas ricas en arsénico, este elemento aparece hasta 35 veces más que en los cultivos que no la utilizan. Los científicos también han confirmado el impacto que tiene el agua con alto contenido de arsénico sobre plantaciones de remolacha, zanahoria y trigo. A continuación se muestra una concentración de datos donde se establecen los límites de permisibilidad del agua de riego según diferentes autores (ver cuadro 11).

Cuadro 11. Límites máximos permisibles de calidad de agua de riego.

Parámetro	Unidades	Límites de permisibilidad		
		Mínima	Rango	Máxima
^a pH	pH		Cuadro 12-13	
^c pH	pH	6.5	6.5 – 8.5	8.5
^a Conductividad Eléctrica (C.E)	μS/cm	< 700	700 – 3000	3000
^b Conductividad Eléctrica (C.E)	μS/cm	< 750	750 – 2250	2250
^c Dureza total (Ca ⁺² + - Mg ⁺²)	ppm			148.78
^c Sodio (Na ⁺¹) - Superficial	ppm	< 69.76		69.76
^a - Aspersores	ppm	< 70		70
^c Carbonatos (CO ₃ ⁻²)	ppm			30.30
^c Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻¹) -Superficial	ppm			91.46
^a - Aspersión	ppm	90	90 – 500	500
^a Cloruros (Cl ⁻) -Superficial	ppm	< 140	140 – 350	350
^a - Aspersores	ppm	< 100		100
Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	ppm			
^a Sólidos Totales	ppm	< 450	450 – 2000	2000
^a Arsénico (As)	ppm			0.01 ¹

¹La toxicidad para las plantas varía ampliamente, entre los 12 mg/l para la especie *Sudan grass* y los 0,05 mg/l para el arroz.

Fuente: ^aMetcalf y Eddy (1995), ^bSilva, (2008), ^cNieto *et al* (2001)

Cuadro 12. Rangos óptimo del pH en el agua de riego para cultivos básicos

Cultivo	Rango de pH
Maíz	5.5 a 7.5
Trigo	5.5 a 7.5
Alfalfa	6.5 a 7.8
Avena	5.0 a 7.5

Fuente: Metcalf y Eddy (1995)

Cuadro 13. Efectos esperables en función del rango de pH.

Rango de pH	Denominación	Efectos esperables
< 4,5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables.
4,5-5,0	Muy fuertemente ácido	Posible toxicidad por Al y exceso de: Co, Cu, Fe, Mn, Zn.
5,1-5,5	Fuertemente ácido	Deficiencia de: Ca, K, N, Mg, Mo, P, S. Suelos sin carbonato cálcico. Actividad bacteriana escasa.
5,6-6,0	Medianamente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de cultivos.
6,1-6,5	Ligeramente ácido	Máxima disponibilidad de nutrientes.
6,5-7,3	Neutro	Mínimos efectos tóxicos (por debajo de pH = 7 el carbonato cálcico no es estable en el suelo).

Fuente: Metcalf y Eddy (1995)

Cuadro 14. Clasificación del agua de riego según el contenido de cloruros

Cloruro (ppm)	Efecto sobre los cultivos
Menos de 70	Generalmente seguro para todas las plantas.
70-140	Las plantas sensibles muestran lesiones.
141-350	Moderadamente plantas tolerantes a mostrar la lesión.
Por encima de 350	Puede causar problemas graves.

Fuente: Baunder, *et al* (2007)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevo a cabo en el ejido el Portento, Municipio de Villa Hidalgo, Durango, México en el mes de julio del 2008.

3.1. Descripción del área de estudio

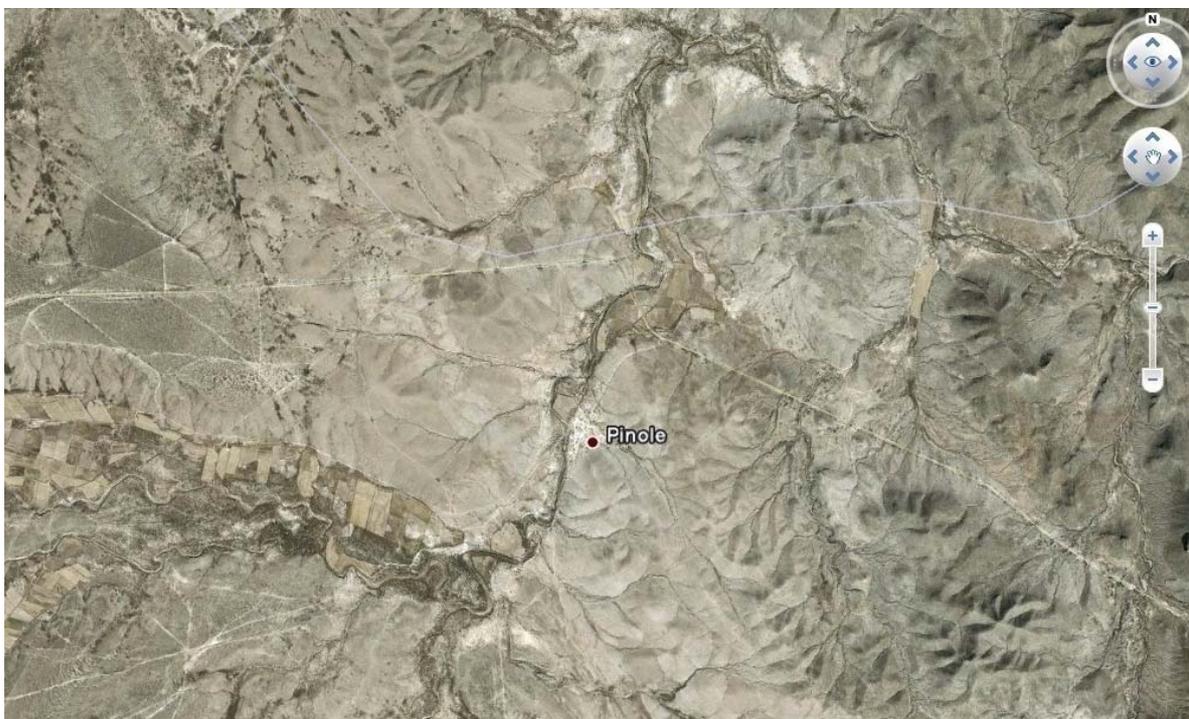
3.1.1. Localización

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.

3.1.2. Extensión territorial

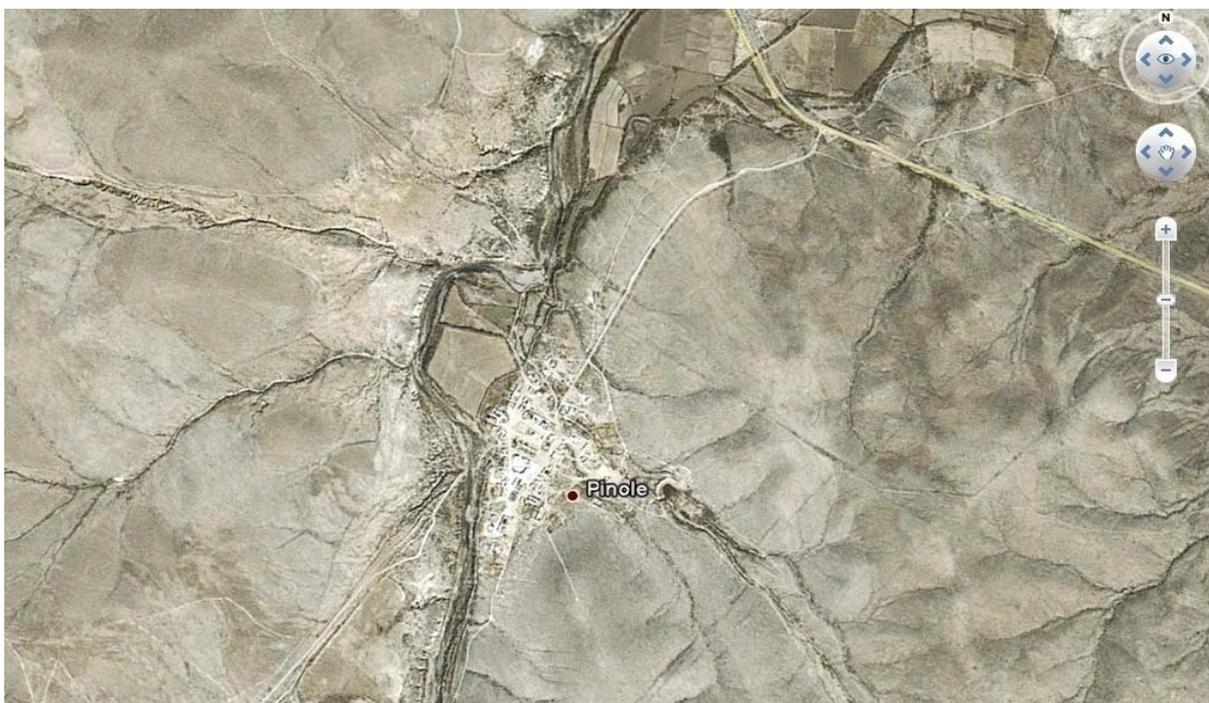
Su superficie es de 5,020.80 Km², su distancia de la cabecera municipal a la capital del estado es de 302 Km, (ver figura 23 y 24).

Figura 23. Localización del ejido El Portento, Municipio de Villa Hidalgo Durango.



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

Figura 24. Área de asentamiento humano del ejido del ejido El Portento.



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

3.1.3. 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 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.

3.1.4. 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.

3.1.5. 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 es 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.

3.2. Recolección de las muestras de agua

Una vez ubicados en el ejido El Portento, se prosiguió a la recolección de las muestras para su posterior análisis. Con el fin de facilitar su identificación de cada una de ellas se utilizaron los nombres con los cuales lo identificaban los vecinos de la comunidad.

3.2.1. Recolección de la muestra No. 1:

A esta muestra se le dio el nombre de “Agua proveniente de la llave del ejido El Portento”, el cual para su obtención únicamente se colocó el recipiente en la llave hasta obtener la cantidad deseada.

3.2.2. Recolección de la muestra No. 2:

Esta muestra lleva el nombre de “La Presa Nueva del Ejido “El Portento”, y para su obtención se sumergió el recipiente a una profundidad no mayor a los 20 cm hasta llenarse.

3.2.3. Recolección de la muestra No. 3:

A esta muestra se le dio el nombre de “El Ojo de Agua del Ejido El Portento” y por medio de una pala se perforó un pequeño pozo para después de unos minutos realizar la toma de la muestra.

3.2.4. Recolección de la muestra No. 4:

A esta siguiente muestra se le denominó “Agua proveniente del Papalote los Beceros del Ejido El Portento” y debido a que el agua de esta muestra es proveniente del subsuelo, se utilizó la intervención de una sonda para determinar la profundidad a la que se encontraba el agua, posteriormente se sujetó el recipiente y se introdujo a la profundidad previamente obtenida para la recolección de la muestra.

3.2.5. Recolección de la muestra No. 5:

Por último esta muestra llevo el nombre de, “Pozo rumbo a San Fermín del Ejido El Portento”, El cual para la recolección de esta muestra se utilizó el mismo procedimiento anterior.

Una vez recolectada cada una de las muestra los recipientes fueron sellados herméticamente con tapas de rosca y colocados en una área donde no contactara con la luz del sol, esto 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, perteneciente al mismo departamento, 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 5 muestras de agua fueron: pH, Conductividad eléctrica, dureza total ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$), Sodios (Na^{++}), Carbonatos ($\text{CO}_3^{=}$), Bicarbonatos (HCO_3^-), Cloruros (Cl^-), Sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$), sólidos totales y arsénico (As).

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 conductividad eléctrica (C.E)

Para el análisis de la conductividad eléctrica se utilizó el mismo principio de determinación del pH, ya que se realizo por medio del electrodo con que cuenta el conductímetro de la marca Thermo Orion modelo 420A.

3.3.1.3. Determinación de la dureza total del agua por medio de los cationes: Calcio (Ca^{++}) y Magnesio (Mg^{++}).

Las mediciones de Calcio y Magnesio se hicieron directamente en el Espectrómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer modelo 2380.

Cálculos:

$$\text{ppm Ca, Mg,} = (\text{Lectura del aparato}) (\text{Dilución})$$

3.3.1.4. Determinación de Sodio (Na⁺).

Las mediciones de Sodio se hicieron al igual que el calcio y magnesio directamente en el Espectrómetro de Absorción Atómica marca Perkin Elmer modelo 2380.

Cálculos:

$$\text{ppm de Na} = (\text{Lectura del aparato}) (\text{Dilución})$$

3.3.1.5. Determinación de aniones: Carbonatos (CO₃⁼), Bicarbonatos (HCO₃⁻), Cloruros (Cl⁻) y Sulfatos (SO₄⁼)

3.3.1.5.1. Método volumétrico para análisis de Carbonatos (CO₃⁼) y Bicarbonatos (HCO₃⁻)

Para llevar a cabo estos análisis se tomaron 3 mililitros de cada una de las muestras de agua y se colocó en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Se agregaron tres gotas de indicador fenolftaleína. Si el indicador colorea, la muestra se titula con HCl 0.1N hasta decolorarla. Este gasto corresponde a los carbonatos que la muestra contiene (HCl_f).

A continuación se agregaron 3 gotas indicador anaranjado de metilo y se titula con HCl 0.1 N hasta llegar a un color canela o naranja fuerte. Este gasto corresponde a los bicarbonatos contenidos en la muestra (HCl_a).

Si en la primera parte la fenolftaleína no colorea la muestra, se procede a hacer la titulación para el anaranjado de metilo.

Cálculos:

$$\text{ppm de CO}_3 = \frac{(\text{ml de HCL}_f)(\text{N de HCL})(\text{Meq CO}_3)(10^6)}{\text{ml de muestra}}$$

$$\text{ppm de HCO}_3 = \frac{(\text{ml de HCL}_a)(\text{N de HCL})(\text{Meq CO}_3)(10^6)}{\text{ml de muestra}}$$

3.3.1.5.2. Método volumétrico para la determinación de Cloruros (Cl⁻)

Se tomaron 3 mililitros de cada muestra de agua y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Se agregaron tres gotas de indicador de cromato de potasio. Después se titula con nitrato de plata al 0.1 N hasta que cambie de color de amarillo a rojo ladrillo.

Cálculos:

$$\text{ppm de Cl}^- = \frac{(\text{ml de Nitrato de Plata})(\text{N. de Nitrato de Plata})(\text{Meq de CL})(10^6)}{\text{ml de la muestra}}$$

3.3.1.5.3. Determinación de Sulfatos (SO₄²⁻) por Turbidimetría utilizando el Espectrofotómetro.

Se colocaron 10 ml de la muestra de agua en un matraz Erlenmeyer de 50 ml, se añadió 1 ml de la solución acida acondicionadora (300 ml de agua destilada, 100 ml de alcohol etílico, 30 ml de HCL concentrado, 75 g de cloruro de sodio y 50 ml de glicerina), se mezcló bien y se agregaron 0.5 g de BaCl₂ · 2H₂O, se agitó durante un minuto, y después se transfirió la muestra a una celda de 1 cm. Posteriormente se realizó la lectura de la absorbencia en el espectrofotómetro marca Merck Modelo SQ118 a una longitud de onda de 405 nm. Simultáneamente se corre un blanco y construye una curva de calibración (ver figura 25).

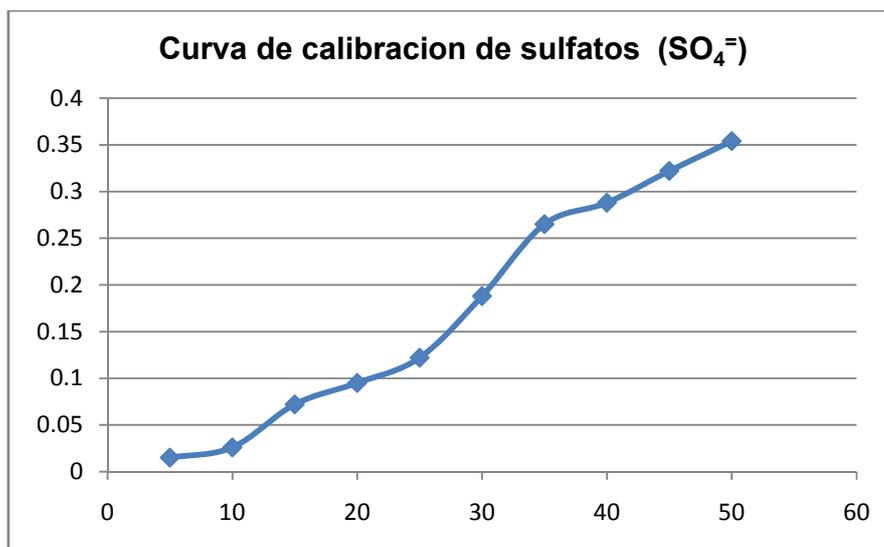


Figura 25. Curva de calibración de SO₄.

Cálculos:

En caso de utilizar disoluciones, se multiplica por el factor de dilución correspondiente.

$$\text{Meq./L de SO}_4 = \frac{(\text{ppm})(\text{Dilución})}{\text{PE de SO}_4}$$

Meq: peso equivalente del ion sulfato (SO₄) = 48.0 g

3.3.1.6. Determinación de sólidos totales por el método gravimétrico

Se llevo a peso constante un crisol de porcelana posteriormente se tomaron 10 ml de la muestra de agua y se agregaron al crisol previamente pesado. En una parrilla de calentamiento se coloco el crisol con la muestra hasta sequedad. Se dejo enfriar completamente el crisol y se obtuvo el peso constante de este para posteriormente determinarlo por diferencia de peso, los sólidos totales en gramos y consecuentemente en ppm.

3.3.1.7. Determinación de Arsénico (As)

El test de arsénico Merckoquant[®] 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 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.

3.3.1.7.1. 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.

3.4. Obtención de caudales de agua

El caudal de agua para este ejido se llevo a cabo en dos rubros los cuales fueron:

3.4.1. Obtención del caudal del arroyo en el ejido El Portento, en su etapa crítica por el método volumétrico

Para este caso se tomaron dos puntos donde se obtuvieron los caudales y se realizó por medio del método de aforo volumétrico; para el cual primeramente con la ayuda de una pala se hizo una pequeña represa y se colocó un tubo de una forma totalmente horizontal de tal manera que permitiera colocar el recipiente con capacidad de 20 litros con facilidad y tomar el tiempo de llenado con la ayuda de un cronómetro, para posteriormente calcular el caudal del arroyo. Para obtener una medida más exacta se repitió los tiempos de llenado del recipiente por 20 veces.

Fórmula para calcular el gasto:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde: Q = Gasto (l/s)

V = Volumen conocido (l)

t = Tiempo de llenado del volumen conocido (s)

3.4.2. Obtención del caudal del canal de riego del ejido El Portento, por el método del flotador (Corcho)

Para el cálculo del volumen de esta afluente, primeramente se establecieron 4 puntos en el canal de riego, donde se obtuvieron los caudales, posteriormente se tomó un objeto de peso constante y se marcaron dos puntos sobre la misma línea del canal

con una longitud de 5 metros. El procedimiento consistió en soltar el objeto en el punto de inicio y tomar el tiempo que tarda en llegar al punto final para calcular así la velocidad del agua, con el fin de obtener el mínimo error este procedimiento se repitió por 15 veces. Una vez hecho lo anterior con la ayuda de una regla se midió la base y la altura del perímetro mojado para obtener el área del caudal ya que este dato se utilizó posteriormente para el cálculo del gasto.

Fórmula para calcular el área del canal (rectangular).

$$A = (b)(h)$$

Donde: A = Área

b = Base del canal

h = Altura de la base del canal al espejo del agua

Fórmula para calcular velocidad.

$$V = \frac{d}{t}$$

Donde: V = Velocidad del agua

d = Distancia donde se tomo el tiempo de recorrido

t = Tiempo promedio que tardo de recorrer los 5 metros.

Fórmula para calcular el gasto del canal

$$Q = (A)(V)$$

Donde: Q = Gasto del canal

A = Área del canal

V = Velocidad constante en 5 metros

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente trabajo en donde se evaluaron características físico-químicas del agua por medio de análisis químicos, caudales en las afluentes del arroyo y del canal de riego del ejido fueron los siguientes.

4.1. Resultados de los análisis químicos de las muestras de agua

4.1.1. Comparación de los resultados con los LMP de agua para consumo humano.

De acuerdo a los resultados obtenidos y comparando con la Norma Oficial del Agua para consumo humano NOM-127-SSA-1994 citada por García, 1998 se dictamina lo siguiente (ver cuadro 15-19).

Cuadro 15. Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua proveniente de la llave que se encuentra ubicado en el área de asentamiento humano, del ejido El Portento, Municipio de Hidalgo Durango, comparado con los LMP de agua para consumo humano.

Parámetros	Unidades	Resultado del análisis químico	Límite Máximo Permisible para consumo humano
pH	pH	7.87	6.5-8.5
Conductividad Eléctrica	$\mu\text{S/cm}$	4740	1200
Dureza Total (Ca + Mg)	Ppm	160	500
Sodio	Ppm	888	200
Carbonatos	Ppm	30	-
Bicarbonatos	Ppm	128	-
Cloruros	Ppm	142	250
Sulfatos	Ppm	1673	400
Sólidos Totales	Ppm	3980	1000
Arsénico	Ppm	0.1	0.01

De los 10 parámetros analizados en esta muestra en cuestión de pH, dureza total (Ca + Mg) y cloruros no se encontró ningún problema, ya que sus valores se encontraron por debajo de los Límites Máximos Permisibles para agua de consumo

humano. A diferencia de la conductividad eléctrica, sodio, sulfatos, sólidos totales y arsénico que rebasaron considerablemente el rango de permisibilidad.

Referente a la conductividad eléctrica la cifra del resultado de análisis es tres veces mayor al LMP, por lo que es importante hacer énfasis en este parámetro. Otro parámetro de alta toxicidad que se encuentra dentro de los metales pasados es el arsénico que también rebasa el LMP.

Con respecto a los carbonatos y bicarbonatos no se pueden hacer comentarios ya que no se encontraron rangos permisibles para estos parámetros.

Cuadro 16. Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua tomada de la cortina de la “Presa Nueva” del ejido El Portento, comparado con los LMP de agua para consumo humano.

Parámetros	Unidades	Resultado del análisis químico	Límite Máximo Permisible para consumo humano
pH	pH	7.49	6.5-8.5
Conductividad Eléctrica	µS/cm	3320	1200
Dureza Total (Ca + Mg)	Ppm	177	500
Sodio	Ppm	524	200
Carbonatos	Ppm	12	-
Bicarbonatos	Ppm	146	-
Cloruros	Ppm	113	250
Sulfatos	Ppm	1183.2	400
Sólidos Totales	Ppm	2950	1000
Arsénico	Ppm	0.1	0.01

De los 10 parámetros analizados en esta muestra, los valores de pH, Dureza total (Ca + Mg) y cloruros están por debajo de los LMP. A diferencia de los resultados de la conductividad eléctrica, sodio, sulfatos, sólidos totales y arsénico que sus resultados rebasaron los LMP para agua de consumo humano.

Cuadro 17. Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua proveniente del arrollo el “Ojo de Agua” en ejido El Portento Municipio de Hidalgo Durango, comparado con los LMP de agua para consumo humano.

Parámetros	Unidades	Resultado del análisis químico	Límite Máximo Permisible para consumo humano
pH	pH	7.79	6.5-8.5
Conductividad Eléctrica	µS/cm	2430	1200
Dureza Total (Ca + Mg)	Ppm	156	500
Sodio	Ppm	357	200
Carbonatos	Ppm	18	-
Bicarbonatos	Ppm	159	-
Cloruros	Ppm	78	250
Sulfatos	Ppm	873.2	400
Sólidos Totales	Ppm	2160	1000
Arsénico	Ppm	0.1	0.01

De los 10 parámetros analizados en esta muestra, los valores de pH, Dureza total (Ca + Mg) y cloruros, al igual que la muestra anterior, sus cifras se encontraron por debajo de los LMP. A diferencia la conductividad eléctrica, sodio, sulfatos, sólidos totales y arsénico que sus resultados rebasaron los LMP para consumo humano.

Cuadro 18. Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua proveniente del subsuelo a una profundidad de 36 m a partir de la superficie del suelo, denominado como el “Papalote los Becerros” del ejido El Portento, Municipio de Hidalgo Durango, comparado con los LMP de agua para consumo humano.

Parámetros	Unidades	Resultado del análisis químico	Límite Máximo Permisible para consumo humano
pH	pH	8.06	6.5-8.5
Conductividad Eléctrica	µS/cm	799	1200
Dureza Total (Ca + Mg)	Ppm	23	500
Sodio	Ppm	147	200
Carbonatos	Ppm	24	-
Bicarbonatos	Ppm	110	-
Cloruros	Ppm	57	250
Sulfatos	Ppm	69	400
Sólidos Totales	Ppm	510	1000
Arsénico	Ppm	0	0.01

De los 10 parámetros analizados en esta muestra, todos los valores obtenidos en el análisis se encontraron por debajo del los LMP para agua de consumo humano.

Cuadro 19. Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua proveniente del subsuelo a una profundidad de 34.5 m y conocida como del “Pozo rumbo a San Fermín” del ejido El Portento, Municipio de Hidalgo Durango, comparado con los LMP de agua para consumo humano.

Parámetros	Unidades	Resultado del análisis químico	Límite Máximo Permisible para consumo humano
pH	pH	7.88	6.5-8.5
Conductividad Eléctrica	µS/cm	1744	1200
Dureza Total (Ca + Mg)	Ppm	45	500
Sodio	Ppm	346	200
Carbonatos	Ppm	24	-
Bicarbonatos	Ppm	146	-
Cloruros	Ppm	85	250
Sulfatos	Ppm	390.2	400
Sólidos Totales	Ppm	1110	1000
Arsénico	Ppm	0	0.01

De los 10 parámetros analizados en esta muestra, los valores de pH, Dureza total (Ca + Mg), cloruros, sulfatos y arsénico se encontraron por debajo de los LMP y únicamente la conductividad eléctrica, sodio y sólidos totales, sus cifras rebasaron los LMP para consumo humano.

4.1.2. Comparación de los resultados con los LP para agua de riego

De acuerdo a los resultados obtenidos y comparando con los Límites de Permisibilidad (LP) citada por Metcalf y Eddy, (1995); Silva, (2008); y Nieto, (2001) se dictamina lo siguiente (ver cuadro 20-24).

Cuadro 20. Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua proveniente de la llave que se encuentra ubicado en el área de asentamiento humano, del ejido El Portento, Municipio de Hidalgo Durango, comparados con los límites de permisibilidad para agua de riego.

Parámetros	Unidades	Resultado del análisis químico	Límites de permisibilidad	
			Mínima	Máxima
pH	pH	7.87	6.5	8.5
Conductividad Eléctrica	μS/cm	4740	<700	3000
Dureza Total (Ca + Mg)	Ppm	160		148.78
Sodio	Ppm	888	S < 69.76 A < 70	69.76 70
Carbonatos	Ppm	30		30.30
Bicarbonatos	Ppm	128	S A 90	91.46 500
Cloruros	Ppm	142	S < 140 A < 100	350 100
Sulfatos	Ppm	1673		
Sólidos Totales	Ppm	3980	< 450	2000
Arsénico	Ppm	0.1		0.01

S = Agua para riego superficial A = Agua para riego por aspersión

Cuadro 21. Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua tomada de la cortina de la “Presa Nueva” del ejido El Portento, comparados con los límites de permisibilidad para agua de riego.

Parámetros	Unidades	Resultado del análisis químico	Límites de permisibilidad	
			Mínima	Máxima
pH	pH	7.49	6.5	8.5
Conductividad Eléctrica	μS/cm	3320	<700	3000
Dureza Total (Ca + Mg)	Ppm	177		148.78
Sodio	Ppm	524	S < 69.76 A < 70	69.76 70
Carbonatos	Ppm	12		30.30
Bicarbonatos	Ppm	146	S A 90	91.46 500
Cloruros	Ppm	113	S < 140 A < 100	350 100
Sulfatos	Ppm	1183.2		
Sólidos Totales	Ppm	2950	< 450	2000
Arsénico	Ppm	0.1		0.01

S = Agua para riego superficial A = Agua para riego por aspersión

Cuadro 22. Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua proveniente del arrollo el “Ojo de Agua” en ejido El Portento Municipio de Hidalgo Durango, comparados con los límites de permisibilidad para agua de riego.

Parámetros	Unidades	Resultado del análisis químico	Límites de permisibilidad	
			Mínima	Máxima
pH	pH	7.79	6.5	8.5
Conductividad Eléctrica	µS/cm	2430	<700	3000
Dureza Total (Ca + Mg)	Ppm	156		148.78
Sodio	Ppm	357	S < 69.76 A < 70	69.76 70
Carbonatos	ppm	18		30.30
Bicarbonatos	ppm	159	S	91.46
			A 90	500
Cloruros	ppm	78	S < 140 A < 100	350 100
Sulfatos	ppm	873.2		
Sólidos Totales	ppm	2160	< 450	2000
Arsénico	ppm	0.1		0.01

S = Agua para riego superficial A = Agua para riego por aspersión

Cuadro 23. Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua proveniente del subsuelo a una profundidad de 36 m a partir de la superficie del suelo, denominado como el “Papalote los Beceros” del ejido El Portento, Municipio de Hidalgo Durango, comparados con los límites de permisibilidad para agua de riego.

Parámetros	Unidades	Resultado del análisis químico	Límites de permisibilidad	
			Mínima	Máxima
pH	pH	8.06	6.5	8.5
Conductividad Eléctrica	µS/cm	799	<700	3000
Dureza Total (Ca + Mg)	ppm	23		148.78
Sodio	ppm	147	S < 69.76 A < 70	69.76 70
Carbonatos	ppm	24		30.30
Bicarbonatos	ppm	110	S	91.46
			A 90	500
Cloruros	ppm	57	S < 140 A < 100	350 100
Sulfatos	ppm	69		
Sólidos Totales	ppm	510	< 450	2000
Arsénico	ppm	0		0.01

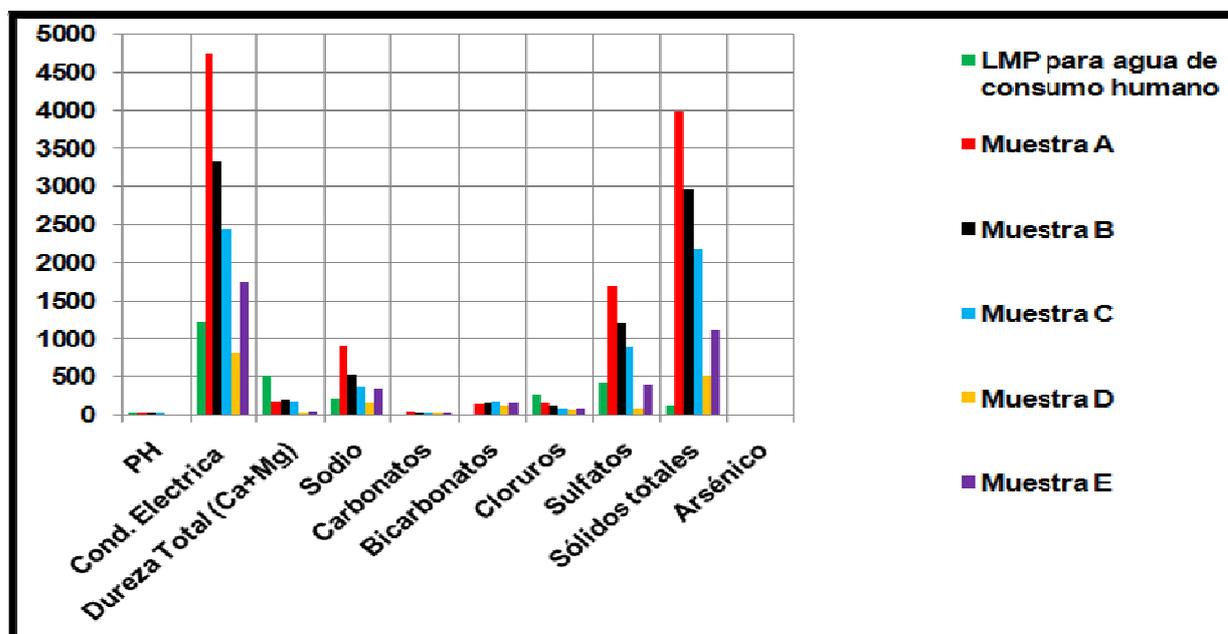
S = Agua para riego superficial A = Agua para riego por aspersión

Cuadro 24. Resultados de los análisis químicos, de la muestra de agua proveniente del subsuelo a una profundidad de 34.5 m y conocida como del “Pozo rumbo a San Fermín” del ejido El Portento, Municipio de Hidalgo Durango, comparados con los límites de permisibilidad para agua de riego.

Parámetros	Unidades	Resultado del análisis químico	Límites de permisibilidad	
			Mínima	Máxima
pH	pH	7.88	6.5	8.5
Conductividad Eléctrica	μS/cm	1744	<700	3000
Dureza Total (Ca + Mg)	ppm	45		148.78
Sodio	ppm	346	S < 69.76 A < 70	69.76 70
Carbonatos	ppm	24		30.30
Bicarbonatos	ppm	146	S A 90	91.46 500
Cloruros	ppm	85	S < 140 A < 100	350 100
Sulfatos	ppm	390.2		
Sólidos Totales	ppm	1110	< 450	2000
Arsénico	ppm	0		0.01

S = Agua para riego superficial A = Agua para riego por aspersión

En la figura 26 se observa como la muestra **A**, es agua altamente peligrosa para el uso humano, animal y agrícola ya que rebasa considerablemente y en la mayoría de los parámetros el Límite Máximo Permisible (LMP).



A Muestra proveniente de la llave en el área de asentamiento humano; B Muestra proveniente de una cortina de agua denominada la “Presa Nueva”; C Muestra proveniente del arrollo el “Ojo de Agua”; D Muestra proveniente del subsuelo denominado como el “Papalote los Beceros”; E muestra proveniente del subsuelo y conocida como del “pozo rumbo a San Fermín”.

Figura 26. Grafica de interpretación de resultados obtenidos en los análisis químicos de las muestras de agua.

4.2. Resultados de caudales obtenidos en el canal de riego del ejido El Portento

4.2.1. Gasto obtenido al inicio del canal (Q_1)

Cuadro 25. Repeticiones del tiempo "t" de llenado del aforador, para la obtención del gasto 1 (Q_1) en el canal del ejido.

Repeticiones	Tiempo de recorrido (s)	
1	11,70	Base del canal (m) = 0,8
2	11,05	Altura del canal (m) = 0,047
3	11,20	
4	11,17	Calculo del área del canal
5	11,04	Área (m ²) = 0,0376
6	11,42	Distancia (m) = 5
7	11,65	Media del "t" (s) = 11,3935
8	11,67	
9	11,50	Calculo de velocidad
10	11,39	V (m/s)= 0,4388467
11	11,73	
12	11,29	Calculo del gasto de salida
13	11,58	Q_1 (m ³ /s) = 0,0165006
14	11,28	Q_1 (l/s) = 16,500636
15	10,84	Q_1 (l/h) = 59402,291
16	11,41	
17	11,60	
18	11,30	
19	11,88	
20	11,17	
$\Sigma =$		227,87
Media de "t" =		11,3935

El volumen de agua que descarga la presa nueva hacia el canal del ejido El Portento es de **16,500636 l/s**.

4.2.2. Gasto obtenido a 711 m a partir del punto inicial (Q₂)

Cuadro 26. Repeticiones del tiempo "t" de llenado del aforador, para la obtención del gasto 2 (Q₂) en el canal del ejido.

Repeticiones	Tiempo de recorrido (s)	
1	66,00	Base del canal (m) = 0,8
2	67,80	Altura del canal (m) = 0,26
3	69,60	
4	76,80	Calculo del área del canal
5	1080	Área (m ²) = 0,208
6	73,80	Distancia (m) = 5
7	80,40	Media del "t" (s) = 78,06
8	77,40	
9	82,80	Calculo de velocidad
10	78,00	V (m/s)= 0,0640533
11	66,00	
12	67,80	Calculo del gasto de salida
13	69,60	Q ₂ (m ³ /s) = 0,0133231
14	76,80	Q ₂ (l/s) = 13,323085
15	108,0	Q ₂ (l/h) = 47963,105
16	73,80	
17	80,40	
18	77,40	
19	82,80	
20	78,00	
Σ = 1561,2		
Media de "t" = 78,06		

El gasto 2 se obtuvo a una distancia de 711 m, a partir del punto inicial y presenta una pérdida del 19.26% ya que únicamente descarga el 80.74% de un total de 16.50 l/s, este porcentaje de pérdida representa a 3.18 l/s que se pierden a lo largo de su trayectoria debido a la evaporación, la pérdida por evapotranspiración y infiltración son mínimas en esta parte, ya que es el único tramo de canal que se encuentra revestido con concreto. Calculando la pérdida de agua en secciones de 20 m de canal revestido, obtuvimos que se pierden 0.09 l/s de agua.

4.2.3. Gasto obtenido a 1,362 m a partir del punto inicial (Q₃)

Cuadro 27. Repeticiones del tiempo "t" de llenado del aforador, para la obtención del gasto 3 (Q₃) en el canal del ejido.

Repeticiones	Tiempo de recorrido (s)	
1	25,43	Base del canal (m) = 0,8
2	24,06	Altura del canal (m) = 0,05
3	25,03	
4	25,78	Calculo del área del canal
5	23,62	Área (m ²) = 0,04
6	24,25	Distancia (m) = 5
7	24,45	Media del "t" (s) = 24,269
8	23,56	
9	25,46	Calculo de velocidad
10	23,85	V (m/s)= 0,2060241
11	24,25	
12	24,01	Calculo del gasto de salida
13	25,50	Q ₃ (m ³ /s) = 0,008241
14	25,16	Q ₃ (l/s) = 8,2409658
15	23,64	Q ₃ (l/h) = 29667,477
16	23,54	
17	23,33	
18	23,62	
19	23,15	
20	23,69	
Σ = 485,38		
Media de "t" = 24,269		

El gasto tres (Q₃) se obtuvo a 1,362 m a partir del punto inicial y únicamente descarga el 49.94% (8.24 l/s) de un total de 16.50 l/s. La distancia que existe entre del Q₂ al Q₃ es de 651 m y presenta una pérdida del 30.80% a lo largo de esta trayectoria, está pérdida equivale a 5.08 l/s. Seccionando el canal en fracciones de 20 m obtuvimos que existe una perdida por evaporación, infiltración y evapotranspiración de 0.16 l/s de agua por cada tramo, lo que justifica la importancia de recubrir un canal.

4.2.4. Gasto obtenido a 1,474.4 m a partir del punto inicial(Q₄)

Cuadro 28. Repeticiones del tiempo "t" de llenado del aforador, para la obtención del gasto 4 (Q₄) en el canal del ejido.

Repeticiones	Tiempo de recorrido (s)	
1	15,66	Base del canal (m) = 0,8
2	16,33	Altura del canal (m) = 0,03
3	15,81	
4	15,30	Calculo del área del canal
5	15,56	Área (m ²) = 0,024
6	15,40	Distancia (m) = 5
7	15,78	Media del "t" (s) = 15,773
8	15,59	
9	15,45	Calculo de velocidad
10	15,28	V (m/s)= 0,3169974
11	16,00	
12	15,96	Calculo del gasto de salida
13	15,80	Q ₄ (m ³ /s) = 0,0076079
14	16,89	Q ₄ (l/s) = 7,6170376
15	16,38	Q ₄ (l/h) = 27388,575
16	15,79	
17	15,42	
18	15,98	
19	15,40	
20	15,68	
Σ =	315,46	
Media de "t" =	15,773	

En el ultimo gasto calculado (Q₄) se obtuvo una descarga de 7.61 l/s, lo que significa que del Q_o al Q_f y a lo largo de toda la trayectoria del canal, incluyendo las pérdidas que se presentaron en el tramo de canal revestido, existe una pérdida del 53.89% (8.89 l/s). Esto quiere decir que se pierde más de la mitad del total de agua que le entra al canal en un tramo de 1474.4 metros de longitud. Al dividir el canal en tramos de 20 m este presentó pérdidas de 0.11 l/s en cada sección.

Comparando las diferentes pérdidas que se presenta el canal a lo largo de toda su trayectoria en las tres secciones, podemos aclarar que en los primeros 711 m de longitud del canal, presenta una pérdida de 0.09 l/s por cada sección de 20 m de canal revestido, a diferencia del segundo tramo con 651 m que presenta una pérdida de 0.16 l/s por cada secciones de 20 metros pero con la diferencia que a partir de este punto el canal no se encuentra revestido. El último tramo de 112.4 m presenta una pérdida de 0.11 l/s por cada sección de 20 m. Como podemos ver existe una gran diferencia de pérdida de agua por cada sección de 20 m de canal revestido y canal no revestido.

4.3. Resultados de caudales obtenidos en el arroyo del ejido El Portento

4.3.1. Gasto obtenido del arroyo en el punto inicial establecido(Q_1)

Cuadro 29. Repeticiones del tiempo "t" de llenado del aforador, para la obtención del gasto 1 (Q_1) en el arroyo del ejido.

Repeticiones	Tiempo de recorrido (s)
1	22,37
2	22,65
3	22,76
4	22,44
5	22,52
6	22,86
7	22,53
8	22,67
9	22,51
10	22,39
11	22,02
12	22,70
13	22,85
14	22,57
15	22,96
16	22,09
17	22,54
18	22,48
19	22,53
20	22,71
$\Sigma =$	451,15
Media de "t" =	22,5575

Datos

Vol. conocido (m^3) = 0,001

Media del "t" (s) = 22,5575

Calculo del gasto de salida

Q_1 (m^3/s) = 0,000886623

Q_1 (l/s) = 0,886623074

Q_1 (l/h) = 3191,843068

4.3.2. Gasto obtenido a 100 m del punto inicial del arroyo (Q_2)

Cuadro 30. Repeticiones del tiempo "t" de llenado del aforador, para la obtención del gasto 2 (Q_2) en el arroyo del ejido.

Repeticiones	Tiempo de recorrido (s)
1	5,32
2	5,44
3	5,68
4	5,29
5	5,21
6	5,32
7	5,44
8	5,19
9	5,23
10	5,38
11	5,10
12	5,21
13	5,09
14	5,06
15	4,92
16	4,78
17	4,90
18	5,10
19	4,98
20	4,66
$\Sigma =$	103,3
Media de "t" =	5,165

Datos

Vol. conocido (m^3) = 0,001

Media del "t" (s) = 5,165

Calculo del gasto de salida

Q_2 (m^3/s) = 0,00019361

Q_2 (l/s) = 0,19361084

Q_2 (l/h) = 696,999031

El arroyo del ejido presenta un caudal promedio de 0.54 l/s en su etapa crítica.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los diez parámetros analizados en las cinco muestras de agua y comparando los datos que se obtuvieron en el análisis químico, con los rangos establecidos en la NOM-127-SSA-1994, se llegó a la conclusión que las aguas superficiales del ejido el Portento Municipio de Hidalgo Durango se encuentran más contaminadas en cuestión de metales tóxicos como arsénico (As) y además son de menor calidad, a diferencia de las aguas del subsuelo, ya que las agua provenientes del manto freático obtuvieron los valores más bajos en los parámetros analizados, tal es el caso de la muestra proveniente del subsuelo denominado como el “Papalote los Becerros” en las que todas las cifras de sus parámetros se encontraron por debajo de los Límites Máximos Permisibles del agua para consumo humano.

Lo que se refiere a las pérdidas de agua por evaporación, infiltración y evapotranspiración que presenta el canal del ejido, se llega a la conclusión que es importante revestir el resto del canal, ya que en los 1474.4 m de longitud que tiene el canal se pierde el 53.89% del total de agua que le entra, teniendo los mayores disipaciones en la parte de canal no revestido.

El arroyo del ejido presenta un caudal promedio de 0.54 l/s en su etapa crítica, volumen que desde el punto de vista técnico es insuficiente para establecer un cultivo extensivo.

Comparando las hipótesis planteadas con los resultados obtenidos se concluye que estas son aceptadas ya que fueron comprobadas científicamente por los métodos correspondientes.

Recomendaciones:

- Recomendaciones para agua de consumo humano:
 - Implementar un sistema de purificación por “**Osmosis inversa**” al agua que consumen actualmente ó
 - Cambiar la fuente de abastecimiento por una fuente proveniente del subsuelo (acuífero) ya que según los análisis son las que se encuentran menos contaminadas en cuestión de sales y arsénico (As).

- Recomendaciones para agua de riego
 - Debido a la poca disponibilidad y calidad del agua en el ejido no es conveniente establecer el cultivo de alfalfa ya que presenta una lámina de riego de 1m.
 - Por el alto contenido de sales en el agua, por efecto del mismo y principalmente del sodio, se afectara el pH y la estructura del suelo por lo que es conveniente aplicar fertilizantes ácidos o incorporar materia orgánica.
 - Debido al alto contenido de bicarbonatos presentes en el agua, no es conveniente implementar un sistema de riego por aspersion ya que causaría problemas de quemado foliar.

6. LITERATURA CITADA

1. Alba, E., y Eugenia, R. M. (2007)¹. Parte 1; El país, contexto físico. 1.3 Recursos hídrico pp.7. Consultado el 6 de mayo del 2008, en http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/estrategia_nacional/doctos/estudiodepais/CAP2_Contexto_socioeconomico.pdf.
2. Alba, E., y Eugenia, R. M. (2007)². Contexto socioeconómico: 2.6.3 Agua pp. 56. Consultado el 9 de mayo del 2008, en http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/estrategia_nacional/doctos/estudiodepais/CAP2_Contexto_socioeconomico.pdf.
3. Baccaro, K., Degorgue, M., Lucca, M., Picone, L., Zamuner, E., Andreoli, Y. (2006). Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de mar de plata. INTA, Argentina. Consultado el 16 de julio del 2008 en http://www.inta.gov.ar/ediciones/ria/35_3/07_.pdf
4. Baunder, T. A., Waskom, R. M., y Davis, J. G., (2007). Irrigation Water Quality Criteria. Colorado State University, U.S. Department of Agriculture, and Colorado counties cooperating. CSU Extension programs are available to all without discrimination. No endorsement of products mentioned is intended nor is criticism implied of products not mentioned. Consulted in <http://www.ext.colostate.edu/PUBS/crops/00506.html>
5. Becerra, P. M., Muños, P. C., Sainz, S. J., (2006). los conflictos por agua en México. Diagnostico y análisis. *Gestión y política Pública*, primer semestre, Vol. XV. No. 001. Centro de Investigación y Docencia Económicas. México, D.F. Consultado el 14 de octubre en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/133/13315104.pdf>.
6. Borbolla Sala, M. E., Cruz, V. L., Piña, G. O., Fuente, G. J y Garrido, P. S., (2003). Calidad del agua en Tabasco. Salud en tabasco, abril/vol.9, Numero 001. Secretaria de Salud del Estado de Tabasco Villahermosa, México. Pp.170-177. Consultado el 3 de noviembre del 2008 en <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/487/48709106.pdf>.
7. Bucher, E., Castro, G. y Floris, V., (1997). Conservación de ecosistemas de agua dulce: Hacia una estrategia de manejo integrado de recursos hídricos. Washington, D. C. No. ENV-114. Consultado el 25 de abril del 2008, en <http://www.ongdclm.org/PUBLICACIONES%20DIGITALES/geografia%20medio%20ambiente/Fe04/Feb042.pdf>.
8. CMIH* (2006). Contexto geográfico y socioeconómico (*Centro Mexicano de Investigaciones Hidroagrícolas). Callejón de las flores No. 8 San Luis Huexotla C.P 56220. Estado de México consultado el 4 de abril del 2008 en <http://www.cmih.org.mx/pdfs/cap1.pdf>.

9. CONAGUA (1944)¹. Comisión Nacional del Agua Consultado el 21 de mayo del 2008 en http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/naturaleza/estadistica-am/informe/acrobat/capitulo2-1-3.pdf.
10. CONAGUA (2004). Anexo B: El agua en México. Las regiones hidrológico-administrativas. Consultado el 21 de junio en http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lec/fernandez_r_r/apendiceB.pdf.
11. Craig Meisner, (2004). International Maize and Wheat Improvement Center. CIMMYT. Arcenico y Agricultura; La intoxicación masiva más grande. http://www.cimmyt.org/spanish/docs/ann_report/recent/health/arsenic.htm
12. DOF (2001). Diario Oficial de la Federación. Aguas subterráneas.
13. El Siglo de Torreón (2004). Poderosos ríos mexicanos. Consultado el 13 de mayo del 2008, en <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/sup/teco/11/50/11teco5004.pdf>.
14. García Villa, J. A., (1998). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1994. Agua para uso y consumo humano. Límites máximos permisibles de la calidad de agua, control y vigilancia de los sistemas de abastecimiento. Consultado el 5 de junio del 2008 en <http://www.aneas.com.mx/contenido/nom.pdf>.
15. Gobierno del estado de Durango y el Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal (INAFED). (2008). División política: Municipios. Consultado el 13 de octubre en <http://www.durango.gob.mx/site/principal.html>.
16. IBNORCA (Norma Boliviana) NB-512. (1998). Calidad de agua potable para consumo humano-requisitos. Introducción. Pp.1-4. consultado el 2 de noviembre del 2008 en <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/e/normas2/Norma-Bol.pdf>.
17. INEGI (2008). 1. Aspectos geográficos. Dirección general de geografía. Carta Topográfica 1: 50 000. Consultado el 24 de febrero del 2008 en http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/aepef/2000/aspgeo.pdf.
18. ISGWAS (2006). La importancia de las aguas subterráneas en el mundo “Una llamada a la acción para su uso, gestión y desarrollo responsable” Simposio Internacional para el Uso Sostenible de las Aguas Subterráneas. Declaración de Alicante es la agenda de acción resultado de los debates celebrados en el marco del que tuvo lugar en Alicante, España, los días 23-27 enero del 2006. Consultado el 25 de abril del 2008, en <http://www.google.com.mx/search?hl=es&q=El++agua++dulce++y++su+importancia++en+el++Mundo+PDF&meta>.
19. La CNA y la SEMARNAT (2008). La distribución de la lluvia en México². Consultado el 13 de mayo del 2008, en http://www.prosoc.df.gob.mx/launidad/numero_32/breviario.html.

20. Levi, G. J., (2000). Sumner M. E. (Ed.). Handbook of Soil Science, CRC Press, Boca Raton, FL. Sodicity. p. G-27:G55.
21. Luege, T. J. L.¹, (2007). Estadística del agua en México. Comisión nacional del agua (CONAGUA); secretaria de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT). ¹ Director General de la Comisión Nacional del Agua. México, D.F. consultado el 14 de septiembre en http://www.paot.org.mx/centro/boletin/agosto/estadisticas_agua_mexico_07.pdf.
22. Martínez, L. R. (2008). Información para el diseño de la política hídrica de México; Reunión Nacional de Estadísticas Aguascalientes, Ags. CONAGUA: Comisión Nacional del Agua. Consultado el 15 de de junio en <http://www.inegi.gob.mx/rne/docs/Pdfs/Mesa3/20/RicardoMartinez.pdf>.
23. Mass (1990), Agricultural Assessment and Management Manual. KK Tanji (ed.). En: Agricultura de Evaluación y Gestión Manual. Tanji KK (ed.). ASCE, New York. ASCE, Nueva York. pp. pp. 262-304. 262-304.
24. Metcalf y Eddy, (1995). Rangos de calidad de agua de riego que fueron desarrollados por el Committee of Consultants de la Universidad de California y posteriormente ampliados por Ayers y Westcot: INC. *Ingeniería de aguas residuales*. Mc Graw Hill. 3ª Edición. Consultado en <http://www.miliarium.com/Paginas/Prontu/Tablas/Aguas/CalidadAguaRiego.htm>
25. Moyano, A. Garcia Sanchez, P. Mayorga, H. M. Anawar y E. Alvarez-Ayuso (2009) "Impact of irrigation with arsenic-rich groundwater on soils and crops". Journal of Environmental Monitoring 11 (3): 498–502, consultado en <http://www.rsc.org/publishing/journals/EM/article.asp?doi=b817634e>
26. Nieto, S. P., Elizondo, R. M., Angel, R. N., Scoth, M. A., Fernández, N. H., y Delmar G. R., (2001). Efecto de las aguas residuales en la calidad y rendimiento en calabacita, en Chiconautla, México. Artículo: ANEI-S90108. XI CONGRESO NACIONAL DE IRRIGACIÓN. Simposio 9. Contaminación, Tratamiento y Rehúso del Agua. Guanajuato, Guanajuato, México, 19 -21 de Septiembre. Consultado en <http://www.cepis.org.pe/bvsair/e/repindex/rep184/vleh/fulltext/acrobat/calabacita.pdf>
27. Pérez, R. C., y Sánchez, B, G., (2002). Calidad de agua de riego: Distrito de riego No. 19 de Tehuantepec, Oaxaca. Escuela de ciencias químicas. UABJO. Consultado el 24 de mayo del 2008 en <http://www.utm.mx/~temas/temas-docs/nfnotas318.pdf>.
28. Pittock, J., (2006). Mitos y hechos sobre el agua dulce: La conservación de los ecosistemas de agua dulce es una herramienta clave para erradicar la pobreza. Consultado el 25 de abril del 2008, en http://www.ecosistemas.cl/1776/articles-72284_recurso_pdf.pdf.

29. Sepúlveda, A. A. y Boye K. H., (2003). Monografía: La importancia del agua dulce como factor de relaciones internacionales entre países. Universidad de Viña del Mar, Dirección de Postgrado y RR. II. Diplomado en Relaciones Internacionales. Consultado el 25 de abril del 2008, en http://www.uvm.cl/sitio_iri/docs/LA%20IMPORTANCIA%20DEL%20AGUA%20DULCE%20-%20HECTOR%20BOYE.pdf.
30. Silva Garcia, J. T., (2008). Calidad química del agua subterránea como factor de degradación de los suelos de la Ciénega de Chapala. Instituto Politecnico Nacional (IPN). Centro Interdisciplinario de Investigación Para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR – Michoacán). Consultado en [http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/3581/1/CALIDAD QUIMICA.pdf](http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/3581/1/CALIDAD%20QUIMICA.pdf)
31. Tudela, F., (2002). Los Síndromes de la sostenibilidad del desarrollo; El caso de México. CEPAL. Seminarios y conferencias. Proyecto “Evolución de la sostenibilidad en América Latina y el Caribe. Consultado el 13 de octubre en http://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=StHZ0HGx_H4C&oi=fnd&pg=PA7&dq=grado+de+presion+del+recurso+hidrico+en+mexico&ots=9FUJkERQG P&sig=rmqDxukqzMNHC50ljjRU61YBHA8#PPP1,M1.