

**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS**

# **DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO**

**ITZEL CASTRO MENDOZA**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO**

**2012**





La presente tesis titulada: DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

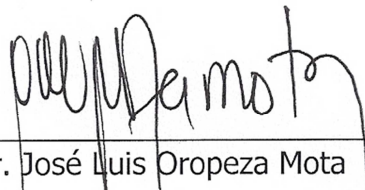
realizada por el alumno: ITZEL CASTRO MENDOZA

bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
HIDROCIENCIAS

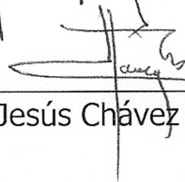
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



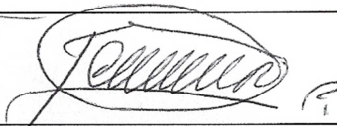
Dr. José Luis Oropeza Mota

ASESOR



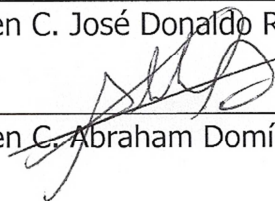
Dr. Jesús Chávez Morales

ASESOR



M. en C. José Donald Ríos Berber

ASESOR



M. en C. Abraham Domínguez Acevedo

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Septiembre de 2012



## RESUMEN

---

DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

Itzel Castro Mendoza, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2012

Se presenta el diagnóstico de degradación de la cuenca de la presa Madín a través de la metodología Assesment of the Status of Human-Induced Soil Degradation (ASSOD). La presa Madín se encuentra en el Estado de México entre los municipios de Atizapán de Zaragoza y Naucalpan de Juárez; corresponde a la región hidrológica 26 Pánuco, en la Cuenca del Valle de México, Subcuenca Ciudad de México, por lo que la unidad de drenaje rematada en la presa corresponde a la categoría jerárquica de microcuenca y sus subsecuentes delimitaciones inferiores a unidades hidrográficas.

Se delimitan en total cinco unidades hidrográficas (UH) a las cuales se les calculan los parámetros de caracterización hidrográfica y se determinan sus características biofísicas y socioeconómicas. Se analizan dos imágenes satelitales LandSat 7 ETM+, de la época de secas del año 2000 y 2008, para actualizar los datos de cobertura vegetal a través del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada por sus siglas en inglés NDVI. Con la información resultante se determina la erosión hídrica potencial (166.6 ton/ha/año) y actual (7.58 ton/ha/año) conforme a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) y la tasa de deposición anual (2.5 ton/ha/año) conforme a la metodología Unit Stream Power - based Erosion Deposition (USPED).

Siguiendo la metodología ASSOD, y empleando la información generada, se delimita la distribución de las zonas degradadas, su nivel de afectación y su tendencia. La UH 4 Arroyo El Muerto es la más afectada con 88% de su superficie total en estado de degradación severa, con una tendencia a estabilizarse. A nivel de cuenca, el 24% presenta una degradación incipiente, 27 % moderada, 20% Fuerte y 29% Extrema, sin embargo entre el año 2008 y 2000 el 82% de su superficie total no muestra cambios de en su nivel de degradación, 11% muestra recuperación y solo el 7% indica un incremento de degradación.

**Palabras clave:** ASSOD, cuenca, degradación, EUPS, USPED.



## ABSTRACT

---

### DIAGNOSIS OF THE MADIN'S DAM BASIN, STATE OF MEXICO

Itzel Castro Mendoza, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2012

The objective of this work was to develop the diagnosis of degradation in The Madin's dam basin by using the Assesment of the Status of Human-Induced Soil Degradation (ASSOD) methodology. The Madin's dam basin is inside the Metropolitan Zone of Mexico's Valley and is located in the limits of Atizapan de Zaragoza, Jilotzingo and Naucalpan de Juarez municipalities at the State of Mexico. It belongs to the 26th Hydrologic Region Panuco, in the Mexico's Valley Basin and Mexico's City Sub-basin and is divided into five hydrographic unities (UH).

For the five hydrographic unities were calculated their hydrographic parameters and determined the biophysic and socioeconomic characteristics. They were analyzed two images LandSat 7 ETM+ of the dry season for 2000 and 2008 years in order to update the vegetation cover using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The by-product was used to determine the potential (166.6 ton/ha/year) and actual (7.58 ton/ha/year) hydric erosion by using the Universal Soil Loss Equation (USLE) and the rate of deposition according to the Unit Stream Power - based Erosion Deposition (USPED) methodology (2.5 ton/ha/year).

By using the ASSOD methodology and the information generated so far, there were delimited zones of degradation according to its grade of disturbance and trend. The UH 4 Arroyo El Muerto is the most affected one with 88% of its total area with severe degradation following a stable trend. The basin shows low degradation in 24% of its surface, moderate in 27%, strong in 20% and severe in 29%, nevertheless between 2008 and 2000, 82% of its surface shows no change in its degradation level, 11% has recovered and 7% increased its degradation.

**Key words:** ASSOD, basin, degradation, USLE, USPED



## DEDICATORIA

Todas las cosas que me han costado esfuerzo y constancia en la vida, son las que más aprecio y siempre me han reafirmado que únicamente por esa vía se obtiene un aprendizaje, no solo para entender más al mundo, sino para ser mejor persona. Al releer esta tesis recuerdo las noches que me ha implicado y el como he cambiado desde que la inicie hasta el día en que escribí su punto final. En el camino se ha ido gente que pensé que nunca me dejaría, otros se han quedado sorprendiéndome, los más importantes siempre han estado y algunos llegaron para completar mi vida. Por eso quiero dedicar:

**A mis padres**, porque en los momentos en que sentí mucha angustia me recibieron y cuando fui muy feliz me dejaron ir, confiaron en mí. Por su dedicación a esta familia les agradezco profundamente.

**A mis hermanos**, porque con ellos he formado mis conceptos de amor, tolerancia, amistad, complicidad, admiración y respeto. Los quiero demasiado.

**A Emiliano**, porque me enseñó que no importa la edad o la adversidad, todo está en uno. Desde que supe que venías, te amé mucho.

**A Reinier**, porque su amor me alienta y le da significado a todo el esfuerzo.

**A Grisel**, por ser mi Laotong, ella sabe todo el significado.

A mis amigos: Salustia, Juan Uriel y Eileen, porque en pequeñas cosas hicieron la diferencia.

## AGRADECIMIENTO

Al Colegio de Postgraduados por enseñarme otras perspectivas.

A CONACyT por la beca que percibí durante la maestría.



## CONTENIDO

---

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>HIPÓTESIS Y OBJETIVOS .....</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>MATERIALES .....</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>35</b>
6.1.	<i>UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</i>	<i>35</i>
6.2.	<i>DELIMITACIÓN DE LA CUENCA .....</i>	<i>37</i>
6.3.	<i>DELIMITACIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS (UH).....</i>	<i>40</i>
6.4.	<i>CARACTERIZACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA.....</i>	<i>41</i>
6.4.1.	PARÁMETROS BÁSICOS .....	41
6.4.2.	PARÁMETROS DE FORMA.....	42
6.4.3.	PARÁMETROS TOPOGRÁFICOS.....	46
6.4.4.	PARÁMETROS DE DRENAJE .....	50
6.5.	<i>CARACTERIZACIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS (UH) .....</i>	<i>55</i>
6.5.1.	UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO TLALNEPANTLA ALTO.....	55
6.5.2.	UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO TLALNEPANTLA MEDIO.....	56
6.5.3.	UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO TLALNEPANTLA BAJO.....	56
6.5.4.	UNIDAD HIDROGRÁFICA ARROYO EL MUERTO .....	57
6.5.5.	UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO SAN JUAN.....	58
6.6.	<i>DESCRIPCIÓN DEL MEDIO NATURAL .....</i>	<i>58</i>
6.6.1.	FISIOGRAFÍA.....	59
6.6.2.	EDAFOLOGÍA.....	60
6.6.3.	GEOLOGÍA.....	63

6.6.4.	CLIMA.....	65
6.6.5.	HIDROLOGÍA .....	87
6.6.6.	USO DE SUELO .....	92
6.6.7.	ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS .....	93
6.7.	<i>DESCRIPCIÓN DEL MEDIO SOCIOECONÓMICO</i> .....	98
6.7.1.	DIVISIÓN POLÍTICA.....	99
6.7.2.	DEMOGRAFÍA.....	101
6.7.3.	CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DE LA POBLACIÓN.....	104
6.8.	<i>EROSIÓN HÍDRICA POR EL MODELO DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO</i> 119	
6.8.1.	FACTOR DE EROSIVIDAD R.....	121
6.8.2.	FACTOR DE EROSIONABILIDAD K.....	122
6.8.3.	FACTOR DE GRADO DE PENDIENTE LS.....	122
6.8.4.	FACTOR DE COBERTURA VEGETAL C .....	124
6.9.	<i>PRODUCCIÓN Y DEPOSITACIÓN DE SEDIMENTOS POR EL MODELO USPED</i> .....	134
6.10.	<i>DEGRADACIÓN POR LA METODOLOGÍA ASSOD</i> .....	136
<b>7</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>140</b>
7.1.	<i>SITUACIÓN ACTUAL DEL AGUA</i> .....	140
7.1.1.	INFRESTRUCTURA DE ALMACENAMIENTO Y/O REGULACIÓN .....	140
7.1.2.	INFRAESTRUCTURA DE ABASTECIMIENTO .....	141
7.1.3.	INFRAESTRUCTURA DE ALCANTARILLADO .....	143
7.1.4.	INFRAESTRUCTURA DE SANEAMIENTO .....	145
7.1.5.	CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA Y SU SANEAMIENTO .....	146
7.1.6.	COMPETENCIA POR LOS DIFERENTES USOS DEL AGUA .....	148
7.1.7.	ADMINISTRACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS Y SUS BIENES INHERENTES .....	149
7.2.	<i>EROSIÓN HÍDRICA</i> .....	150
7.2.1.	FACTOR R .....	150

7.2.2.	FACTOR K .....	151
7.2.3.	FACTOR LS.....	152
7.2.4.	FACTOR C .....	156
7.3.	<i>EROSIÓN POTENCIAL</i> .....	158
7.4.	<i>EROSIÓN HÍDRICA ACTUAL</i> .....	160
7.5.	<i>DISTRIBUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DEPOSICIÓN DE SEDIMENTOS</i> .....	162
7.6.	<i>DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE DEGRADACIÓN</i> .....	164
7.6.1.	DEGRADACIÓN POR UNIDAD HIDROGRÁFICA .....	164
<b>8</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>178</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>184</b>
9.1.	<i>CONCLUSIONES</i> .....	184
9.2.	<i>RECOMENDACIONES</i> .....	185
<b>10</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>186</b>



## **INDICE DE CUADROS**

Cuadro 6.1	Clasificación de cuencas según su Coeficiente de Compacidad.....	44
Cuadro 6.2	Pendiente media del Río Tlalnepantla.....	48
Cuadro 6.3	Parámetros de caracterización de la UH Río Tlalnepantla Alto .....	55
Cuadro 6.4	Parámetros de caracterización de la UH Río Tlalnepantla Medio.....	56
Cuadro 6.5	Parámetros de caracterización de la cuenca Río Tlalnepantla Bajo .....	57
Cuadro 6.6	Parámetros de caracterización de la UH Arroyo El Muerto .....	57
Cuadro 6.7	Parámetros de caracterización de la UH Río San Juan .....	58
Cuadro 6.8	Unidades fisiográficas en la cuenca de la presa Madín.....	59
Cuadro 6.9	Unidades edafológicas en la cuenca de la presa Madín.....	61
Cuadro 6.10	Formaciones geológicas en la cuenca de la presa Madín .....	63
Cuadro 6.11	Características generales de las estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca de la presa Madín .....	67
Cuadro 6.12	Calidad de la información meteorológica disponible en las estaciones meteorológicas de influencia en la cuenca de la presa Madín para la precipitación .....	68
Cuadro 6.13	Calidad de la información meteorológica disponible en las estaciones meteorológicas de influencia en la cuenca de la presa Madín para temperatura .....	70
Cuadro 6.14	Calidad de la información meteorológica disponible en las estaciones meteorológicas de influencia en la cuenca de la presa Madín para evaporación .....	71
Cuadro 6.15	Caracterización de las principales variables climatológicas para la cuenca de la presa Madín .....	72
Cuadro 6.16	Periodo de retorno para los valores de la estación 15095, San Luis Ayucan... ..	76
Cuadro 6.17	Parámetros de la distribución Gumbel.....	79
Cuadro 6.18	Periodo de retorno para precipitación máxima en 24 hrs .....	80
Cuadro 6.19	Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov entre los valores observados de precipitación máxima en 24 hrs y la distribución Gumbel en la cuenca de la presa Madín.....	81
Cuadro 6.20	Valores de curvas I-D-Tr para 10, 20, 25, 50, 100 y 500 años de la cuenca de la presa Madín .....	85



Cuadro 6.21	Corrientes de la cuenca de la presa Madín .....	88
Cuadro 6.22	Corrientes principales de las unidades hidrográficas (UH) .....	88
Cuadro 6.23	Características de diseño de la presa Madín .....	90
Cuadro 6.24	Uso del suelo en el territorio de cuenca de la presa Madín .....	92
Cuadro 6.25	Actividades permitidas en las zonas del Parque Estatal Otomí-Mexica .....	95
Cuadro 6.26	Coordenadas, altitud y clave municipal en las localidades de la cuenca de la presa Madín reconocidas por INEGI.....	100
Cuadro 6.27	Comparación de la tendencia poblacional de las localidades de influencia de la cuenca de la presa Madín y la de los municipios de influencia.....	102
Cuadro 6.28	Tendencia poblacional y Taza de Crecimiento Media Anual (TCMA) para el periodo 1990-2010 por municipios de influencia de la cuenca de la presa Madín. ....	103
Cuadro 6.29	Densidad poblacional promedio por municipios de influencia de la cuenca de la presa Madín. ....	104
Cuadro 6.30	Tasa general de desempleo (TGD) y Población Económicamente Activa (PEA) en los municipios de influencia de la cuenca de la presa Madín durante el año 2000..	105
Cuadro 6.31	Población Económicamente Activa (PEA) por actividad económica que desarrollan los municipios de influencia de la cuenca de la presa Madín durante el año 2000 .....	106
Cuadro 6.32	Clasificación de las actividades por sector económico .....	107
Cuadro 6.33	Municipios de la cuenca de la presa Madín. Salarios mínimos para el año 2000 y 2009 .....	108
Cuadro 6.34	Indicadores de pobreza para los municipios de Atizapán de Zaragoza, Jilotzingo y Naucalpan de Juárez .....	109
Cuadro 6.35	Grado de marginación por localidad dentro de la cuenca de la presa Madín .	110
Cuadro 6.36	Principales índices económicos por municipios de la cuenca de la presa Madín .....	111
Cuadro 6.37	Población total en las localidades por sexo y municipio en la cuenca de la Presa Madín .....	112
Cuadro 6.38	Familias y número promedio de integrantes dentro de la cuenca de la presa Madín para los años 1990, 2000 y 2005.....	113



Cuadro 6.39	Población derechohabiente de la cuenca de la presa Madín .....	115
Cuadro 6.40	Caracterización de las viviendas en la cuenca de la presa Madín.....	117
Cuadro 6.41	Parámetros de calibración radiométrica. Parte I .....	126
Cuadro 6.42	Parámetros de calibración radiométrica. Parte II .....	126
Cuadro 6.43	Nivel de afectación según el método ASSOD .....	138
Cuadro 6.44	Tasa de degradación según el método ASSOD.....	138
Cuadro 7.1	Infraestructura de almacenamiento y/o regulación en la cuenca de la presa Madín .....	140
Cuadro 7.2	Fuentes de abastecimiento de agua potable en el municipio de Jilotzingo .... ..... .....	141
Cuadro 7.3	Infraestructura de abastecimiento en la cuenca de la presa Madín.....	143
Cuadro 7.4	Infraestructura de alcantarillado en la cuenca de la presa Madín.....	143
Cuadro 7.5	Infraestructura de saneamiento en la cuenca de la presa Madín.....	146
Cuadro 7.6	Descargas identificadas en la cuenca de la presa Madín .....	147
Cuadro 7.7	Usuarios registrados por REPGA dentro de la cuenca de la presa Madín..	149
Cuadro 7.8	Valores de Erosionabilidad del suelo (K) estimada en función de las unidades de suelo y textura reportadas por INEGI en la cuenca de la Presa Madín (ton ha hr/ ha MJ mm) .....	151
Cuadro 7.9	Rangos de pendiente para la cuenca de la presa Madín.....	153
Cuadro 7.10	Polígonos de entrenamiento para la clasificación supervisada y sus firmas espectrales .....	156
Cuadro 7.11	Cobertura de tipo de uso de suelo entre el año 2000 y 2008.....	157
Cuadro 7.12	Rangos de erosión potencial para la cuenca de la presa Madín .....	158
Cuadro 7.13	Rangos de erosión actual para la cuenca de la presa Madín .....	160
Cuadro 7.14	Estandarización de rangos de erosión hídrica.....	165
Cuadro 7.15	Estandarización de rangos de pendiente .....	165
Cuadro 7.16	Estandarización de rangos de cobertura vegetal .....	166
Cuadro 7.17	Estandarización de rangos de cobertura vegetal para determinar la tasa de degradación	169

Cuadro 7.18 Distribución porcentual por unidad fisiográfica de la degradación ..... 177

## **INDICE DE FIGURAS**

Figura 5.1 Diagrama de flujo de la metodología general para la realización del Diagnóstico de la Cuenca de la Presa Madín\* ..... 34

Figura 6.1 Ubicación de la presa Madín ..... 36

Figura 6.2 Vías de acceso a la presa Madín ..... 36

Figura 6.3 Modelo de Elevación Digital (Proyección UTM Zona 14N, Datum WGS84).... 37

Figura 6.4 Red hidrográfica definida por SWAT ..... 38

Figura 6.5 Delimitación de la cuenca con base en las corrientes que alimentan la presa Madín por SWAT ..... 38

Figura 6.6 Delimitación manual de la cuenca de la presa Madín..... 39

Figura 6.7 Cuenca de la presa Madín (Proyección UTM Zona 14N, Datum WGS84) ..... 39

Figura 6.8 Delimitación de las unidades hidrográficas (UH) ..... 40

Figura 6.9 Unidades hidrográficas (UH) de la presa Madín..... 41

Figura 6.10 Índices de forma de la cuenca de la presa Madín..... 46

Figura 6.11 Curva hipsométrica de la cuenca de la presa Madín..... 49

Figura 6.12 Perfil longitudinal del cauce principal de la cuenca de la presa Madín ..... 50

Figura 6.13 Sistema de drenaje dendrítico de la cuenca de la presa Madín..... 51

Figura 6.14 Orden de los cauces en la cuenca de la Presa Madín..... 52

Figura 6.15 Índices de drenaje de la cuenca de la presa Madín ..... 54

Figura 6.16 Unidades fisiográficas en la microuenca de la presa Madín ..... 60

Figura 6.17 Tipos de suelo en la microuenca de la presa Madín ..... 61

Figura 6.18 Geología de la cuenca de la presa Madín..... 64

Figura 6.19 Estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca de la presa Madín y Unidades climáticas escala 1:1 000 000 (Fuente: CONABIO, 1998)..... 66

Figura 6.20 Climograma de la cuenca de la presa Madín ..... 73

Figura 6.21 Isotermas medias anuales (°C) dentro de la cuenca de la presa Madín ..... 74



Figura 6.22	Isoyetas de precipitación media anual (mm) de la cuenca de la presa Madín .....	75
Figura 6.23	Isoyetas de precipitación máxima en 24 hrs (mm) de la cuenca de la presa Madín .....	75
Figura 6.24	Tendencia de distribución de los datos de precipitación máxima en 24 hr por el método de Gumbel en la cuenca de la presa Madín .....	80
Figura 6.25	Ajuste de los valores valores observados de precipitación máxima en 24 hrs y la distribución Gumbel en la cuenca de la presa Madín.....	84
Figura 6.26	Valores de los parámetros a, b y c en función del cociente lluvia-duración R. ....	86
Figura 6.27	Curvas I-D-Tr para 10, 25, 100 y 500 años de la cuenca de la presa Madín.	87
Figura 6.28	Acuíferos de la cuenca de la presa Madín.....	89
Figura 6.29	Curva elevación-capacidad para la presa Madín.....	91
Figura 6.30	Capacidades mensuales promedio para la presa Madín.....	91
Figura 6.31	Usos de suelo en la cuenca de la presa Madín.....	92
Figura 6.32	Municipios de la cuenca de la presa Madín .....	99
Figura 6.33	Tendencia poblacional al 2030 en los municipios de influencia de la cuenca de la presa Madín .....	102
Figura 6.34	Población económicamente activa (PEA) en los municipios de influencia de la cuenca de la presa Madín. ....	105
Figura 6.35	Comparación de los valores porcentuales de pobreza de patrimonio, de capacidades y alimentaria en los municipios de influencia a la cuenca de la presa Madín ....	109
Figura 6.36	Pirámide poblacional en la cuenca de la presa Madín.....	113
Figura 6.37	Población total en las localidades de la cuenca de la presa Madín .....	114
Figura 6.38	Localidades según rangos de años promedios de escolaridad en la cuenca de la presa Madín .....	116
Figura 6.39	Promedio de ocupantes en viviendas en las localidades de la cuenca de la presa Madín .....	116
Figura 6.40	Infraestructura: Unidades médicas, templos y escuelas en la cuenca de la presa Madín .....	118

Figura 6.41	Infraestructura: comunicación, banco de materiales, pozos y de almacenamiento de agua en la cuenca de la presa Madín .....	118
Figura 6.42	Metodología para el cálculo de la EUPS .....	121
Figura 6.43	Módulo ENVI LandSat Calibration .....	127
Figura 6.44	Imagen LandSat 7 ETM+ 2008 y Gap Mask correspondiente .....	127
Figura 6.45	Extracción- vaciado de pixel .....	128
Figura 6.46	Área boscosa en los municipios de Naucalpan de Juárez y Jilotzingo.....	129
Figura 6.47	Procesos antropogénicos comunes en el territorio de la cuenca de la presa Madín .....	130
Figura 6.48	Expansión de la mancha urbana en la parte baja de la cuenca (proceso actualmente acelerado).....	131
Figura 6.49	Evidencias de la degradación por contaminación antropogénica de residuos sólidos. Parte I .....	132
Figura 6.50	Evidencias de la degradación por contaminación de residuos sólidos antropogénica. Parte II .....	132
Figura 6.51	Procesos de minería en el territorio de la cuenca de la Presa Madín.....	133
Figura 6.52	Elementos de la degradación según el método ASSOD .....	137
Figura 6.53	Factores causales de la degradación según el método ASSOD.....	137
Figura 6.54	Leyenda del Método ASSOD.....	139
Figura 6.55	Escalas recomendadas para la evaluación de la degradación de suelo ....	139
Figura 7.1	Abastecimiento de agua potable en el municipio de Jilotzingo.....	142
Figura 7.2	Alcantarillado en el Fraccionamiento Chiluca .....	144
Figura 7.3	Planta de tratamiento en construcción en el municipio de Jilotzingo .....	146
Figura 7.4	Factor R en la cuenca de la presa Madín.....	151
Figura 7.5	Factor K en la cuenca de la presa Madín.....	152
Figura 7.6	Distribución de los rangos de pendiente en la cuenca de la presa Madín (pendiente media 16.067%) .....	153
Figura 7.7	Distribución de la pendiente en la cuenca de la presa Madín .....	154
Figura 7.8	Distribución de los rangos de factor LS en la cuenca de la presa Madín (Factor LS medio 0.67) .....	155

Figura 7.9	Distribución de los rangos de factor LS en la cuenca de la presa Madín (Factor LS medio 0.67) .....	155
Figura 7.10	Polígonos de entrenamiento para la clasificación supervisada .....	156
Figura 7.11	Clasificación supervisada del año 2000 y 2008 .....	157
Figura 7.12	Factor C en la cuenca de la presa Madín .....	158
Figura 7.13	Erosión potencial en la cuenca de la presa Madín .....	159
Figura 7.14	Erosión potencial en la cuenca de la presa Madín. Histograma .....	160
Figura 7.15	Erosión actual en la cuenca de la presa Madín .....	161
Figura 7.16	Erosión actual en la cuenca de la presa Madín. Histograma.....	161
Figura 7.17	Distribución de la erosión laminar y deposición en la cuenca de la presa Madín .....	162
Figura 7.18	Tasa de erosión en surco y deposición en la cuenca de la presa Madín...	163
Figura 7.19	Valor medio de la deposición en la cuenca de la presa Madín .....	163
Figura 7.20	Zona de riesgo de degradación dentro de la cuenca de la presa Madín ..	165
Figura 7.21	Porcentaje del nivel de degradación superficial en la UH1 Tlalnepantla Alto .....	166
Figura 7.22	Porcentaje del nivel de degradación superficial en la UH2 Tlalnepantla Medio .....	167
Figura 7.23	Porcentaje del nivel de degradación superficial en la UH3 Tlalnepantla Bajo .....	167
Figura 7.24	Porcentaje del nivel de degradación superficial en la UH4 Arroyo El Muerto .....	168
Figura 7.25	Porcentaje del nivel de degradación superficial en la UH5 Arroyo San Juan.. ..	168
Figura 7.26	Porcentaje del nivel de degradación superficial en la cuenca de la presa Madín .....	169
Figura 7.27	Porcentaje de la tasa de degradación superficial en la UH1 Tlalnepantla Alto .....	170
Figura 7.28	Porcentaje de la tasa de degradación superficial en la UH2 Tlalnepantla Medio .....	170

Figura 7.29	Porcentaje de la tasa de degradación superficial en la UH3 Tlalnepantla Bajo .....	171
Figura 7.30	Porcentaje de la tasa de degradación superficial en la UH4 Arroyo El Muerto .....	171
Figura 7.31	Porcentaje de la tasa de degradación superficial en la UH5 Arroyo San Juan .....	172
Figura 7.32	Porcentaje de la tasa de degradación superficial en la cuenca de la presa Madín .....	172
Figura 7.33	Degradación en la UH1 Tlalnepantla Alto (Metodología ASSOD) .....	173
Figura 7.34	Degradación en la UH2 Tlalnepantla Medio (Metodología ASSOD) .....	174
Figura 7.35	Degradación en la UH3 Tlalnepantla Bajo (Metodología ASSOD) .....	174
Figura 7.36	Degradación en la UH4 Arroyo El Muerto (Metodología ASSOD) .....	175
Figura 7.37	Degradación en la UH5 Arroyo San Juan (Metodología ASSOD) .....	175
Figura 7.38	Nivel de degradación en la cuenca presa Madín (Metodología ASSOD) ..	176
Figura 7.39	Tendencia de degradación en la cuenca presa Madín conforme a la Metodología ASSOD .....	176



# 1 INTRODUCCIÓN

---

La gran demanda de agua potable para la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM) ha mermado la calidad y cantidad del recurso tanto en sus fuentes superficiales como subterráneas; a futuro, la dinámica poblacional indica que el problema aumentará. Dentro de la ZMVM las fuentes de aprovechamiento de agua superficial y subterránea son escasas y de baja calidad solo sobreviviendo como fuentes de agua potable superficial la presa Madín y el río Magdalena. La presa Madín aporta desde su planta potabilizadora 373 lps en el año 2009, beneficiando a cerca de un millón de habitantes de la zona conurbada, principalmente en las colonias Lomas Verdes, Concordia, parte de Petroquímica, Calacoya y Fuentes de Satélite principalmente.

La cuenca muestra signos de deterioro en el agua, suelo y vegetación. Se ha observado que la presa tiene problemas de algas y lirio acuático, además de residuos sólidos que llegan a través de los arroyos, además de una serie de descargas domésticas directas a los mismos de localidades como Nuevo Madín, Naucalpan y Chiluca. Existen otros riesgos a la salud dentro de la cuenca como era el caso del tiradero de residuos biológico-infecciosos manejado por la empresa CONFINAN, ubicado en el poblado de San Luis Ayucan, municipio de Santa Ana Jilotzingo, el cual no contaba con un manejo adecuado de los residuos y fue clausurado por las autoridades ambientales federales el pasado mes de mayo de 2008. En ese lugar se formó una laguna de lixiviados, líquidos que produce la basura en estado de descomposición, y los cuales se están filtrando al manto freático y a través del río Muerto llegan a la presa Madín. La situación de los bosques y el cambio de uso de suelo de forestal a urbano es una tendencia dentro de la zona fuerte en la parte baja de la cuenca debido a la explosión de desarrollos como Zona Esmeralda y Chiluca.

Por lo antes mencionado surge la necesidad de prevenir los efectos negativos que el deterioro acelerado del entorno ecológico está causando sobre la cuenca de la presa Madín. Una herramienta técnica para atender esta necesidad es la generación de estudios donde se identifique el nivel de degradación, sus causas y tendencias para generar estrategias que coadyuven el cuidado del recurso por parte de la sociedad civil



y autoridades a escalas municipales y locales de tal suerte que a mediano y largo plazo la perspectiva del recurso dentro del área de la cuenca sea óptimo en calidad y cantidad para su aprovechamiento por parte de futuras generaciones.

El presente estudio cubre la necesidad de identificar los efectos negativos que el deterioro acelerado del entorno ecológico está causando sobre la cuenca de la presa Madín, y contiene la caracterización de la zona de estudio, en un entorno natural, social y económico, con lo cual se formulará del diagnóstico de la cuenca atendiendo las causas, nivel y tendencias de la misma.

En el apartado 4 se realiza la revisión de literatura, en donde se analiza la información que existe sobre el trazo de la cuenca, degradación, manejo de cuencas, la presa Madín, erosión y deposición, así como del entorno socioeconómico de la zona.

En el apartado 5 se realiza la descripción del material necesario para la realización de este trabajo, como software y bases de información recopiladas.

El apartado 6 se refiere a toda la metodología seguida en la realización de este estudio. En el apartado 6.1 se ubica el área de estudio. Del apartado 6.2 al 6.3 se delimita la cuenca de la presa Madín y sus correspondientes unidades de hidrográficas, en consecuencia jerárquica a lo establecido por la Comisión Nacional del Agua.

El apartado 6.4 y 6.5 se enfocan en la caracterización de la cuenca y de cada unidad hidrográfica, respectivamente. Se analizan los principales parámetros topográficos (curva hipsométrica, pendiente media del cauce, perfil longitudinal), de forma (índice de forma, relación de circularidad, coeficiente de compacidad, proporción de elongación) y drenaje (orden de corriente, relación de bifurcación, densidad de drenaje e hidrográfica).

El apartado 6.6 aborda la descripción del medio natural y como principales temas la extensión geográfica de la cuenca, el reconocimiento del tipo de clima, hidrología e hidrografía, edafología, geología, uso actual del suelo y vegetación de la cuenca, así como las áreas naturales contenidas en ella.

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

---

En el apartado 6.7 se presenta la descripción del medio social y desarrolla los temas de vías de acceso a la cuenca, contexto histórico, división política, demografía, característica socioeconómicas de la población como marginación, población, población derechohabiente, vivienda y educación, además también se enfoca en describir el tipo de tenencia de tierra que ocurre en la cuenca.

El apartado 6.8 al 6.10 se aborda la metodología empleada para el análisis de erosión, producción de sedimentos y determinación de la degradación en la cuenca.

En el apartado 7 se concentran los resultados del diagnóstico de la cuenca con base en la información anterior generada y se desarrollan los temas de situación actual del agua, erosión actual, erosión potencial y la localización de los sitios de deposición de sedimentos entre otros. También se abordan los temas del impacto de las actividades humanas sobre la cuenca, el análisis de la infraestructura de almacenamiento, abastecimiento, alcantarillado y saneamiento dentro de la cuenca, así como el control de calidad del agua, la competencia por este recurso y su administración. Finalmente se describe el grado de degradación que presenta la cuenca con base en la metodología ASSOD.

En el apartado 8 se discuten los resultados obtenidos y finalmente en el apartado 9 se expresan las conclusiones y recomendaciones.

## 2 JUSTIFICACIÓN

---

Un proceso degenerativo de los ecosistemas causado por el hombre se concibe como la pérdida de biodiversidad, de paisaje y de la capacidad productiva de las tierras. En México, para el año 2002, se estimó que 95 millones de hectáreas se encuentran en un proceso de degradación hídrica, eólica, química o física por causas antropogénicas; paralelamente el 23 % del país presenta un proceso de degradación sin intervención del hombre, como son las planicies salinas, los desiertos, las dunas costera. Lo anterior sugiere que al sumar la superficie afectada por las condiciones naturales, por causas climáticas y, la superficie afectada por la degradación del suelo por actividades humanas, estas llegan a alcanzar un 71% del territorio nacional. (SEMARNAT-CONAFOR-INE, 2007).

Lo anterior lleva a una pérdida de los servicios ecosistémicos como son el abastecimiento de agua potable en cantidades suficientes, el desarrollo vegetal sustentado por la biomasa procesada en un suelo saludable o la calidad del aire. La afectación de lo anterior en una cuenca ha ocasionado que los recursos aún existentes en cuencas aledañas sean ahora aprovechados en zonas remotas. Esto solamente aumenta el proceso negativo de degradación ya que no se buscan soluciones para el restablecimiento de los servicios ecosistémicos.

Tal es el caso de la Ciudad de México y su Zona Metropolitana, que en la actualidad funcionan como cuencas urbanas sin operatividad ecosistémica y cuyos recursos son sustentados por cuencas ya no solamente aledañas sino de todo el país. El efecto de esta importación de recursos ha mermado las capacidades de abastecimiento de agua y alimento en las cuencas suministradoras a tal grado que nada del agua que es captada en la cuenca de la presa Madín se aprovecha por la población que en ella vive. Para restablecer la calidad y cantidad de agua dentro de una cuenca, es necesario conocer su proceso de degradación, la demanda que en ella existe del recurso, sus principales fuentes de contaminación y la distribución de la misma que existe en el territorio, ello brinda herramientas para trazar estrategias que mejoren la distribución y calidad del recurso.

# 3 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

---

## HIPOTESIS

1. La degradación en la cuenca de la presa Madín es severa y tiende a incrementarse.

## OBJETIVOS

- Identificar las causas, nivel y tendencias de la degradación en la cuenca de la Presa Madín.
- Sistematizar la información disponible de la cuenca de la presa Madín a través de un sistema de información geográfica.

## 4 REVISIÓN DE LITERATURA

---

La primera necesidad dentro del trabajo es localizar el área de estudio así como establecer los límites del mismo. En general existe una amplia conceptualización de lo que se entiende por cuenca y sus subdivisiones, sin embargo en México existe un marco de referencia establecido y jerárquico desde el año 2007 (Colter *et al.*, 2010) a nivel de cuencas hidrográficas el cual se encuentra consensuado por el Instituto Nacional de Ecología (INE), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). De acuerdo con dicho documento una cuenca es la superficie delimitada por un parteaguas cuyos afluentes confluyen al mar o a un cuerpo de agua interior (Colter *et al.*, 2010, Ley de Aguas Nacionales, 2011). La cuenca hidrográfica abarca solamente el escurrimiento superficial mientras que la hidrológica incluye las aguas subterráneas. En la actualidad y de forma jerárquica CONAGUA delimitó 13 Regiones Hidrológicas-Administrativas reguladas y gestionadas por Organismos de Cuenca, 37 Regiones hidrológicas las cuales se dividen en 160 cuencas hidrográficas las cuales se redelimitaron por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEGI) y el Instituto de Geografía obteniendo un total de 1,471 cuencas hidrográficas en México, 158 cuencas hidrológicas y 1,003 subcuencas hidrológicas (INEGI, 1982b; CONAFOR, 2007).

La ley establece que la cuenca es el área donde coexisten los recursos agua, suelo, flora, fauna y otros. También dentro de ella ocurren fenómenos sociales y económicos ya que la población se distribuye en su espacio, por ello, se reconoce a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos y muy probablemente también comience a considerarse para aspectos socio-económicos. Sin embargo en cuanto se refiere a las divisiones de la cuenca no existe claridad legislativa. La discusión de como considerar sus subdivisiones inferiores, regidas por los mismos parámetros de delimitación topográfica e hidrográfica que la cuenca, genera la necesidad de determinar en estudios como el que se presenta si deben considerarse como “cuencas medianas o pequeñas” o subcuencas y cuencas.

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

---

Para homogenizar criterio, y debido a que las cuencas reconocidas por CONAGUA-INEGI-INE fueron delimitadas con base en variables hidrográficas y topográficas, teniendo como únicos insumos, curvas de nivel, hidrología superficial de ríos y cuerpos de agua y un modelo digital de elevación, se sigue el mismo método para determinar los límites de la unidad de drenaje de la presa Madín, así como de sus subsecuentes divisiones, asignándosele la jerarquía de microcuenca y unidades hidrográficas respectivamente; acorde con la Red Hidrográfica INEGI escala 1:250,000.

Una vez delimitada el área de estudio es necesario conocer los fenómenos que en él ocurren, así como su interacción. Uno de los más importantes es el comportamiento hidrológico, el cual determina principalmente el caudal y tiempo de respuesta de la cuenca a través de las características de pendiente, forma de la cuenca y drenaje. Se han desarrollado un gran número de parámetros, sin embargo en muchas ocasiones no se profundiza en el significado de los mismos y no todos brindan información acorde a los objetivos del estudio. En el caso de los parámetros considerados para la cuenca de la presa Madín (Jardí, 1985; González, 2004; Méndez & Marcucci, 2006) se calcula el área, perímetro, la longitud del cauce principal, siendo estos los parámetros base y de ellos se deriva el índice de forma, relación de circularidad, coeficiente de compacidad y proporción de elongación. Además, considerando la hidrología, se determinan el orden de corriente, relación de bifurcación, densidad de drenaje e hidrográfica y finalmente, de acuerdo a la topografía se obtiene la pendiente media del cauce y curva hipsométrica. El cálculo de estos parámetros es simple y cubre la necesidad de brindar información acerca de la propensión de la cuenca a crecidas, de la magnitud de los tiempos de concentración, de su proceso de intemperismo y de degradación (Méndez & Marcucci, 2006).

La información que otros parámetros como, el centro de gravedad, la distancia al centro de gravedad, máxima distancia en línea recta, radio de crenulación, radio de relieve y relación de áreas, brindan, es similar en interpretación a aquellos calculados en el presente trabajo y no hay un aporte de información adicional por lo cual no se tomaron en cuenta como parámetros para la caracterización hidrográfica de la cuenca de la presa Madín (Jardí, 1985; González, 2004; Méndez & Marcucci, 2006).

Para poder analizar los procesos de degradación dentro de un área primero es necesario conocer sus características. De entre las más relevantes se encuentran el suelo, el clima, la vegetación, la población que en ella coexiste y su interacción con el medio ambiente. Todos estos factores interactúan en una compleja relación.

El suelo es un factor determinante y se considera un recurso básico, es decir, de él se derivan otros como la vegetación. Su pérdida influye en la vitalidad y la composición de especies de los ecosistemas forestales, así grandes extensiones de suelos erosionados pueden ocasionar fuertes alteraciones en los bosques, en el abastecimiento de agua potable, alimento y en la vida útil de presas y otras obras que se basan en los ríos.

La erosión de los suelos por causa de la lluvia involucra tres etapas (SEMARNAT, 2002): primero es el desprendimiento de las partículas del suelo de la superficie del mismo; segundo, el transporte de dichas partículas desprendidas; y por último, la deposición de las partículas desprendidas y transportadas. Los dos primeros (desprendimiento y transporte) procesos son los más importantes en el fenómeno de pérdida de suelo, dado que la deposición es consecuencia u ocurre cuando las fuerzas de desprendimiento y transporte se detienen o se presentan por debajo de la fuerza de gravedad de las partículas y estas caen o se depositan.

Se han desarrollado muchos métodos para cuantificar los procesos de erosión a través de la cuantificación de sus etapas. En 1936, inician con Cook los esfuerzos para predecir la erosión hídrica y la identificación de las variables que influyen en ella. La primera ecuación para calcular la pérdida de suelo se publicó en 1940 por Zingg estableciendo solamente la importancia de la pendiente y su longitud. Posteriormente Smith en 1941 complementó la anterior ecuación con los factores de manejo de cultivo y prácticas de conservación. La erodabilidad del suelo y el manejo del mismo se incorporaron como factores para el cálculo de la erosión por Browning en 1947. A partir de entonces, y hasta 1965 con la ecuación desarrollada por Wischmeier, se dieron una serie de propuestas de ecuaciones que llegaron a incluir hasta nueve factores. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), *USLE* por sus siglas en inglés, se diseñó como una herramienta de trabajo para los conservacionistas (Figuroa *et al.*, 1991). Se buscaba con ésta ecuación que el cálculo de la pérdida de suelo se estandarizara a la vez que resultará más sencillo; sin embargo existen limitaciones en su uso ya que la ecuación se desarrolló con datos de parcelas experimentales con condiciones de longitud y pendiente controladas, además que considera lluvias, cobertura vegetal y tipo de suelo uniformes y todo en el contexto de Estados Unidos.

Por ello en 1975, Figuroa desarrolló trabajos en la cuenca del río Texcoco, a modo de validación de la EUPS en México. Otros estudios como los de Arias en 1980, Jaques en 1987 y Cortés en 1991 sobre la agresividad de la lluvia, los de Rey en 1979 y González en 1984 sobre erosionabilidad del suelo, entre otros, complementaron el proceso de



utilización de la EUPS en México, desde entonces esta herramienta se ha convertido en una de las principales en México para determinar el proceso de pérdida de suelo. Sin embargo EUPS, basada en la capacidad de desprendimiento de partículas de suelo, solamente estima la pérdida de suelo y no brinda información certera acerca de la producción de sedimentos ni su deposición dentro de la cuenca y tampoco diferencia entre erosión laminar y en surco (McKay, 2008).

La teoría de la erosión basada en la capacidad de carga, *USPED* (Unit Stream Power based Erosion/Deposition) por sus siglas en inglés, considera la forma del terreno y la cobertura vegetal para determinar la erosión y deposición de partículas. A diferencia de la EUPS, limitada por el desprendimiento de partículas, USPED tiene como factor limitante la capacidad de transporte de partículas (McKay, 2008; Mitsova; 2001). Al igual que EUPS, los parámetros que alimentan el modelo USPED son principalmente la pendiente, la cobertura vegetal, el tipo de suelo, la distribución espacial y volumen de lluvia; sin embargo también se considera el área aportadora aguas arriba y la curvatura del perfil. En general USPED predice mayores tasas de erosión y velocidades de flujo en terrenos convexos, mientras que en zonas cóncavas ocurre la deposición y bajas velocidades de flujo además de distinguir la erosión laminar de la que ocurre en surco.

Cuando se ha perdido por completo el suelo, el proceso de regeneración es lento ya que los agentes primarios formadores tienen que recolonizar el área, es decir, se inicia el proceso de sucesión ecológica. Cuando existe ya una cobertura vegetal desarrollada, la formación del suelo es un proceso constante ya que la materia prima, biomasa vegetal, existe en abundancia. A su vez, las plantas a través de raíces y troncos, evitan el lavado del suelo, generan porosidad en el mismo ayudando a la percolación del agua para la recarga de mantos acuíferos y aumentando la cantidad de oxígeno que sostienen a la microfauna del suelo. Así la relación suelo-planta implica muchos ciclos en un ecosistema y para determinar el estado actual y prospectivo del suelo se tiene que conocer el de la cobertura vegetal.

Uno de los principales indicadores de cobertura vegetal es el NDVI, por sus siglas en inglés, o índice de vegetación normalizada. En México el uso de este índice ha sido generalizado en la detección de degradación de cubierta forestal (Meneses, 2009) ya que estima la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de radiación fotosintética activa. Las células vegetales sanas son capaces de dispersar la radiación solar, es decir, absorben la energía contenida en la región espectral del rojo (0.63 y 0.69  $\mu\text{m}$ ) mientras que reflejan en la región del infrarrojo cercano (0.76 y 0.9  $\mu\text{m}$ ). Esta cualidad es detectada por los satélites gracias a sus sensores remotos.

Agencias internacionales utilizan este índice para monitorear los recursos vegetales en su territorio. Respecto a otros índices más complejos, NDVI es de sencillo cálculo e interpretación directa, además por su amplio uso, permite la comparación entre datos; sin embargo posee poca capacidad para minimizar la influencia del suelo y la atmósfera cuando se presenta una cobertura vegetal rala o en malas condiciones.

Otro factor de interés para determinar la degradación de una cuenca, es el agua. Su disponibilidad y calidad determinan no solo el medio ambiente sino que es limitante del desarrollo poblacional. A su vez, como todo lo que ocurre dentro de una cuenca, el agua está relacionada fuertemente con el estado del suelo y la cobertura vegetal, es decir, si en la cuenca hay una alta tasa de erosión hídrica, las partículas desprendidas del suelo se concentrarán en los cauces y una fracción de ellos se disolverá en el flujo en detrimento de la calidad del agua. Así mismo, al disminuir la cobertura vegetal, no ocurre adecuadamente el proceso de infiltración y en consecuencia los mantos acuíferos no son recargados. La afectación al ciclo hidrológico es un factor limitante para la vida dentro de una cuenca; el hombre puede vivir en terrenos estériles y sin cobertura vegetal, pero el recurso agua es indispensable para su supervivencia ejerciendo una fuerte presión sobre el uso de dicho recurso, de hecho en la Zona Metropolitana del Valle de México es 117 veces mayor el volumen de agua que demanda la población y sus actividades económicas en comparación con la disponibilidad natural media de agua en la zona (Carabias *et al.*, 2005). La población se centra en el abastecimiento del recurso y satisfacer sus necesidades domésticas y productivas, no en cómo garantizar la conservación del agua o usarla de manera sustentable, este comportamiento tiende a aumentar según las condiciones de marginación y vulnerabilidad social. La percepción de la población sobre los problemas del agua carece aún de una visión integral del ciclo hidrológico y de sus interacciones con los demás recursos naturales y asuntos socioambientales por lo que la sensibilización hacia las repercusiones ambientales y la acciones de mitigación se vuelven procesos complicados en una población desinformada, con altos índices de marginación y vulnerabilidad social.

Para revertir las acciones que desgastan los recursos naturales en una cuenca, primero es necesario generar la información base que nos diga cuales son los niveles de degradación, su tendencia y las causas, relacionando el suelo, la vegetación, el agua y la población. Por ello en 1990 el Programa por el Medio Ambiente de las Naciones Unidas (PNUMA) solicitó al Centro de Referencia e Información de Suelos (ISRIC) la preparación de un mapa mundial escala 1:15M sobre la degradación global del suelo inducida por el hombre con bases científicas. Se solicitó la colaboración de expertos en el tema de todo el mundo para que delinearan en un mapa base topográfico estándar

unidades que mostraran cierta homogeneidad en cuanto a la fisiografía, el clima, la vegetación, la geología, los suelos y el uso de la tierra y dentro de ellas identificar los tipos de degradación de suelos evaluando su grado de degradación por su extensión relativa dentro de la unidad y por el tipo de intervención humana que llevó a esa situación. Los resultados regionales fueron entonces generalizados y compilados como el mapa mundial y posteriormente digitalizados para conformar el mapa de GLASOD (Global Assessment of Soil Degradation, 1988).

Cabe señalar que los datos de GLASOD se basan en estimaciones cualitativas y proporcionan solo una primera aproximación del estado global de la degradación de los suelos.

En 1997 Van Lyden y Oldeman proponen el método ASSOD (Assesment of the Status of Human-Induced Soil Degradation), el cual es promovido por la FAO, y se fundamenta en la metodología de GLASOD con algunas modificaciones, tal como la eliminación del proceso de degradación biológica debido a que se buscó homogeneizar la instrumentación de la metodología ya que dicho proceso era estimado a través de diferentes variables según la disponibilidad de información que tuviese cada país. Sin embargo, se mantiene un acercamiento de la metodología ASSOD a la degradación biológica a través de la incorporación de la pérdida de fertilidad del suelo dentro de la degradación química.

Se trata de un método con miras a desarrollar bases de datos nacionales y regionales georeferenciadas para ser utilizadas no solo en las tareas de control del estado de la degradación de suelos sino también para estimar factores clave para el desarrollo sostenible. En acuerdo con la FAO se preparó un mapa fisiográfico y una base de datos a escala 1:5M donde se evalúa el estado de la degradación de suelos inducida por el hombre.

Las actividades de GLASOD y ASSOD mencionadas anteriormente proporcionan una evaluación cualitativa del estado de la degradación del suelo.

En México los estudios de degradación de suelo iniciaron a mediados de los años cuarenta sin embargo es en la década de los noventa cuando se realiza un estudio formal que incluye no sólo la evaluación de la erosión, sino también los procesos relacionados con las actividades humanas que degradan el suelo.

Como resultado de los esfuerzos realizados por SEMARNAP, en 1997, se generó el Mapa de la Evaluación de la Degradación del Suelo a escala 1:4M que sirvió como base para una evaluación más detallada en 1999 (a escala 1:1M) siguiendo la metodología GLASOD. Como ya se ha mencionado la evaluación consistió en dividir al país en unidades fisiográficas homogéneas (topografía, clima, vegetación, geología, suelo y uso del suelo).

Se estimó visualmente el porcentaje de la unidad en condiciones de degradación reconociéndose dos grandes categorías de procesos de degradación del suelo: la degradación por desplazamiento del material del suelo, que tiene como agente causal a la erosión hídrica o eólica y la degradación resultante de su deterioro interno, que considera a los procesos de degradación química, física y biológica. Según el estudio, 64% de los suelos del país presentaban o estaban en el área de influencia de los procesos de degradación.

La evaluación de 1999 aportó información valiosa sin embargo su escala no es la adecuada para diseñar programas de manejo o de restauración de suelos. Es por eso que en 2001 como parte del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2000-2006 que realiza la SEMARNAT se llevó a cabo el proyecto “Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana a escala 1:250,000”, en colaboración con el Colegio de Postgraduados. Su elaboración se hizo a partir de una valoración directa de los suelos de México en campo y se basó en la metodología ASSOD. Según este estudio, la superficie afectada por algún tipo de degradación representa el 45% del territorio nacional.

## 5 MATERIALES

---

Para la localización del área de estudio y trazo de la cuenca y unidades hidrográficas, se empleó el software Google Earth, ArcMap 9.3, SWAT y los shapes vectoriales de hidrología superficial y raster topográficos para las zonas E14A28, E14A29, E14A38 y E14A39 generados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), así como imágenes satelitales LandSat 7 ETM+ y verificación en campo. El INEGI (2009) tiene a disposición la información digital de elevación del país, MDEs. La estructura de datos es de un arreglo matricial a escala 1:50 000 con una resolución espacial de un segundo (30 m) y los valores de ubicación están referenciados al sistema geodésico ITRF92 época 1988; las alturas ortométricas se registran en unidades enteras de metro y están referidos al nivel medio del mar, con base en el Datum Vertical para Norteamérica de 1929 (NAVD29). El modelo digital de elevación extraído de INEGI tiene como coordenada extrema superior izquierda 452790x, 2162584y UTM 14N ITRF92 con un total de 2159 columnas y 1514 filas a una resolución de pixel interpolada de 10 m.

En el capítulo de caracterización de cuencas y unidades hidrográficas se empleó el MDE de la zona y el shape vectorial de hidrología superficial los cuales fueron analizados con la paquetería ArcMap 9.3.

Para la descripción del medio natural se consultaron los shapes vectoriales temáticos de geología, edafología, uso de suelo y vegetación e hidrología superficial y subterránea escala 1:250,000, así como los topográficos escala 1:50,000 y 1:250,000 para las zonas E14A28, E14A29, E14A38 y E14A39 generados por INEGI. En cuanto a la determinación del clima e hidrología se usaron datos de normales climatológicas y del extractor de información climatológica ERIC III. Para el caso de los tipos de vegetación y cobertura se consultó el Inventario Nacional de Suelo (2000). Finalmente en el procesamiento y generación de mapas se utilizó la paquetería ArcMap 9.3 con las especificaciones geográficas siguientes: Elipsoide WGS84, proyección Universal Transversal Mercator zona 14 Norte. Para el apartado de Acuíferos se consultó la base de datos del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) para determinar el aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas dentro de la cuenca, así como

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

---

datos proporcionados por la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México. Para los datos volumétricos en la descripción de la presa Madín, se consultaron los boletines hidrológicos para el Valle de México del año 1978 a 2006 publicados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Para el apartado de Acuíferos se consultó la base de datos del Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) para determinar el aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas dentro de la cuenca, así como datos proporcionados por la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México. En el apartado de áreas naturales protegidas se consultó la base de datos de la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP), datos proporcionados por la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México y Planes de manejo municipales.

Para la descripción del medio socioeconómico, en el apartado de vías de acceso de la cuenca se utiliza la información generada en las visitas a campo e información topográfica 1:50,000 de INEGI. En el apartado de división política se mencionan los municipios y localidades que conforman a la cuenca. Las localidades consideradas son las descritas en el II Censo de Población y Vivienda 2005, INEGI. Para el caso de la demografía poblacional se plantea una proyección a 30 años con base en la tendencia observada en el II Censo de Población y Vivienda 2005, del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y el Consejo Nacional de Población (CONAPO). En el apartado de descripción municipal y características socioeconómicas se caracterizan las localidades que conforman a la cuenca con base en los descriptores poblacionales empleados en el II Censo de Población y Vivienda 2005 (INEGI) y por CONAPO, CONEVAL, Comisión Nacional de Salario Mínimo (CONASAMI) sobre la pobreza y grado de marginación. Para definir la tenencia de la tierra se consultó el Registro Agrario Nacional (RAN) y los Planes de Manejo Municipales.

Para determinar la situación actual del suelo se evaluó la erosión hídrica de la cuenca empleando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. En el álgebra de mapas se utilizaron capas raster procesadas con la paquetería ArcMap 9.3 todas con una coordenada extrema superior izquierda 452790x, 2162584y UTM 14N WGS 84 con un total de 2159 columnas y 1514 filas a una resolución de pixel de 10 m. Para determinar la erosividad de la lluvia se generó un raster basado en el raster de precipitación media anual (P), generado en el apartado de clima, al que se le aplicó la ecuación  $1.9967P + 0.00370P^2$  y se le nombró R. Con base en la capa vectorial de tipo de suelo generada por INEGI, y utilizada en la descripción del medio natural, se genera el raster sobre erosionabilidad del suelo, llamado K, al considerar los valores referidos por FAO (1980). Para determinar el factor LS (pendiente-longitud) se deriva del MDE la pendiente del terreno, en porcentaje, con el módulo Slope de la paquetería ArcMap 9.3. Posteriormente, para determinar el factor LS se aplica la ecuación



$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m (0.065 + 0.045S + 0.0065S^2)$  utilizada para  $S \leq 20\%$ ,  $\lambda < 350 m$ , donde S es el raster de pendiente previamente generado y  $\lambda$  es 10, ya que esta es la resolución a la que se realiza el análisis y a la que el programa ArcMap 9.3 asigna valores. Para determinar el cambio en la cobertura vegetal y uso de suelo, se emplearon dos imágenes satelitales LandSat 7 ETM+ de febrero, que según el climograma desarrollado en la descripción del medio natural corresponde a la temporada de secas para el año 2000 y 2008, escena 26/47. Ambas imágenes se calibraron radiométricamente con la paquetería ENVI 4.7 utilizando los valores reportados en el metadato de cada imagen. Para determinar el cambio de uso de suelo se aplica a ambas imágenes el índice de vegetación de diferencia normalizada, NDVI por sus siglas en inglés, con base en ellas se determina el uso de suelo a través de recorridos en campo y la generación de polígonos de entrenamiento para desarrollar así una clasificación supervisada. Una vez obtenida la clasificación del uso de suelo para la imagen del 2008, se le asignan los valores del factor C y P considerados por Figueroa *et al.*, (1991).

Para determinar la producción y deposición de sedimentos según la USPED se emplean como insumos los raster generados para los factores R, K, C y P. Con la paquetería ArcMap 9.3 y en base al MDE, se deriva la pendiente del terreno en grados (Sgrados), el aspecto (aspect), así como la dirección (flowdir) y acumulación (flowacc) del flujo.

La situación actual del agua en la cuenca se determinó con información brindada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Servicio de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Atizapán (SAPASA), recorridos en campo y la consulta de Planes de Desarrollo Urbano para cada municipio. Para los apartados de calidad del agua y saneamiento se consulta los trabajos realizados por el Laboratorio de Control de Calidad del Agua de la Comisión Nacional del Agua de los años 1983 y 1987 y el muestreo realizado por la Tecnología Ambiental y Construcciones S.A. de C.V., en 1997, enfocados en la calidad de agua en cauces y vaso de la presa Madín. La administración de aguas superficiales, subterráneas y sus bienes inherentes se realizó con base en los registros reportados en REPDA.

La degradación de la cuenca se determina por álgebra de mapas al asignar valores ponderados a los raster de erosión actual, uso de suelo, pendiente y zona de riesgo de degradación. El raster de zona de riesgo se genera a partir de la capa de uso de suelo al trazar un buffer de 50 m de grosor alrededor del suelo desnudo. Para reconocer la tendencia a la degradación se consideran los resultados obtenidos en el cambio de cobertura vegetal así como las zonas de riesgo, calidad del agua, actividades económicas y población.

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

Las secuencia de acciones e insumos necesarios para los objetivos establecidos en este trabajo se presentan de forma esquemática en la Figura 5.1 en la que se indican por colores las actividades realizadas de cada sección de este estudio.

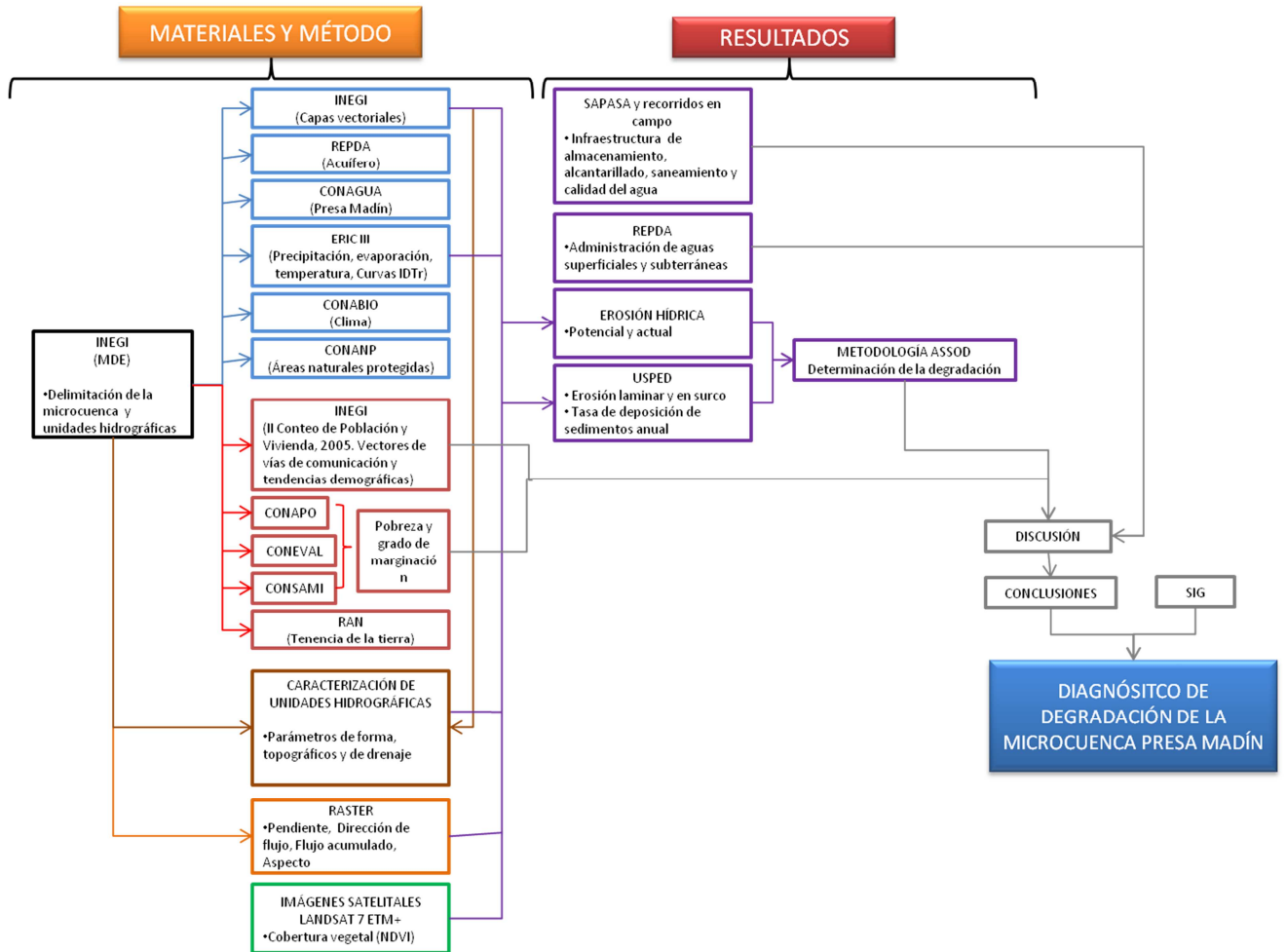


Figura 5.1 Diagrama de flujo de la metodología general para la realización del Diagnóstico de la Cuenca de la Presa Madín\*

\*La Delimitación de Unidades Hidrográficas y de la Cuenca se muestra en el recuadro negro, la Caracterización de Unidades Hidrográficas en color marrón, la Descripción del Medio Natural se identifica con el color azul, la Descripción del medio socioeconómico se presenta en color rojo, los insumos para la situación actual del suelo, vegetación y agua en color naranja y verde respectivamente. En morado se muestran los análisis realizados para determinar el nivel de degradación del suelo, vegetación y agua y en grises el análisis de los resultados y la sistematización de la información en un sistema de información geográfico (SIG).



# 6 METODOLOGÍA

---

## 6.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

En México, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en conjunto con INEGI e INE se ha encargado de la división hidrológica e hidrográfica del territorio nacional hasta el nivel de subcuenca, por lo que el presente trabajo se apega a esta propuesta jerárquica. Conforme a lo anterior, la presa Madín, con base en el Simulador de Flujos de Agua de Cuencas (SIATL) de INEGI, pertenece a la región hidrológica 26 Pánuco, en la cuenca del Valle de México, subcuenca Ciudad de México.

Por lo anterior unidad aportadora de escurrimiento de la presa Madín corresponde jerárquicamente y según su superficie total, a la categoría de cuenca y las subsecuentes delimitaciones inferiores a unidades hidrográficas, conforme a la delimitación de INEGI.

La presa Madín se ubica en el Estado de México, al noroccidente del Distrito Federal, en el límite de los municipios Naucalpan de Juárez y Atizapán de Zaragoza con coordenada 19° 31' 34" N y 99° 15' 39" W (Figura 6.1). Su corriente alimentadora principal es el Río Tlalnepantla.

Se accede a la presa a través de la Av. Adolfo Ruiz Cortines o la Carretera Federal No. 57 Ciudad de México-Toluca, hasta entroncar con la Av. Dr. Jorge Jiménez Cantú (Figura 6.2). La presa está inmersa en una zona de alta densidad poblacional, se encuentran cercanas las localidades de Nuevo Madín, La Concordia, Fuentes de Satélite, Fraccionamiento Chiluca, Lomas de Valle Escondido y Zona Esmeralda.

El acceso al municipio de Jilotzingo puede ser por dos vías, la primera es por la carretera estatal Naucalpan-Ixtlahuaca a la cual se puede acceder por San Mateo Nopala o la autopista Chamapa-Lechería. En la carretera estatal se localizan las desviaciones hacia Santiago Tepatlaxco, Agua Buena, San Luis Ayucan y Las Manzanas y

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

de éste al Barrio de San José. La segunda es por el Blvd. Espíritu Santo-Chiluca el cual no se encuentra pavimentado y debido al escaso mantenimiento es una vía de difícil acceso. En su trayecto se encuentra el colegio La Salle S.C., la desviación a la Mina Chiluca, Club Ecuestre Chiluca S. A. y Oficinas del Ejido Santa María Mazantla. En su parte final entronca con la carretera estatal Naucalpan-Ixtlahuaca.

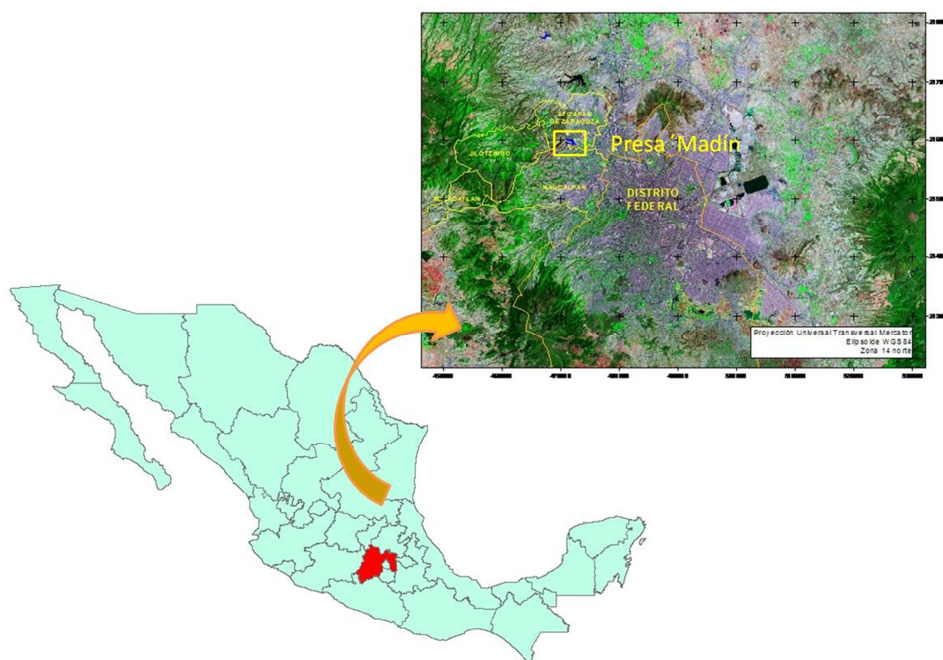


Figura 6.1 Ubicación de la presa Madín



Figura 6.2 Vías de acceso a la presa Madín

## 6.2. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA

La cuenca, subcuenca y cuenca, así como las subsecuentes divisiones, son unidades de drenaje (Chow, 1962) ya que su superficie se delimita por un parteaguas que induce la formación de la red de drenaje única. Esta red se define por la topografía del área.

Para la delimitación de la cuenca se definió un polígono de extracción con coordenada extrema superior izquierda 452790x, 2162584y UTM 14N ITRF92 con un total de 2,159 columnas y 1,514 filas para una resolución de 10 m por pixel. Esta área cubre la zona de estudio y la información extraída del Continuo Nacional de Elevación se entrega con la extensión \*.bil, el cual se transformó a un formato \*.grid con ayuda de la paquetería ArcMap 9.3. Los parámetros de proyección son UTM zona 14 N, Datum Elipsoide WGS 84 (Figura 6.3).

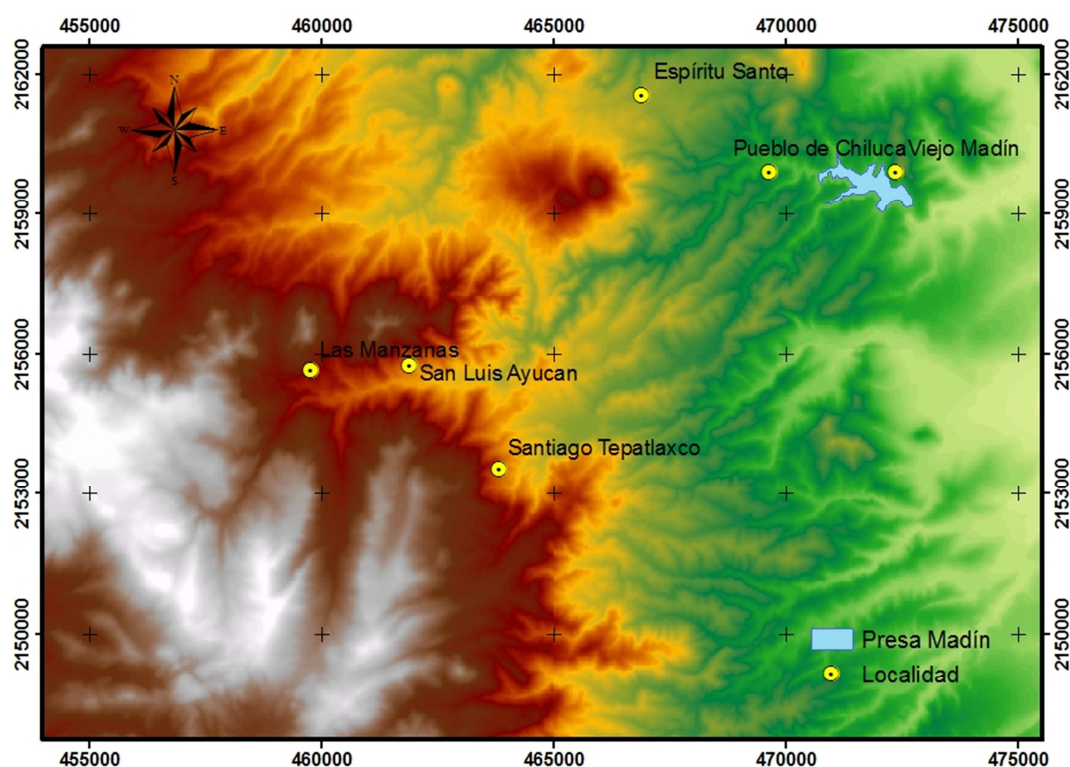


Figura 6.3 Modelo de Elevación Digital (Proyección UTM Zona 14N, Datum WGS84)

Para la delimitación de la cuenca se utilizó el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool). El modelo basa el comportamiento hidrográfico en el MDE del área. Una vez que se define la información de georeferencia del MDE y conforme a sus valores, se establece para el modelo la escala de análisis (10 ha) para la dirección del flujo, los



## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

sitios de unión entre cauces y puntos descarga (Figura 6.4 y 6.5). Se define el punto de salida de la cuenca y éste traza el parteaguas, posteriormente traza las unidades inferiores.

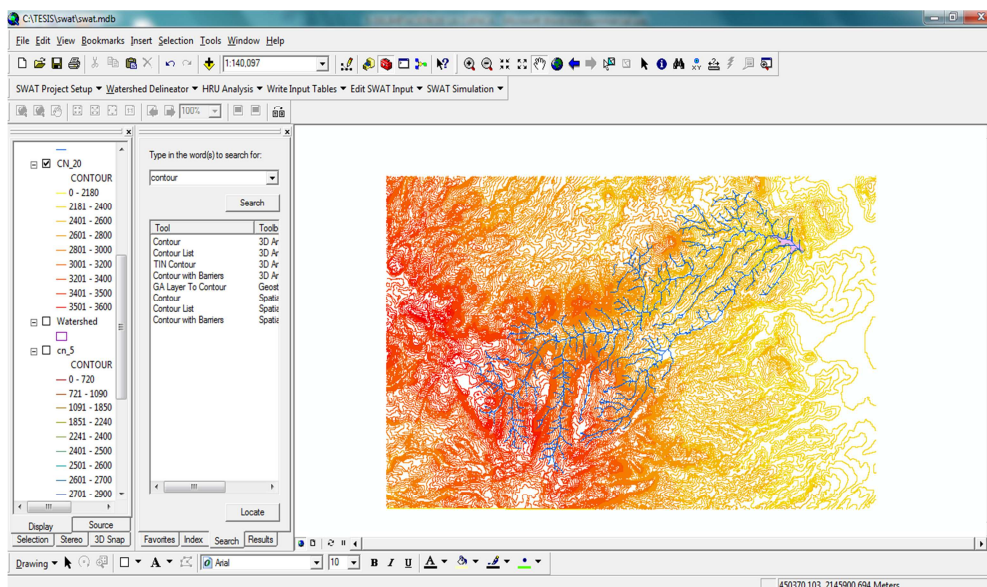


Figura 6.4 Red hidrográfica definida por SWAT

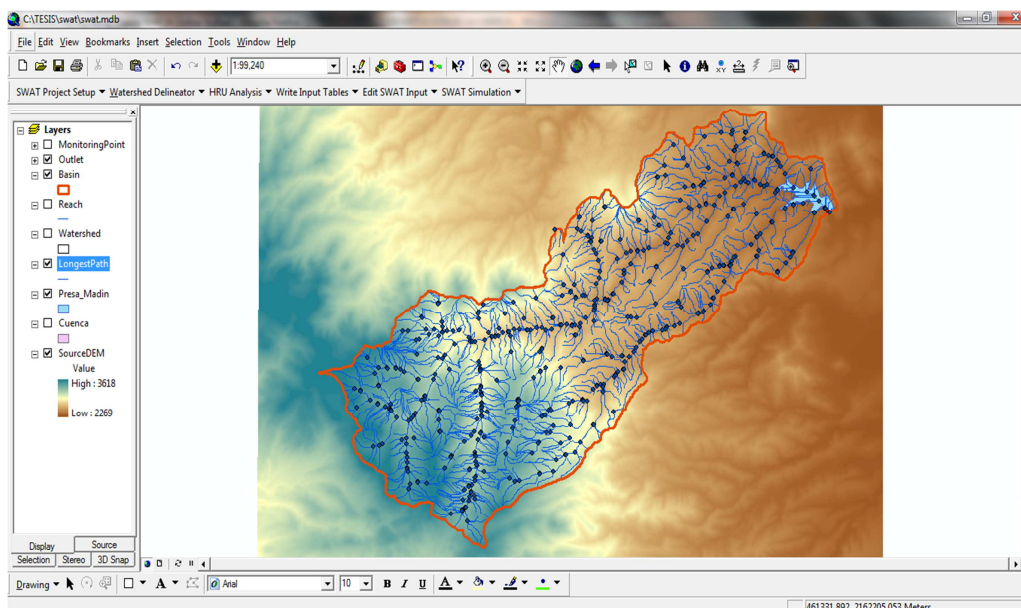


Figura 6.5 Delimitación de la cuenca con base en las corrientes que alimentan la presa Madín por SWAT

Tomando como referencia el shape del parteaguas trazado por SWAT y con base en puntos de control en campo y curvas de nivel a 5 m, interpoladas del MDE a través del módulo Contour de la paquetería ArcMap 9.3, se edita el shape de forma manual

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

como se observa en la Figura 6.6. Finalmente se obtiene el trazo definitivo de la cuenca de la presa Madín (Figura 6.7).

En su totalidad la cuenca de la presa Madín cuenta con 99.93 km<sup>2</sup>, de los cuales 0.81 km<sup>2</sup> corresponden al nivel de máximo de embalse máximo de la presa, tiene un perímetro de 59.92 km, su rango altitudinal va de los 2,333 m a 3,542 m snm.

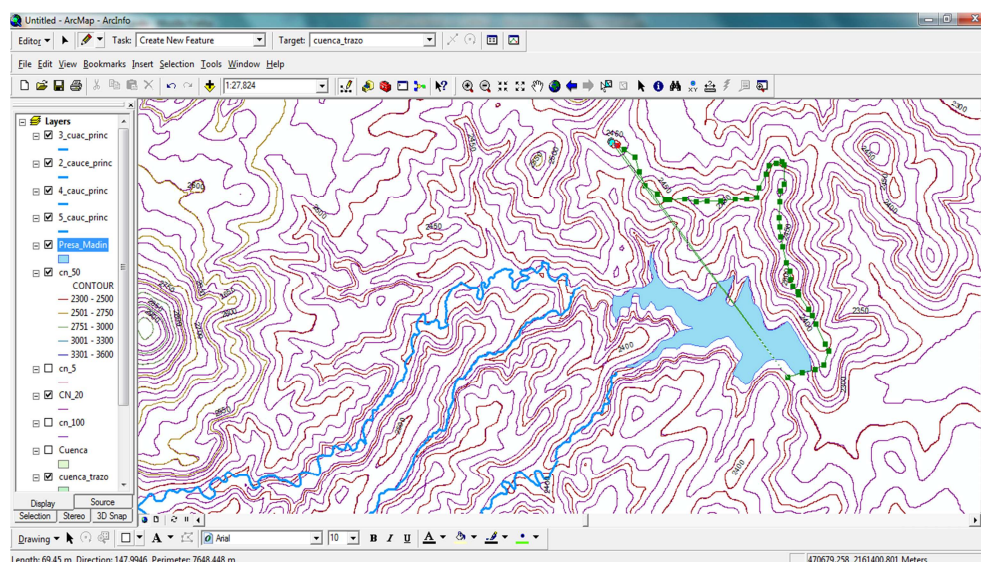


Figura 6.6 Delimitación manual de la cuenca de la presa Madín

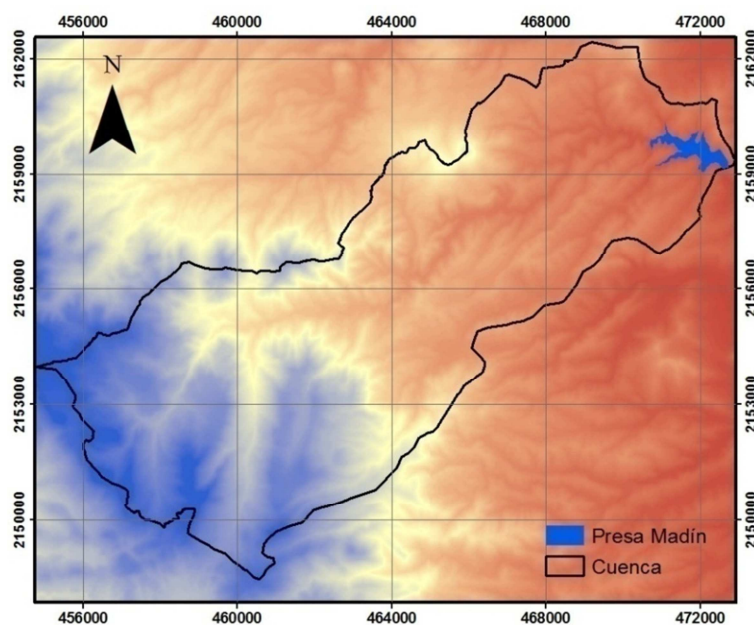


Figura 6.7 Cuenca de la presa Madín (Proyección UTM Zona 14N, Datum WGS84)

### 6.3. DELIMITACIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS (UH)

Se delimitan las Unidades Hidrográficas (UH) con el modelo SWAT, tomando en cuenta la red de drenaje, el MDE y el límite de la cuenca previamente trazado.

Se utilizaron como criterio de discretización para la definición de UH las aportaciones de la cuenca hacia el vaso de la presa y se identificaron cuatro puntos: El Río Tlalnepantla, también conocido como Río San Luis, el Río San Juan y el Arroyo El Muerto, considerando los pequeños afluentes propios de la periferia del vaso como una unidad conjunta de aportes (Figura 6.8).

Ya que el Río Tlalnepantla abarca más de 70% de la superficie total de la cuenca, se consideró conveniente subdividir a esta UH en sus componentes de parte media, alta y baja, obteniéndose en total seis unidades hidrográficas (cinco UH y una unidad de aportación). En la Figura 6.9 se muestra la distribución de las mismas.

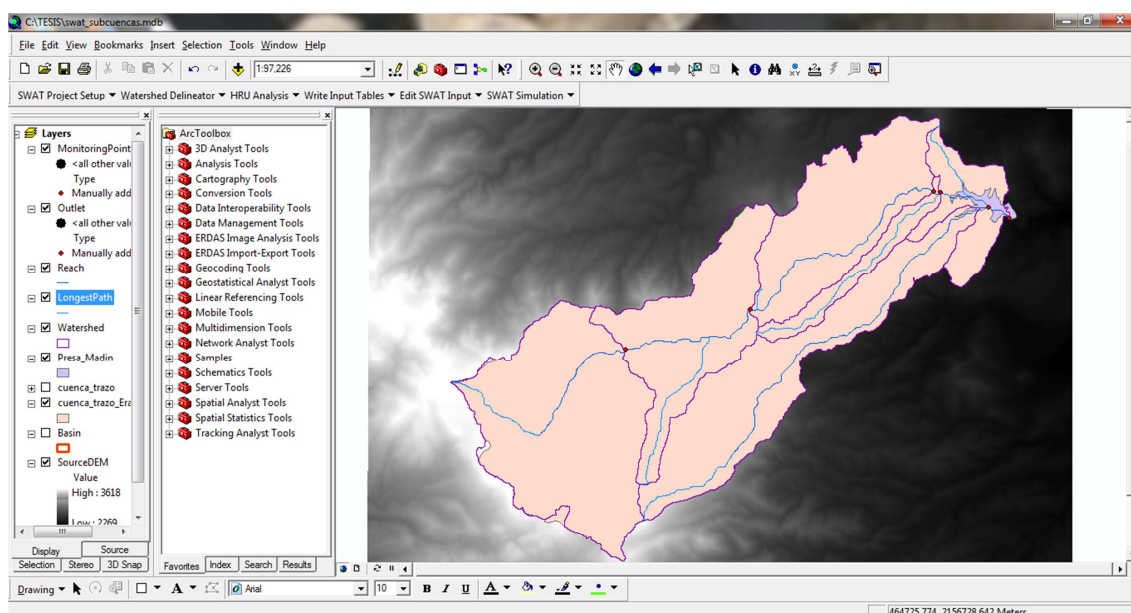


Figura 6.8 Delimitación de las unidades hidrográficas (UH)

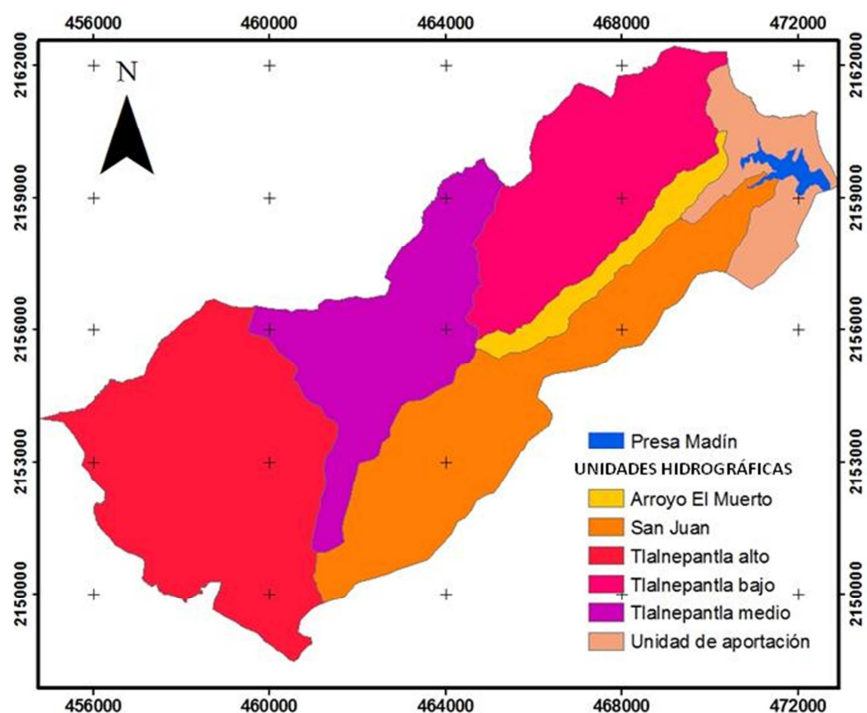


Figura 6.9 Unidades hidrográficas (UH) de la presa Madín

## 6.4. CARACTERIZACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA

El análisis morfométrico de una cuenca de drenaje es de gran importancia para comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico e hidrológico ya que ayuda a inferir de forma indirecta y cualitativa la respuesta hidrológica y geomorfológica (Méndez & Marcucci, 2006).

### 6.4.1. PARÁMETROS BÁSICOS

#### 6.4.1.1. Área

El área es la medida de la superficie delimitada por el parteaguas de una cuenca. Se calcula a través de la representación a escala de la cuenca y por lo tanto la medida calculada no coincidirá con la real ya que se trata de una proyección horizontal de la superficie de la cuenca. En tanto que el relieve sea mayor, el error de cálculo de la superficie también (Jardí, 1985).



El área de la cuenca no sólo determina el comportamiento de otras variables, también define la escala de los mapas y de injerencia de los trabajos, y con su relación con la hidrología nos brinda datos tan importantes como el coeficiente de escurrimiento (Jardí, 1985).

La cuenca de la presa Madín presenta una superficie de 99.93 km<sup>2</sup> de los cuales 0.81 km<sup>2</sup> corresponden al nivel de embalse máximo de agua de la presa.

#### **6.4.1.2. Perímetro**

Al igual que en el caso del área, la proyección planar del parteaguas, es decir, el perímetro de la cuenca tendrá un error de medición producto del relieve del terreno. Este parámetro se encuentra relacionado con la litología y edad de la cuenca. Se ha encontrado (Jardí, 1985) que las cuencas con formas redondeadas se encuentran en litologías de materiales blandos o son aquellas ubicadas en una etapa madura de su desarrollo.

Las cuenca de la presa Madín tiene un perímetro de 59.92 km.

#### **6.4.2. PARÁMETROS DE FORMA**

La forma de la cuenca es la configuración geométrica de la misma tal como está proyectada sobre el plano horizontal, lo cual influye en la forma del hidrograma.

Los parámetros de forma relacionan el área de drenaje y el perímetro-área de la cuenca y se enlistan a continuación:

- Índice de forma
- Relación de circularidad
- Coeficiente de compacidad
- Proporción de elongación



#### **6.4.2.1. Índice de forma**

Definido por Horton, es la relación que existe entre el área de la cuenca y el cuadrado de la longitud máxima del cauce principal (ecuación 6-1).

$$I_f = \frac{A}{Lb^2} \quad (6-2)$$

Donde:

$I_f$  = Índice de forma (adimensional)

$A$  = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

$Lb^2$  = Longitud de la corriente principal (km)

El escurrimiento resultante de una lluvia sobre una cuenca de forma alargada no se concentra tan rápido como en una cuenca de forma redonda (Londoño, 2001). Cuanto más cercano a cero sean los valores del índice de forma, la figura de la cuenca es alargada.

#### **6.4.2.2. Relación de circularidad**

También conocido como índice de circularidad de Miller (González, 2004). Es la relación que existe entre el área de la cuenca y el área de un círculo que tiene el mismo perímetro de la cuenca (ecuación 6-2).

$$R_c = \frac{4\pi A_{cuenca}}{P^2} \quad (6-1)$$

Donde:

$R_c$  = Relación de circularidad

$A$  = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

$P$  = Perímetro de la cuenca (km)

Los valores de éste parámetro se mueven entre el 0 y 1, de tal forma que las cuencas más cercanas a la geometría circular tienden a uno.

### 6.4.2.3. Coeficiente de compacidad

Se le conoce también como índice de compacidad o índice de Gravelius (González, 2004). Es la relación que existe entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo que tenga la misma área de la cuenca (ecuación 6-3).

$$C_c = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \quad (6-3)$$

Donde:

C<sub>c</sub> = Coeficiente de compacidad (adimensional)

P = Perímetro de la cuenca km

A = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Entre más lejano se encuentre su valor a la unidad, indicará que la cuenca presenta una baja compacidad ya que no es circular sino más bien ovalada. Debe tenerse en cuenta que entre más redonda es una cuenca más tarda en llegar la onda de crecida al punto de descarga de la cuenca, pero el caudal será mayor (González, 2004). Los valores de éste coeficiente nunca serán inferiores a uno.

Conforme a la cuantificación de este coeficiente se han determinado categorías para su clasificación como se muestran en el Cuadro 6.1.

Cuadro 6.1 Clasificación de cuencas según su Coeficiente de Compacidad

Valores de c <sub>c</sub>	Forma	Características
1,00 – 1,25	Compacta o redonda a oval redonda.	Cuenca torrencial peligrosa.
1,25 – 1,50	Oval redonda a oval oblonga.	Presenta peligros torrenciales, pero no iguales a la anterior.
1,50 – 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga.	Son las cuencas que tienen menos torrencialidad.

#### 6.4.2.4. Proporción de elongación

Es la relación que existe entre el diámetro de un círculo de igual área que la cuenca y la máxima longitud de la cuenca (ecuación 6-4).

$$P_e = \frac{2\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{L_c} \quad (6-4)$$

Donde:

$P_e$  = Proporción de elongación (adimensional)

$A_c$  = Área de la cuenca ( $\text{km}^2$ )

$L_c$  = Longitud del cauce de la cuenca km

$D_c$  = Diámetro de un círculo

$\pi$  = 3.1416

Cuanto más cercano a cero sean los valores de  $P_e$ , la figura de la cuenca es alargada.

Los parámetros de medición de la forma de la cuenca de la presa Madín se muestran en el Figura 6.10.

Los parámetros de medición de la forma de la cuenca indican que tiene una forma alargada, lejos de asemejarse a un círculo, se asemeja a un rectángulo. Lo anterior tiene influencia en el tiempo de concentración más tardío al punto de salida de la cuenca, ya que modifica el hidrograma y las tasas de flujo máximo. En contraste las cuencas con tendencia a la circularidad presentan tiempos más espaciados entre el momento de la precipitación y en el que se presenta la crecida en la desembocadura, al mismo tiempo la crecida resulta de mayor volumen y existe un alto riesgo a la inundación (González, 2004).

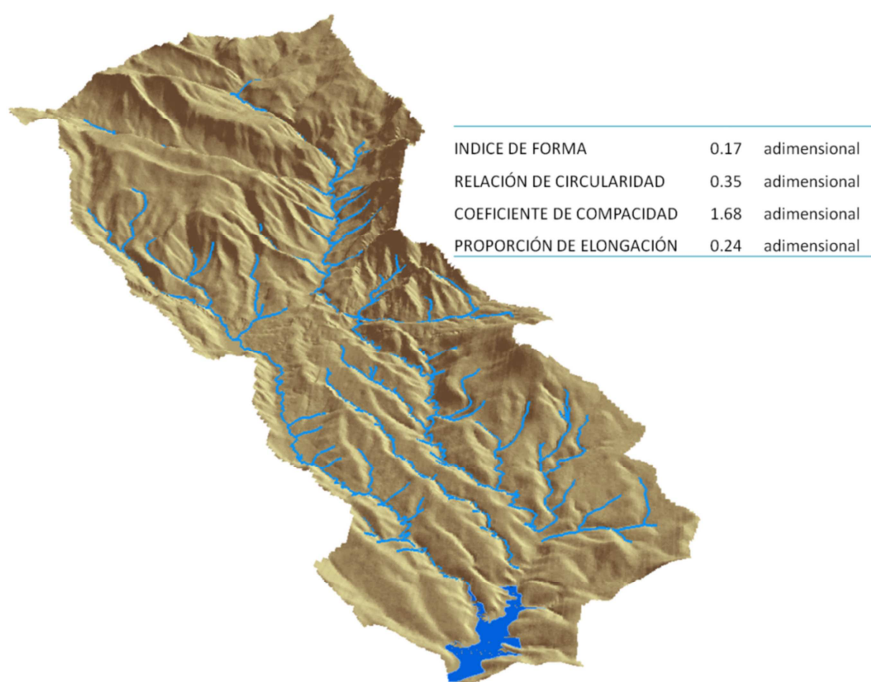


Figura 6.10 Índices de forma de la cuenca de la presa Madín.

### 6.4.3. PARÁMETROS TOPOGRÁFICOS

#### 6.4.3.1. PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL

La pendiente de un cauce relaciona la respuesta de una cuenca a una tormenta, el grado de infiltración, la capacidad de transporte de sedimentos, el escurrimiento superficial, la contribución del agua subterránea a la corriente y la duración del escurrimiento.

Como la pendiente varía a lo largo del cauce, es necesario definir una pendiente media, la cual se calcula con base al criterio de Taylor y Schwartz, es decir, se obtienen los desniveles por tramos directamente de la capa vectorial de curvas de nivel.

El pendiente por tramo se calculó según la ecuación 6-5:

$$S_n = \frac{Cota_2 - Cota_1}{L_c} \quad (6-5)$$

Donde:

$S_n$  = Pendiente del tramo, adimensional

$Cota_1$  = Altitud agua abajo

$Cota_2$  = Altitud aguas arriba

$L_c$  = Longitud del tramo n en km

Para la pendiente media del cauce principal se aplicó la ecuación 6-6:

$$S = \left[ \frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_m}{\sqrt{S_m}}} \right]^2 \quad (6-6)$$

Donde:

$S$  = Pendiente media, adimensional

$L$  = Longitud del cauce principal total en km

$l_n$  = Longitud del tramo n en km

$S_n$  = Pendiente topográfica del tramo n

La pendiente media del cauce principal de la cuenca de la presa Madín fue estimada en 2.34 %, lo que representaría que por cada kilómetro que la corriente avanza desde el punto donde inicia, descendería en promedio 23.4 metros de desnivel (Cuadro 6.2).

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Cuadro 6.2 Pendiente media del Río Tlalnepantla

<b>COTA MENOR (m snm)</b>	<b>COTA MAYOR (m snm)</b>	<b>LONGITUD ACUMULADA (km)</b>	<b>LONGITUD DEL CAUCE (m)</b>	<b>PENDIENTE (%)</b>
3120	3220	1.44	1443.00	0.07
3020	3120	2.63	1191.00	0.08
2920	3020	3.11	476.00	0.21
2820	2920	4.32	1208.00	0.08
2720	2820	5.67	1348.00	0.07
2620	2720	8.83	3166.00	0.03
2520	2620	11.68	2846.00	0.04
2420	2520	17.08	5400.00	0.02
2341	2420	23.97	6892.00	0.01

Este valor en realidad es solamente un promedio que no representa las condiciones generales de toda la cuenca, ya que en las condiciones naturales de una cuenca, en las partes más altas las corrientes descienden más rápido que en las partes más bajas. Además, mientras más larga sea una pendiente la cantidad de agua que se concentra será mayor, adquiere más velocidad erosiva y tiene posibilidades de arrastrar más material en suspensión (Peralta, 2009).

#### **6.4.3.2. CURVA HIPSOMÉTRICA**

La curva hipsométrica sugerida por Langbein (1947), proporciona una información sintetizada sobre la altitud de la cuenca, que representa gráficamente la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura. Dicha curva presenta, en ordenadas, las distintas cotas de altura de la cuenca, y en abscisas la superficie de la cuenca que se halla por encima de dichas cotas, bien en km<sup>2</sup> o en tanto por cien de la superficie total de la cuenca (Figura 6.11).

La forma de la cuenca de la Presa Madín, según Langbein está en etapa de madurez, formándose hacia la senectud en función de cómo inciden los procesos geológicos e hidrológicos en la cuenca. Su rango altitudinal va de los 2,333 m a 3,542 m snm y la altitud mediana se encuentra a los 2,733 m snm.

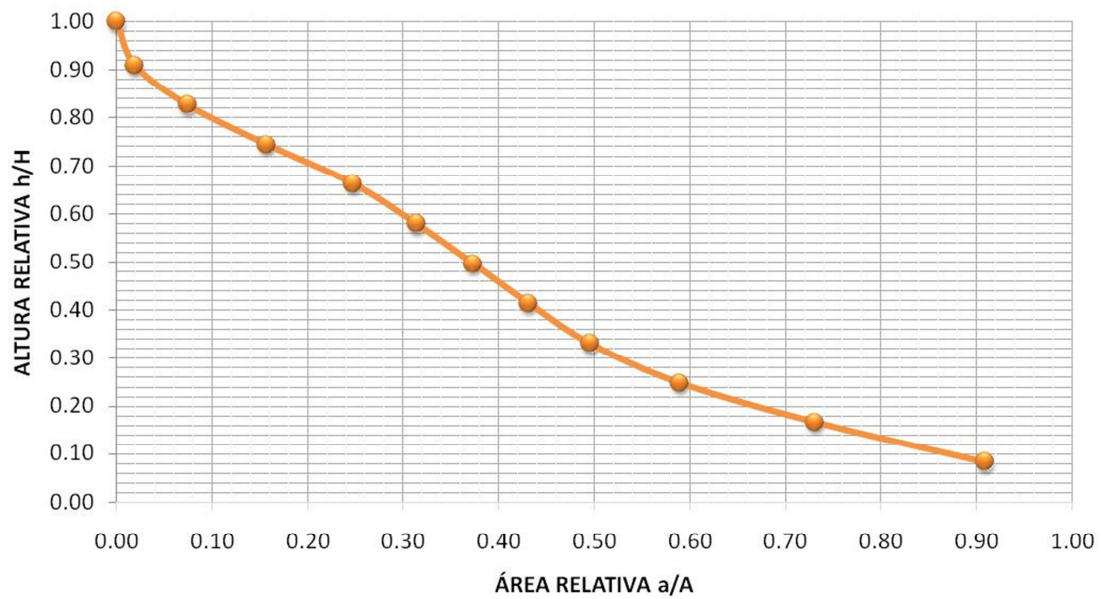


Figura 6.11 Curva hipsométrica de la cuenca de la presa Madín

### 6.4.3.3. PERFIL LONGITUDINAL

Para construir el perfil longitudinal del cauce, se usó el modelo digital de elevaciones (MDE) de la cuenca y se realizó una reclasificación de las alturas (Figura 6.12).

El cauce tiene una longitud aproximada de 23.97 km.

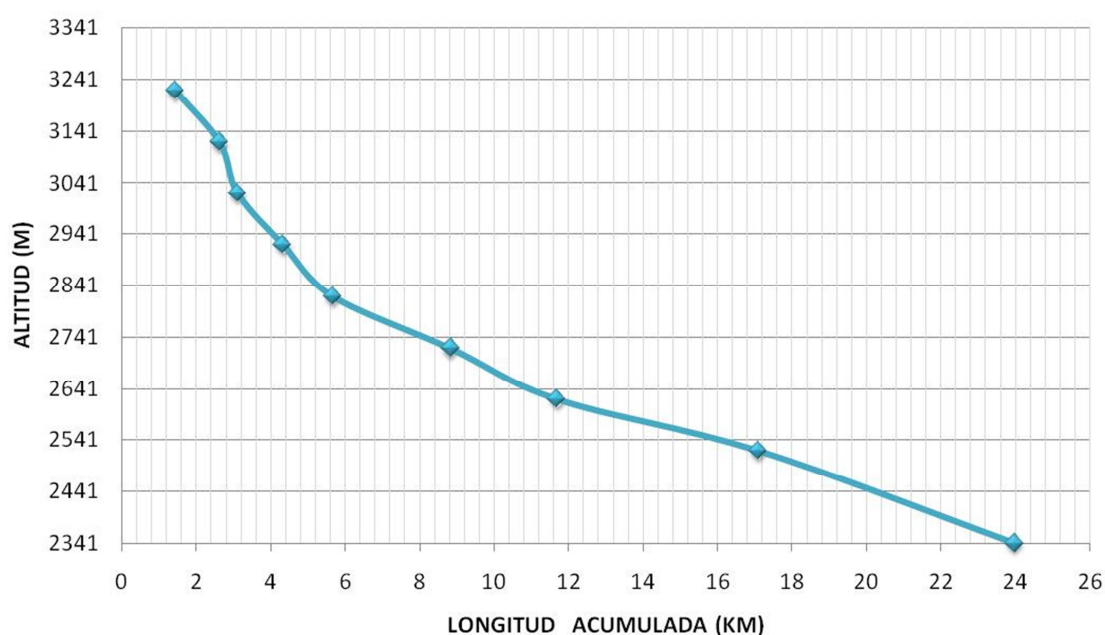


Figura 6.12 Perfil longitudinal del cauce principal de la cuenca de la presa Madín

## 6.4.4. PARÁMETROS DE DRENAJE

### 6.4.4.1. TIPOS Y SISTEMAS DE DRENAJE

Se define como patrón de drenaje a la forma como una red se aprecia en un área determinada.

Estos patrones dependen de varios factores:

- Pendiente de las laderas y del área de drenaje
- Cobertura vegetal
- Resistencia de la litología
- Caudal
- Permeabilidad del suelo
- Nivel e intensidad de lluvias
- Actividad estructural

El tipo y sistema de drenaje de la cuenca de la Presa Madín es dendrítico (Figura 6.13), lo que indica de manera general que la cuenca tiene las siguientes características:



- Litología con baja permeabilidad
- Mediana pluviosidad
- Poco caudal
- Zonas de inicio de ladera
- Pendientes moderadas a bajas
- Laderas bajas
- Rocas con resistencia uniforme

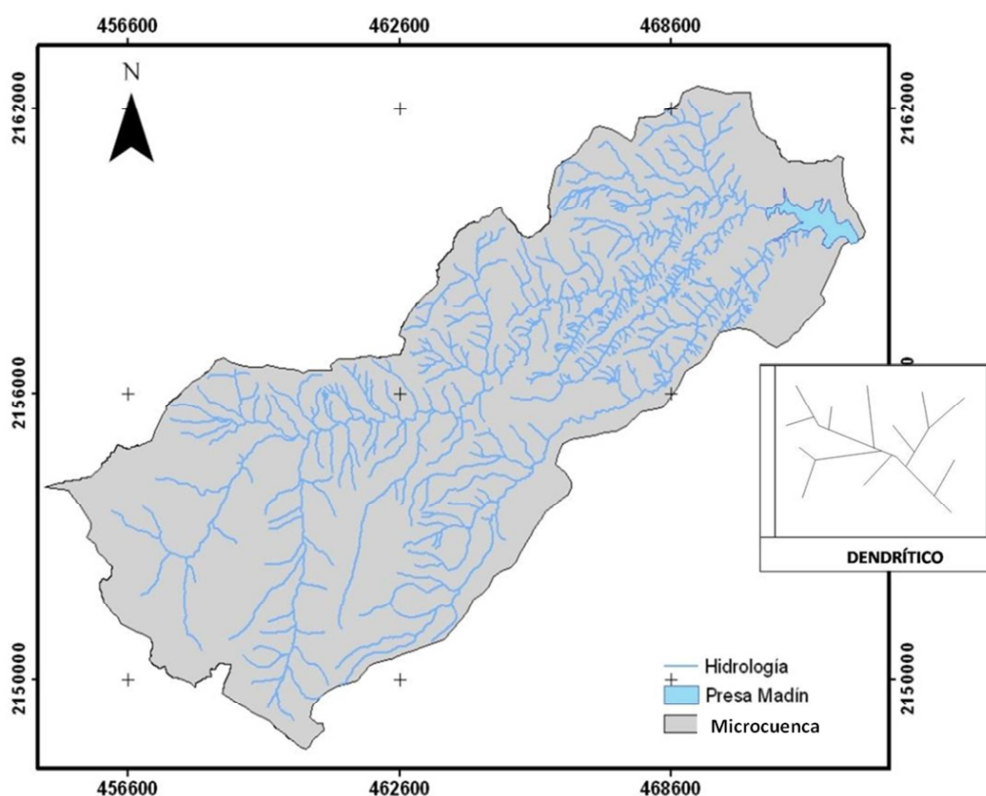


Figura 6.13 Sistema de drenaje dendrítico de la cuenca de la presa Madín

#### 6.4.4.2. ORDEN DE LOS CAUCES

En toda red fluvial hay una jerarquía de los cauces. Se consideran cauces de primer orden los más extremos de la red, que recogen la escorrentía difusa o laminar pero no concentrada. Los cauces de segundo orden son los resultantes de la unión de dos o más segmentos de primer orden, los de tercer orden resultan de la unión de dos o más cauces de segundo orden y así sucesivamente. El río colector principal es el que tiene el orden mayor.

El orden de los cauces de la cuenca de la Presa Madín, se muestra en la Figura 6.14.

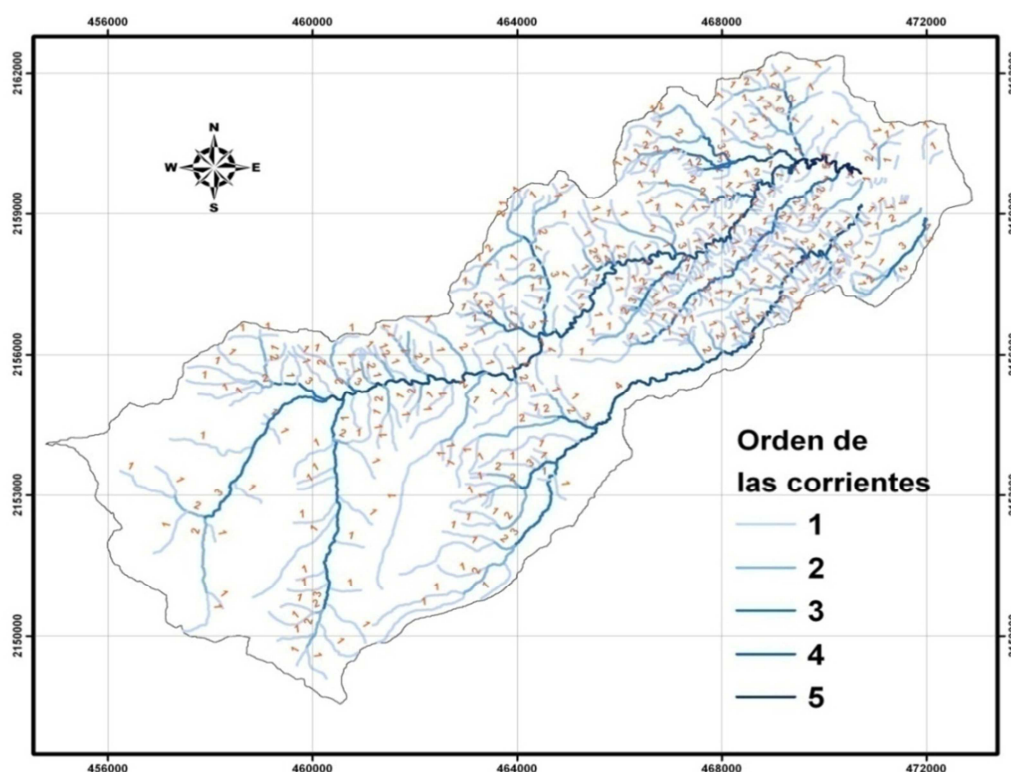


Figura 6.14 Orden de los cauces en la cuenca de la Presa Madín

#### 6.4.4.3. RELACIÓN DE BIFURCACIÓN

La relación de bifurcación permite comprender algunas variaciones geocológicas que se producen en el territorio de la cuenca, fundamentalmente cambios importantes en el sustrato rocoso y de los grupos de suelos dominantes. Se define como el cociente promedio de la relación entre el número de cauces de un orden y el número de cauces del orden inmediato superior. Londoño (2001) menciona que cuando los valores de la razón de bifurcación son bajos, existen picos fuertes en el hidrograma; y cuando son altos, el hidrograma es más uniforme. También, como norma general, valores muy altos de la razón de bifurcación permiten esperar cuencas alargadas, con multitud de tributarios de primer orden, vertiendo a una sola corriente principal.

#### **6.4.4.4. DENSIDAD DE DRENAJE**

La densidad de drenaje constituye otro parámetro que permite correlacionar la longitud total de los cauces en la unidad de superficie. Refleja la influencia de la geología, topografía, suelo y vegetación de la cuenca y se relaciona con el tiempo de concentración de la cuenca (ecuación 6-7).

$$D_d = \frac{L}{A} \quad (6-7)$$

Donde:

- $D_d$  = Densidad de drenaje (Km corriente/Km<sup>2</sup>)
- $L$  = Longitud total de los cauces (km)
- $A$  = Área total (Km<sup>2</sup>)

Valores altos de densidad de drenaje reflejan suelos fácilmente erosionables, con pendientes fuertes y escasa cobertura vegetal (Londoño, 2001). Monsalve (1995), Strahler (1979) y Lima (1986) establecen que las cuencas con una densidad de drenaje menor a 2 km/km<sup>2</sup> presentan un drenaje pobre, de 2 a 13.7 km/km<sup>2</sup> se considera un drenaje medio, mientras que por arriba de 13.7 km/km<sup>2</sup> están densamente drenadas.

#### **6.4.4.5. DENSIDAD HIDROGRÁFICA**

Es la relación de la cantidad de corrientes que existen en la cuenca entre la superficie de ésta (ecuación 6-8).

$$D_h = \frac{N_c}{A} \quad (6-8)$$

Donde:

- $D_h$  = Densidad hidrográfica (No. corriente/Km<sup>2</sup>)
- $N_c$  = Número total de corrientes (No. corriente)
- $A$  = Área total (Km<sup>2</sup>)

Las características obtenidas de los cauces de la cuenca de la Presa Madín se muestran en la Figura 6.15.

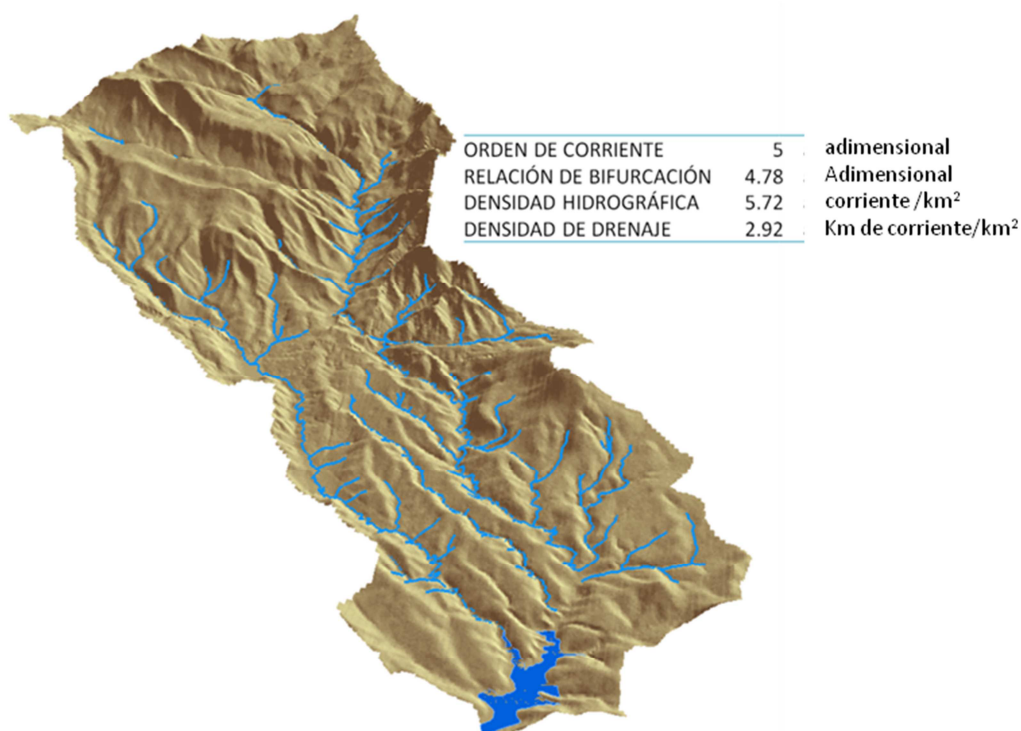


Figura 6.15 Índices de drenaje de la cuenca de la presa Madín

Como el valor de la relación de bifurcación ( $R_b$ ) es de 4.78, se encuentra dentro del rango definido por Horton para afirmar que la cuenca tiene variaciones considerables en sus características geocológicas, esto quiere decir que la explotación de los recursos naturales y la disposición final de los residuos generados por el hombre han alterado en gran manera las características naturales de la cuenca.

El valor obtenido de densidad hidrográfica ( $D_h = 5.72$ ) indica que en promedio existen casi 6 corrientes de cualquier orden, en un kilómetro cuadrado de superficie, se considera una cuenca con una densidad de corrientes mediana.

La densidad de drenaje es un indicador de la respuesta de la cuenca ante un evento de lluvia, por la relación entre la infiltración y la escorrentía, y por lo tanto condiciona la forma del hidrograma resultante en el desagüe de la cuenca. Por el valor medio obtenido ( $D_d = 2.92$ ), significa que es más dominante el flujo en el cauce que el flujo en ladera, lo que se traduce en un menor tiempo de respuesta de la cuenca y por tanto, un menor tiempo al pico del hidrograma.

## 6.5. CARACTERIZACIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS (UH)

A continuación los parámetros de caracterización hidrográfica aplicados a la cuenca, se calculan para cada unidad hidrográfica.

### 6.5.1. UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO TLALNEPANTLA ALTO

El cauce principal de la UH Río Tlalnepantla Alto corresponde a la parte alta del cauce principal de la cuenca.

Presenta un rango de elevación que va de los 3,542 m a los 2,730 m, siendo los más altos para todas las UH dentro del área de estudio.

Los parámetros de caracterización se muestran en la Cuadro 6.3.

Cuadro 6.3 Parámetros de caracterización de la UH Río Tlalnepantla Alto

ÁREA	30.15 Km <sup>2</sup>
PERÍMETRO	28.96 Km
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	6.69 Km
INDICE DE FORMA	0.67
RELACIÓN DE CIRCULARIDAD	0.45
COEFICIENTE DE COMPACIDAD	1.48
PROPORCIÓN DE ELONGACIÓN	0.46
PENDIENTE MEDIA DEL CUACE	8.3%
ORDEN DE CORRIENTE	4
RELACIÓN DE BIFURCACIÓN	3.78
DENSIDAD HIDROGRÁFICA	1.76
DENSIDAD DE DRENAJE	1.71

### 6.5.2. UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO TLALNEPANTLA MEDIO

El cauce principal de la UH Río Tlalnepantla Medio corresponde a la parte media del cauce principal de la cuenca. La UH presenta un rango de elevación que va de los 2,531 m a los 3,310 m.

Los parámetros de caracterización se muestran en el Cuadro 6.4.

Cuadro 6.4 Parámetros de caracterización de la UH Río Tlalnepantla Medio

ÁREA	17.59 Km <sup>2</sup>
PERÍMETRO	27.19 Km
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	7.59 Km
INDICE DE FORMA	0.30
RELACIÓN DE CIRCULARIDAD	0.30
COEFICIENTE DE COMPACIDAD	1.82
PROPORCIÓN DE ELONGACIÓN	0.31
PENDIENTE MEDIA DEL CUACE	8.2%
ORDEN DE CORRIENTE	4
RELACIÓN DE BIFURCACIÓN	4.71
DENSIDAD HIDROGRÁFICA	6.48
DENSIDAD DE DRENAJE	3.42

### 6.5.3. UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO TLALNEPANTLA BAJO

El cauce principal de la UH Río Tlalnepantla Bajo corresponde a la parte baja del cauce principal de la cuenca. La UH presenta un rango de elevación que va de los 2345 m a los 2909 m.

Los parámetros de caracterización se muestran en la Cuadro 6.5.

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

Cuadro 6.5 Parámetros de caracterización de la cuenca Río Tlalnepantla Bajo

ÁREA	18.79 Km <sup>2</sup>
PERÍMETRO	22.15 Km
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	11.40 Km
INDICE DE FORMA	0.14
RELACIÓN DE CIRCULARIDAD	0.48
COEFICIENTE DE COMPACIDAD	1.43
PROPORCIÓN DE ELONGACIÓN	0.21
PENDIENTE MEDIA DEL CUACE	1.7%
ORDEN DE CORRIENTE	5
RELACIÓN DE BIFURCACIÓN	4.32
DENSIDAD HIDROGRÁFICA	10.54
DENSIDAD DE DRENAJE	4.51

### 6.5.4. UNIDAD HIDROGRÁFICA ARROYO EL MUERTO

El cauce principal de la UH Arroyo El Muerto no corresponde al cauce principal de la cuenca y es conocido como arroyo El Muerto. La UH presenta un rango de elevación que va de los 2,343 m a los 2,680 m.

Los parámetros de caracterización se muestran en la Cuadro 6.6.

Cuadro 6.6 Parámetros de caracterización de la UH Arroyo El Muerto

ÁREA	3.87 Km <sup>2</sup>
PERÍMETRO	17.02 Km
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	7.65 Km
INDICE DE FORMA	0.07
RELACIÓN DE CIRCULARIDAD	0.17
COEFICIENTE DE COMPACIDAD	2.42
PROPORCIÓN DE ELONGACIÓN	0.14
PENDIENTE MEDIA DEL CUACE	3.7 %
ORDEN DE CORRIENTE	3

RELACIÓN DE BIFURCACIÓN	9.25
DENSIDAD HIDROGRÁFICA	20.16
DENSIDAD DE DRENAJE	5.47

### 6.5.5. UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO SAN JUAN

El cauce principal de la UH Río San Juan no corresponde al cauce principal de la cuenca y es conocido como Río San Juan. La UH presenta un rango de elevación que va de los 2,335 m a los 3,420 m.

Los parámetros de caracterización se muestran en el Cuadro 6.7.

Cuadro 6.7 Parámetros de caracterización de la UH Río San Juan

ÁREA	22.07 Km <sup>2</sup>
PERÍMETRO	32.74 Km
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	16.91 Km
INDICE DE FORMA	0.08
RELACIÓN DE CIRCULARIDAD	0.26
COEFICIENTE DE COMPACIDAD	1.95
PROPORCIÓN DE ELONGACIÓN	0.16
PENDIENTE MEDIA DEL CUACE	3.4%
ORDEN DE CORRIENTE	4
RELACIÓN DE BIFURCACIÓN	4.91
DENSIDAD HIDROGRÁFICA	6.43
DENSIDAD DE DRENAJE	3.29

## 6.6. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO NATURAL

La descripción del entorno natural de una cuenca nos muestra los procesos biológicos e hidrológicos que en ella se llevan a cabo, así como los factores que los alteran y que son necesarios comprender para establecer un plan de manejo.



A continuación se describe el tipo de clima, hidrología superficial y subterránea, edafología, geología, uso actual del suelo y vegetación de la cuenca.

### **6.6.1. FISIOGRAFÍA**

La fisiografía estudia el relieve y la forma de una superficie, su configuración y extensión, para determinar espacios con características similares en el comportamiento de variables naturales.

Para determinar las unidades fisiográficas dentro de la cuenca, se tomaron en cuenta la altitud y la pendiente del terreno, además de la verificación en campo. Las formaciones delimitadas fueron tres: mesetas, valle y sierra (Figura 6.16 y Cuadro 6.8).

Cuadro 6.8 Unidades fisiográficas en la cuenca de la presa Madín

	<b>ALTITUD (m snm)</b>	<b>PENDIENTE (grados)</b>	<b>SUPERFICIE (Km2)</b>
MESETA	3,544 a 2,388	0 a 10	16.32
VALLES	3,521 a 2,333	0 a 30	49.94
SIERRA	3,530 a 2,335	30 a 60	33.67

#### **6.6.1.1. MESETA**

Se consideraron como mesetas a las altiplanicies, por arriba de los 500 m snm con una pendiente de 0 a 10 grados. Estas zonas se concentran en la parte alta de la cuenca y cubren aproximadamente el 16% de la superficie total de ésta.

#### **6.6.1.2. VALLE**

Los valles son las depresiones de superficie entre dos alineaciones montañosas, y generalmente es donde se concentran los escurrimientos superficiales. Dentro de la cuenca se ubican entre los 3,521 a los 2,333 m snm, en superficies con una pendiente de 0 a 30 grados. Cubre el 50% de la superficie total de la cuenca.

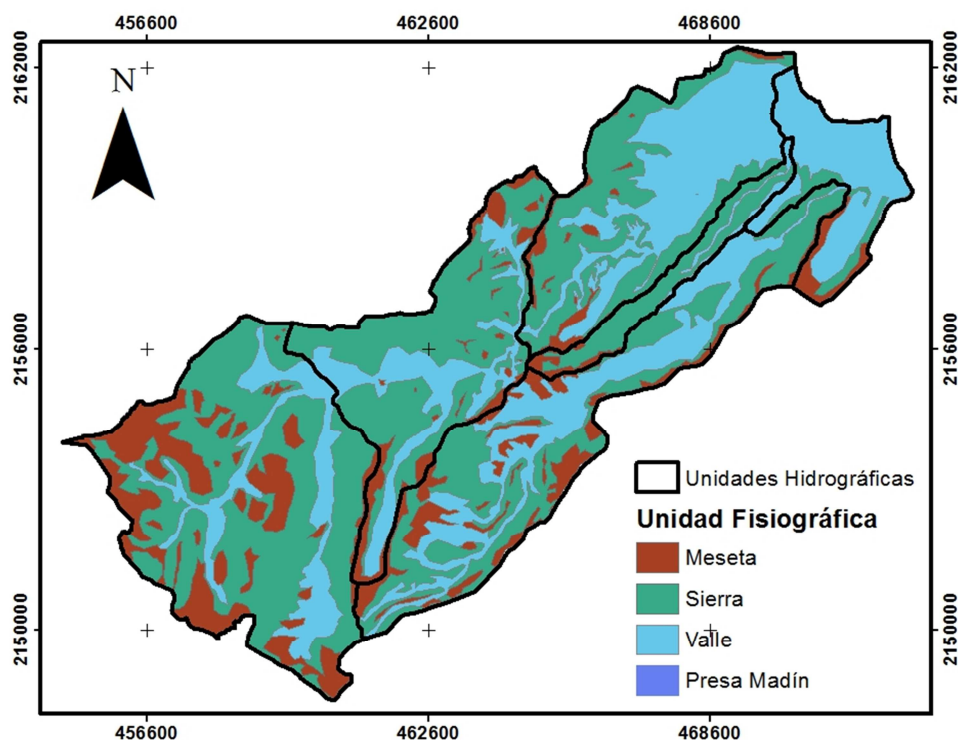


Figura 6.16 Unidades fisiográficas en la microcuenca de la presa Madín

### 6.6.1.3. SIERRA

Es una alineación montañosa. En la cuenca se ubican entre los 3,530 a 2,335 m snm y 30 a 60 grados de pendiente, cubre cerca del 34% de la superficie total de la cuenca.

### 6.6.2. EDAFOLOGÍA

En la Figura 6.17 se puede observar que se presentan con mayor frecuencia los andosoles al suroeste de la cuenca mientras que en la parte media predominan los luvisoles y durisoles y en una muy pequeña proporción los cambisoles, finalmente hacia el noreste hay feozems y regosoles. Según datos de INEGI, el área que ocupan las zonas urbanas y la presa Madín representan solamente el 1.68% del área total de la microcuenca.

En el área de la cuenca, la edafología se distribuye como se muestra en la Cuadro 6.9.

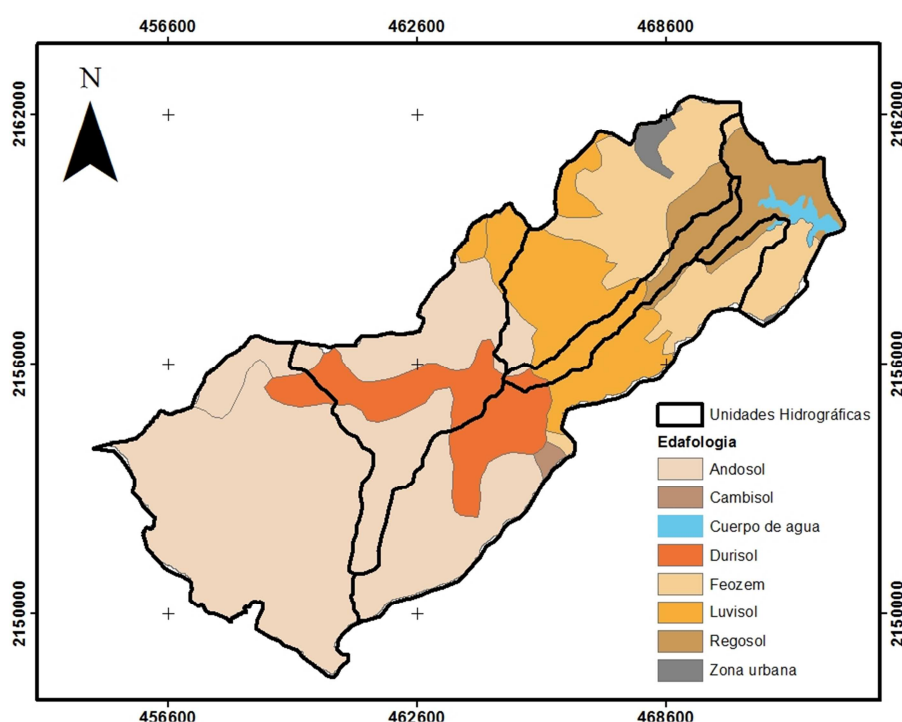


Figura 6.17 Tipos de suelo en la microcuenca de la presa Madín

Cuadro 6.9 Unidades edafológicas en la cuenca de la presa Madín

Edafología	Área (km <sup>2</sup> )	Superficie (%)
Andosol	51.25	51.3%
Feozem	14.99	15.0%
Luvisol	14.25	14.3%
Regosol	7.76	7.8%
Durisol	9.69	9.7%
Cambisol	0.36	0.4%
Zona urbana y cuerpo de agua	1.63	1.6%
<b>Total de la cuenca</b>	<b>99.93</b>	

### 6.6.2.1. ANDOSOLES

Según un estudio realizado por Viramontes *et al.* (2008) para la cuantificación del escurrimiento y erosión hídrica en andosoles de Valle de Bravo se explica que los andosoles son resistentes a la erosión cuando no son perturbados pero pueden ser muy frágiles en condiciones de degradación, así las zonas de bosque presentan

escurrimiento y tasa de erosión mínimo a nulo, en las praderas se registran las zonas de mayor producción de escurrimiento pero con tasas de erosión bajas mientras que en zonas agrícolas hay escurrimiento débil pero la tasas de erosión son las más altas.

#### **6.6.2.2. FEOZEM Ó PHAEOZEM**

Suelos fértiles, ricos en materia orgánica, textura media, buen drenaje y ventilación, en general son poco profundos, casi siempre pedregosos y muy inestables, restringiendo por ello su uso en la agricultura permanente, pudiéndose utilizar en el cultivo de pastos, aunque se recomienda mantenerlos con vegetación permanente.

#### **6.6.2.3. LUVISOLES**

El término Luvisol deriva del vocablo latino "luere" que significa lavar, haciendo alusión al lavado de arcilla de los horizontes superiores para acumularse en una zona más profunda. Se desarrollan principalmente sobre una gran variedad de materiales no consolidados como depósitos glaciares, eólicos, aluviales y coluviales.

Predominan en zonas llanas o con suaves pendientes de climas templados fríos o cálidos pero con una estación seca y otra húmeda, como el clima mediterráneo.

#### **6.6.2.4. REGOSOLES**

El término Regosol deriva del vocablo griego "rhegos" que significa sábana, haciendo alusión al manto de alteración que cubre la tierra. Se desarrollan sobre materiales no consolidados, alterados y de textura fina. Aparecen en cualquier zona climática sin permafrost y a cualquier altitud. Son muy comunes en zonas áridas, en los trópicos secos y en las regiones montañosas.

Su uso y manejo varían muy ampliamente. Bajo regadío soportan una amplia variedad de usos, si bien los pastos extensivos de baja carga son su principal utilización. En zonas montañosas es preferible mantenerlos bajo bosque.

#### **6.6.2.5. DURISOLES**

Los durisoles en México ocurren especialmente en las llanuras de piso cementado de algunas mesetas basálticas, por ejemplo en los Altos de Jalisco y las Llanuras de Ojuelos y Aguascalientes. El término Durisol deriva del vocablo latino "durus" que

significa duro, haciendo alusión al endurecimiento provocado por la acumulación secundaria de sílice.

El material original lo constituyen depósitos aluviales o coluviales con cualquier textura. Se asocian a llanuras aluviales, terrazas y suaves pendientes de pie de monte.

La mayoría de los Durisoles solo pueden ser usados para pastizales extensivos. En zonas donde el regadío es posible, pueden utilizarse para cultivos; en ese caso el horizonte petrodúrico, si esta cerca de la superficie, debe romperse.

#### **6.6.2.6. CAMBISOLES**

Los Cambisoles combinan suelos con formación de por lo menos un horizonte subsuperficial incipiente, presentan una fertilidad media a baja, son bien drenados, de profundidad media, accesibles en su manejo, sin embargo, al carecer de cubierta vegetal son muy susceptibles a la erosión.

#### **6.6.3. GEOLOGÍA**

En la Figura 6.18 se puede observar que se presentan con mayor frecuencia al suroeste de la cuenca las andesitas mientras que en la parte media predominan las brechas sedimentarias y volcanoclásticos, finalmente hacia el noreste hay una mayor presencia de volcanoclásticos.

En el Cuadro 6.10 se presenta el área que ocupa cada tipo de roca principal en la cuenca de la presa Madín.

Cuadro 6.10 Formaciones geológicas en la cuenca de la presa Madín

<b>Edafología</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Superficie (%)</b>
Aluvial	0.01	0.01%
Andesita	57.3	57.34%
Brecha sedimentaria	12.56	12.57%
Volcanoclástico	30.07	30.09%

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Edafología	Área (km <sup>2</sup> )	Superficie (%)
<b>Total de la Cuenca</b>	<b>99.93</b>	

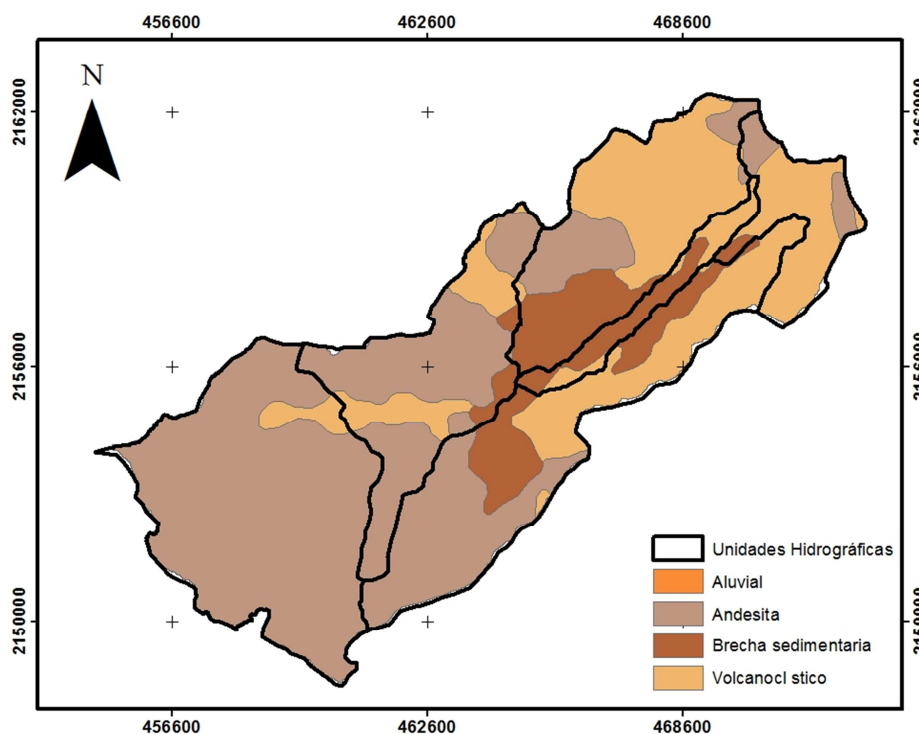


Figura 6.18 Geología de la cuenca de la presa Madín

### 6.6.3.1. ANDESITA

La andesita es una roca ígnea, magmática, de composición intermedia. Su composición mineral comprende generalmente plagioclasa, piroxeno y/u hornblenda. Frecuentemente están asociados biotita, cuarzo, magnetita y esfena. El álcali feldespató está ausente en esta roca.

### 6.6.3.2. BRECHA ANDESÍTICA

Roca de grano grueso formada a partir de fragmentos mayores de 2 mm insertados en una malla de un material más fino. Al igual que la andesita, en el valle de México, la brecha andesítica se formó en la era cenozoica en el periodo terciario.

### **6.6.3.3. DEPÓSITOS ALUVIALES**

El aluvión o depósito aluvial es material detrítico transportado y depositado transitoria o permanentemente por una corriente de agua, que puede ser repentina y provocar inundaciones.

Las rocas aluviales, en el valle de México, se formaron desde la era cenozoica dentro del periodo cuaternario.

### **6.6.3.4. VOLCANOCLÁSTICA**

Rocas constituidas por todo tipo de materiales volcánicos clásticos –con independencia del proceso de fragmentación– dispersados por cualquier agente de transporte y depositados en cualquier ambiente, o mezclados en proporción significativa con fragmentos no volcánicos.

## **6.6.4. CLIMA**

Se entiende por clima al conjunto de valores estadísticos de temperatura, humedad, presión atmosférica, vientos, precipitación, entre otros, de una región en un periodo promedio de 30 años. Los datos de las variables antes mencionadas se obtienen a través de su monitoreo en estaciones climatológicas e hidrométricas.

Los elementos del tiempo atmosféricos se ven afectados en función de la altitud, latitud, vegetación, corrientes marinas, cuerpos de agua, etc.

A pesar de la gran diversidad de condiciones climatológicas que existen en el mundo se han desarrollado distintas clasificaciones, actualmente la más usada es la que desarrolló Vladimir Peter Köppen y que se basa en los límites de temperatura y precipitación.

Las condiciones climáticas de una región determinan en gran parte el medio natural que se desarrolla en él, lo cual incluye a la sociedad. Como se mencionó anteriormente la definición del régimen climático implica el conocimiento de las variaciones en el tiempo de los elementos climatológicos, al conocerlos es posible la prevención de desastres naturales.

### 6.6.4.1. DEFINICIÓN DE LAS ESTACIONES CON INFLUENCIA EN LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN

Para definir las estaciones que caracterizan los climas de la cuenca de estudio se consulta la carta climatológica escala 1:1 000 000 elaborada por Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) con el propósito de identificar los rasgos climatológicos predominantes de la cuenca.

Se identifican 3 unidades climáticas (Figura 6.19), las cuales pertenecen al régimen subhúmedo. Para caracterizar cada unidad se toman en cuenta las estaciones meteorológicas que se encuentren a menos de 15 km de distancia del centro de su unidad climática y que cuenten con más de 15 años de registros continuos para temperatura, evaporación o precipitación.

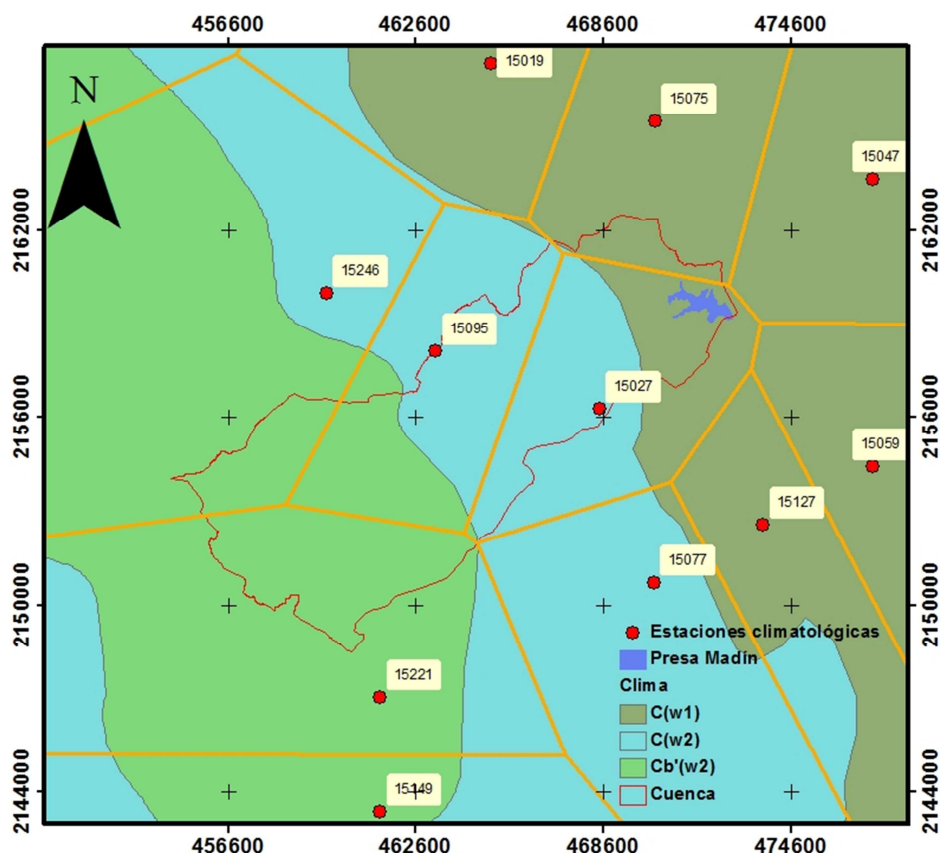


Figura 6.19 Estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca de la presa Madín y Unidades climáticas escala 1:1 000 000 (Fuente: CONABIO, 1998)

En el Cuadro 6.11 se muestran las estaciones meteorológicas que caracterizan cada tipo de clima.



**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Cuadro 6.11 Características generales de las estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca de la presa Madín

CLIMA	CLAVE	NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	ALTURA (m)
Cb'(w <sub>2</sub> )	15149	San Lorenzo Huitzilapa	-99.36	19.38	2790
	15221	Tajo de Tequixquiac	-99.36	19.41	2560
C(w <sub>2</sub> )	15027	El Salitre (San Bartolo)	-99.30	19.50	2558
	15077	Presa Totolica, Naucalpan	-99.28	19.45	2380
	15095	San Luis Ayucan	-99.35	19.52	2700
	15246	Jilotzingo, Jilotzingo	-99.38	19.53	2835
C(w <sub>1</sub> )	15019	Col. Vicente Guerrero	-99.33	19.60	2900
	15047	Las arboledas (R. Tuipan)	-99.21	19.56	2280
	15059	Molino Blanco	-99.21	19.48	2226
	15075	Presa las Ruinas, Atizapan	-99.28	19.58	2300
	15127	Totolica (San Bartolo), Naucalpan	-99.25	19.47	2325

Por sus características de distancia las estaciones 15149 y 15221 caracterizan el tipo de clima Cb'(w<sub>2</sub>), sin embargo no tienen más de tres años de registro.

Dentro de la zona predominan los climas de tipo templado subhúmedo con lluvias en verano denominados como C(w<sub>2</sub>) y C(w<sub>1</sub>) mientras que al occidente de la cuenca hay presencia de clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano denominado Cb'(w<sub>2</sub>) según la clasificación de climas utilizada por CONABIO.

Clima templado subhúmedo humedad media con lluvias en verano C(w<sub>1</sub>).

Templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C, subhúmedo, precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

Clima templado subhúmedo humedad alta con lluvias en verano C(w<sub>2</sub>).

Templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C, subhúmedo, y precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual.

Clima semifrío subhúmedo más húmedo con lluvias en verano Cb'(w<sub>2</sub>).

Semifrío, subhúmedo, con verano fresco largo, temperaturas medias anuales de los 5 a 12 °C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, menos de cuatro meses con temperatura mayor a 10°C, temperatura del mes mas caliente bajo 22°C; lluvias de verano del 5 al 10.2% anual.

#### **6.6.4.2. CARACTERIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA Y RELLENO DE DATOS**

En el Cuadro 6.12 a 6.14, se muestra la ubicación geográfica, clave, nombre, y calidad de información climatológica como años de registro y años completos con base en el programa compilador ERIC III, para las variables de precipitación, evaporación y temperatura.

Cuadro 6.12 Calidad de la información meteorológica disponible en las estaciones meteorológicas de influencia en la cuenca de la presa Madín para la precipitación

CLIMA	CLAVE	NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	ALTURA (m)	AÑOS REGISTRADOS	NO. AÑOS TOTAL- LES	AÑOS COMPLE- TOS
Cb'(w <sub>2</sub> )	15149	San Lorenzo Huitzilapa	-99.36	19.38	2790	1969 a 1988	20	15
	15221	Tajo de Tequixquiac	-99.36	19.41	2560	Sin registro		
	15358	Las	-99.48	19.55	3400	1983 a 1987	5	4

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

CLIMA	CLAVE	NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	ALTURA	AÑOS	NO. AÑOS	AÑOS
		Palomas, Tlazala						
C(w2)	15027	El Salitre (San Bartolo)	-99.30	19.50	2558	1961 a 1988	28	24
	15077	Presa Totolica, Naucalpan	-99.28	19.45	2380	1963 a 1988, 1996 a 1997	28	23
	15095	San Luis Ayucan	-99.35	19.52	2700	1961 a 1987, 1996 a 1999	31	30
	15246	Jilotzingo, Jilotzingo	-99.38	19.53	2835	1978 a 1985	8	8
C(w1)	15019	Col. Vicente Guerrero	-99.33	19.60	2900	1971 a 1988, 1996 a 2000	23	20
	15047	Las arboledas (R. Tuipan)	-99.21	19.56	2280	1969 a 1999	31	21
	15059	Molino Blanco	-99.21	19.48	2226	1961 a 2000	40	35
	15075	Presa las Ruinas, Atizapan	-99.28	19.58	2300	1969 a 1988, 1993, 1995 a 1999	26	24
	15127	Totolica (San Bartolo), Naucalpan	-99.25	19.47	2325	1961 a 2000	40	38

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Cuadro 6.13 Calidad de la información meteorológica disponible en las estaciones meteorológicas de influencia en la cuenca de la presa Madín para temperatura

CLIMA	CLAVE	NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	ALTURA (m)	AÑOS REGISTRADOS	NO. AÑOS TOTAL- LES	AÑOS COMPLE- TOS
Cb'(w2)	15149	San Lorenzo Huitzililapa	-99.36	19.38	2790	1970 a 1988	19	11
	15221	Tajo de Tequixquiac	-99.36	19.41	2560	Sin registro		
	15358	Las Palomas, Tlazala	-99.48	19.55	3400	1963 a 1988	5	2
C(w2)	15027	El Salitre (San Bartolo)	-99.30	19.50	2558	1961 a 1988	28	24
	15077	Presa Totolica, Naucalpan	-99.28	19.45	2380	1963 a 1988, 1996 a 1997	28	21
	15095	San Luis Ayucan	-99.35	19.52	2700	1961 a 1987, 1996 a 1999	31	26
	15246	Jilotzingo, Jilotzingo	-99.38	19.53	2835	1978 a 1985	8	6
C(w1)	15019	Col. Vicente Guerrero	-99.33	19.60	2900	1982 a 1988, 1996 a 2000	12	8
	15047	Las arboledas (R. Tuipan)	-99.21	19.56	2280	1969 a 1999	31	24
	15059	Molino Blanco	-99.21	19.48	2226	1961 a 2000	40	35
	15075	Presa las Ruinas, Atizapan	-99.28	19.58	2300	1997 a 1988, 1993, 1995 a 1999	18	15

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

CLIMA	CLAVE	NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	ALTURA	AÑOS	NO. AÑOS	AÑOS
	15127	Totolica (San Bartolo), Naucalpan	-99.25	19.47	2325	1967 a 2000	34	30

Cuadro 6.14 Calidad de la información meteorológica disponible en las estaciones meteorológicas de influencia en la cuenca de la presa Madín para evaporación

CLIMA	CLAVE	NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	ALTURA (m)	AÑOS REGISTRADOS	NO. AÑOS TOTAL- LES	AÑOS COMPLE- TOS
Cb'(w2)	15149	San Lorenzo Huitzilapa	-99.36	19.38	2790	Sin registro		
	15221	Tajo de Tequixquiac	-99.36	19.41	2560			
	15358	Las Palomas, Tlazala	-99.48	19.55	3400			
C(w2)	15027	El Salitre (San Bartolo)	-99.30	19.50	2558	1961 a 1988	28	26
	15077	Presa Totolica, Naucalpan	-99.28	19.45	2380	1963 a 1988, 1996 a 1997	28	22
	15095	San Luis Ayucan	-99.35	19.52	2700	1965 a 1987, 1996 a 1999	27	21
	15246	Jilotzingo, Jilotzingo	-99.38	19.53	2835	1978 a 1985	8	4
C(w1)	15047	Las arboledas (R. Tuipan)	-99.21	19.56	2280	1969 a 1999	31	25

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

CLIMA	CLAVE	NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	ALTURA	AÑOS	NO. AÑOS	AÑOS
	15059	Molino Blanco	-99.21	19.48	2226	1961 a 2000	40	35
	15075	Presa las Ruinas, Atizapan	-99.28	19.58	2300	1971, 1977 a 1988, 1993, 1995 a 1999	14	9
	15127	Totolica (San Bartolo), Naucalpan	-99.25	19.47	2325	1997 a 2000	4	2

Se realiza el relleno de datos climatológicos cuando se tengan menos de 15 días de registros faltantes, de lo contrario se considera como año incompleto.

Con base en los datos obtenidos para las tres variables se realiza una ponderación de la superficie que ocupa cada tipo de clima con respecto a las estaciones meteorológicas que la caracterizan obteniendo los valores que se muestran en la Cuadro 6.15.

Cuadro 6.15 Caracterización de las principales variables climatológicas para la cuenca de la presa Madín

VARIABLES CLIMATOLÓGICAS	
Temperatura media anual (°C)	10.24
Temperatura máxima anual (°C)	21.13
Temperatura mínima anual (°C)	-3.73
Temperatura máxima extrema (°C)	23.00
Temperatura mínima extrema (°C)	-5.50
Precipitación media anual (mm)	1,090.4
Precipitación máxima en 24h (mm)	109.60
Evapotranspiración anual (mm)	1,503.29

### 6.6.4.3. CLIMOGRAMA

Se toman los valores promedio mensuales para precipitación y temperatura estableciendo con ello el climograma de la cuenca (Figura 6.20).

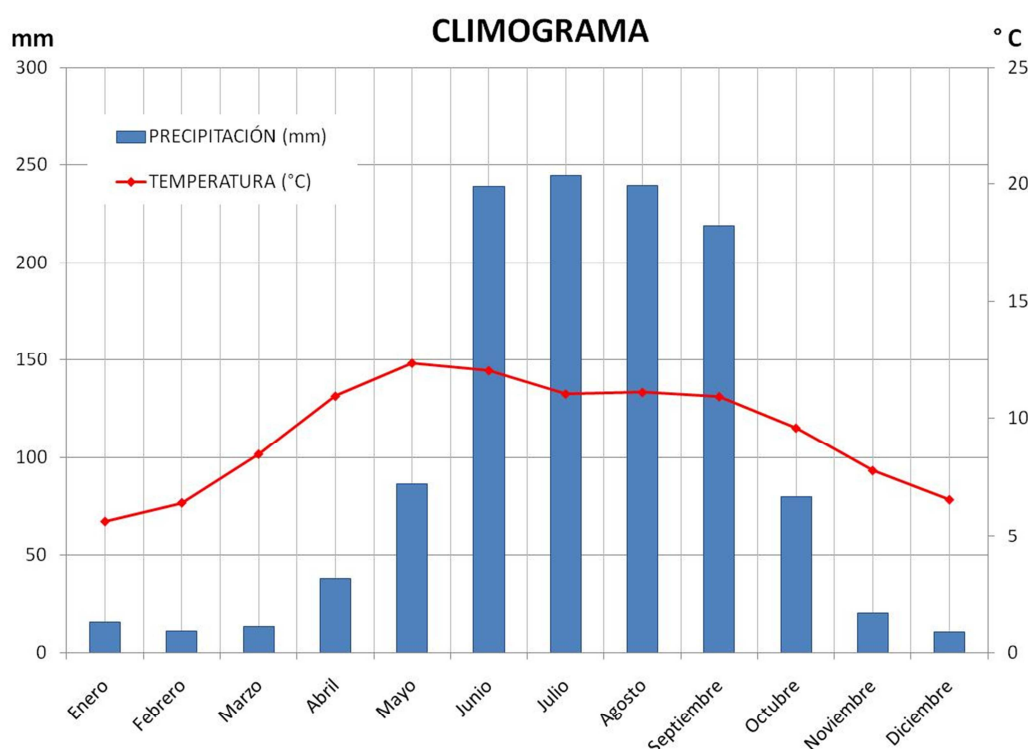


Figura 6.20 Climograma de la cuenca de la presa Madín

Se observa que el periodo de secas inicia en octubre hasta mayo, mientras que la temporada de lluvias se presenta en los meses de junio a septiembre.

### 6.6.4.4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA

Se realiza el análisis de la distribución de la temperatura con base en el método de las isotermas que consiste en representar en un mapa las estaciones con datos de temperatura y unir mediante curvas las de igual temperatura media y así mostrar su distribución. Las isotermas fueron elaboradas con ayuda del software ArcMap 9.3, con una interpolación Kriging, utilizando las coordenadas X y Y en UTM, y para Z se manejó la temperatura media anual de cada estación (Figura 6.21).

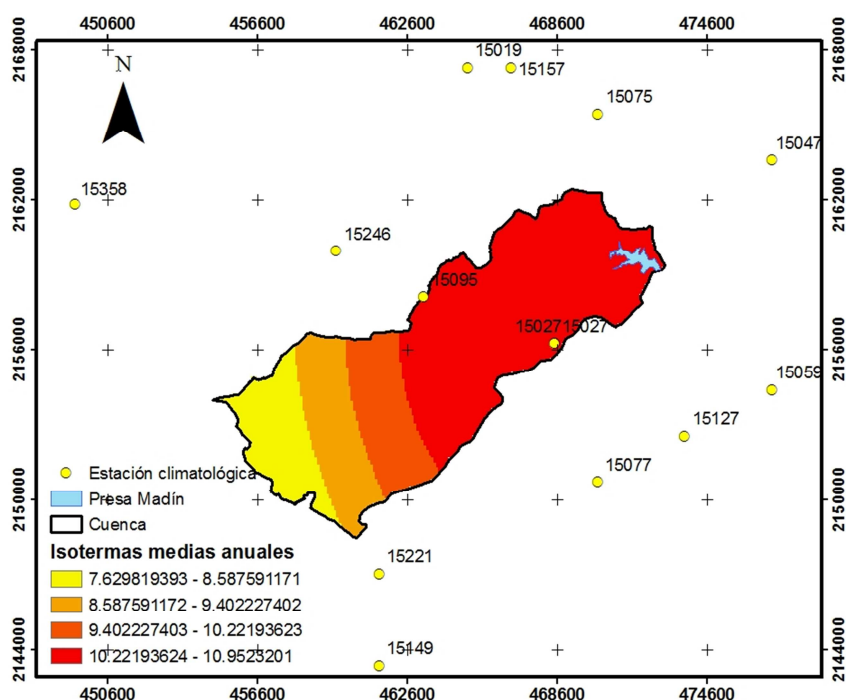


Figura 6.21 Isotermas medias anuales (°C) dentro de la cuenca de la presa Madín

#### 6.6.4.5. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA LLUVIA

Se entiende por precipitación la caída de partículas líquidas o sólidas de agua. La precipitación es la fase del ciclo hidrológico que da origen a todas las corrientes superficiales y profundas, debido a lo cual su evaluación y el conocimiento de su distribución, tanto en el tiempo como en el espacio, son problemas básicos en hidrología.

Para el cálculo de la precipitación media en una cuenca o un área, a partir de los datos de las estaciones meteorológicas (pluviométricas), pueden utilizarse varios procedimientos.

Existen distintos métodos para determinar la distribución espacial de la lluvia, en éste caso se determinó la distribución de la precipitación a través del método de las isoyetas. Consiste en representar en un mapa las estaciones con datos de precipitación y unir mediante curvas las de igual precipitación, para dar una idea más precisa de la distribución de la lluvia.

Las isoyetas fueron elaboradas con ayuda del software ArcMap 9.3, con interpolaciones de Kriging, utilizando las coordenadas X y Y en UTM, y para Z se



## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

manejó la precipitación media anual de cada estación (Figura 6.22) y la máxima en 24 hrs (Figura 6.23).

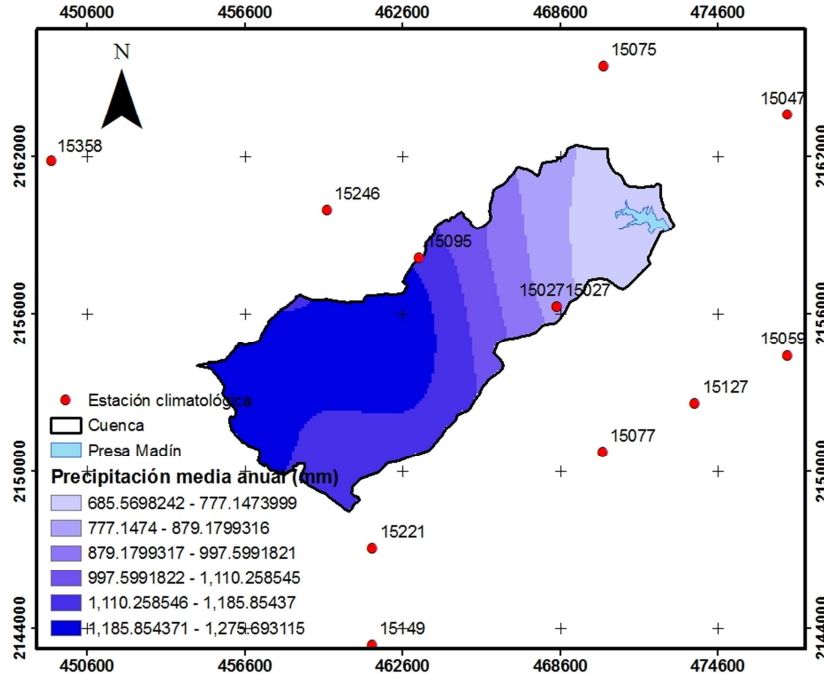


Figura 6.22 Isoyetas de precipitación media anual (mm) de la cuenca de la presa Madín

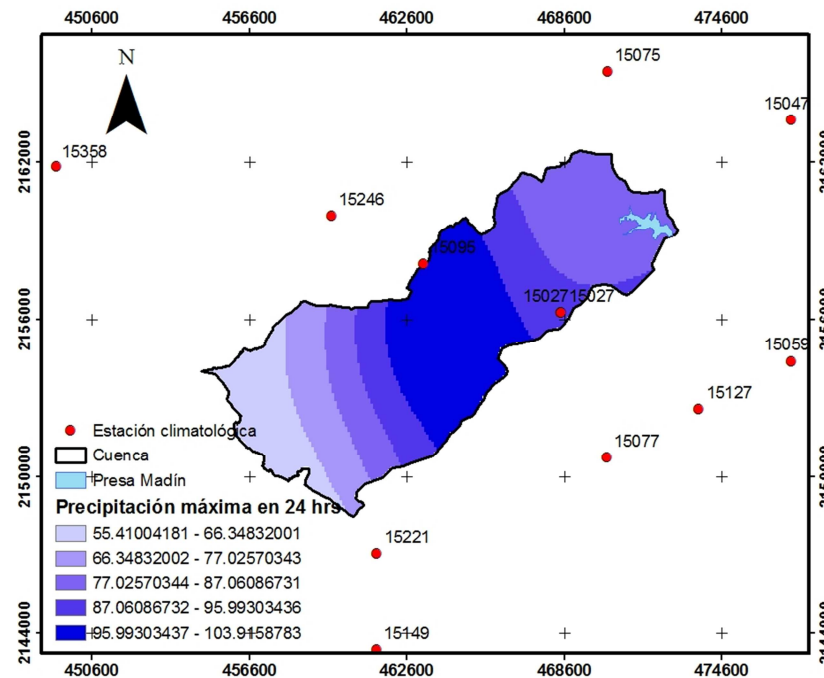


Figura 6.23 Isoyetas de precipitación máxima en 24 hrs (mm) de la cuenca de la presa Madín

#### **6.6.4.6. CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-PERÍODO DE RETORNO (I-D-Tr)**

La lluvia se caracteriza por tres variables: magnitud o lámina, duración y frecuencia (Campos & Gómez; 1990).

La magnitud se considera el total precipitado, expresado en milímetros, en la duración de la tormenta. La frecuencia de lluvia se expresa por su período de retorno o intervalo de recurrencia, conocido como el tiempo promedio en años en el cual, el evento puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio. Las curvas de Intensidad-Duración-Período de retorno, concentran estas características de la tormenta en una región o zona.

En México la escasez de registros de lluvia en cortas duraciones ha propiciado la necesidad de recurrir a las relaciones promedio entre lluvias encontradas en otros países estableciendo ecuaciones para estimar, a partir de datos de máximas lluvias en duraciones mayores, las características principales de la tormenta.

Para estimar intensidades en periodos cortos (Campos & Gómez, 1990) se emplean los datos de máximas lluvias en 24 hrs de la estación meteorológica 15095, San Luis Ayucan, que cuenta con 31 años totales, de 1961 a 1999, y se encuentra dentro de la cuenca.

Una vez calculadas las intensidades máximas horarias de precipitación anual fue necesario asignar a cada duración de lluvia seleccionada un período de retorno (Cuadro 6.16) con la ecuación 6-9.

$$T = \frac{n + 1}{m} \tag{6-9}$$

Donde:

T = periodo de retorno en años

n = registros totales

m = m-ésimo evento registrado

Cuadro 6.16 Período de retorno para los valores de la estación 15095, San Luis Ayucan

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

<b>AÑO</b>	<b>NO.</b>	<b>MÁXIMA PRECIPITACIÓN EN 24 HRS (mm)</b>	<b>TIEMPO DE RETORNO (años)</b>
1972	1	99.50	32.00
1965	2	93.50	16.00
1987	3	87.50	10.67
1980	4	82.80	8.00
1968	5	74.90	6.40
1961	6	72.60	5.33
1967	7	71.30	4.57
1974	8	68.20	4.00
1986	9	68.00	3.56
1998	10	66.50	3.20
1976	11	63.50	2.91
1999	12	62.00	2.67
1973	13	60.00	2.46
1981	14	56.70	2.29
1969	15	55.80	2.13
1985	16	54.70	2.00
1962	17	54.20	1.88
1963	18	54.20	1.78
1979	19	52.50	1.68
1971	20	51.60	1.60
1978	21	51.50	1.52
1975	22	50.20	1.45
1984	23	48.50	1.39
1977	24	48.20	1.33
1997	25	42.90	1.28
1970	26	41.60	1.23
1966	27	40.60	1.19
1983	28	40.50	1.14
1982	29	33.50	1.10

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

AÑO	NO.	MÁXIMA PRECIPITACIÓN EN 24 HRS (mm)	TIEMPO DE RETORNO (años)
1964	30	30.90	1.07
1996	31	30.40	1.03

Posteriormente se ajustan los valores a la Función de Distribución de Probabilidad de Valores Extremos Gumbel (Aparicio, 1992). Esta función de distribución de probabilidad se define en la ecuación 6-10.

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (6-10)$$

Donde:

$\alpha$  y  $\beta$  son parámetros de la función y se estiman para muestras muy grandes según la ecuación 6-11 y 6-12.

$$\alpha = \frac{1.2825}{S} \quad (6-11)$$

$$\beta = \bar{x} - 0.45 * S \quad (6-12)$$

O bien para muestras pequeñas según la ecuación 6-13 y 6-14.

$$\alpha = \frac{\sigma}{S} \quad (6-13)$$

$$\beta = \bar{x} - \frac{\mu}{\alpha} \quad (6-14)$$

Donde:

S = desviación estándar= 17.39

Los valores de  $\sigma_y$  y  $\mu_y$  se muestran en el Cuadro 6.17.



Cuadro 6.17 Parámetros de la distribución Gumbel

$n$	$\mu_y$	$\sigma_y$
10	0.4952	0.9496
15	0.5128	1.0206
20	0.5236	1.0628
25	0.5309	1.0914
30	0.5362	1.1124
35	0.5403	1.1285
40	0.5436	1.1413
45	0.5463	1.1518
50	0.5485	1.1607
55	0.5504	1.1682
60	0.5521	1.1747
65	0.5535	1.1803
70	0.5548	1.1854
75	0.5559	1.1898
80	0.5569	1.1938
85	0.5578	1.1974
90	0.5586	1.2007
95	0.5593	1.2037
100	0.5600	1.2065

Ya que se cuenta con una muestra cercana a 30 registros, se trabaja con los valores de  $\sigma_y = 1.124$  y  $\mu_y = 0.5362$ .

Con base en la ecuación 6-13 y 6-14, los valores para  $\alpha$  y  $\beta$  son respectivamente 0.063957 y 49.96459.

Con los datos obtenidos de la estación 15095, San Luis Ayucan se conoce la precipitación máxima en 24 hrs hasta un periodo de retorno de 32 años, sin embargo para conocer los milímetros de precipitación para periodos de retorno mayores se despeja  $X$  de la ecuación 6-10 como se muestra en la ecuación 6-15. Para éste trabajo se calculan periodos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años. Los valores calculados y obtenidos de la estación se muestran en el Cuadro 6.18 y Figura 6.24.

$$x = \beta - \left[ \frac{1}{\alpha} \left\{ \text{Ln} \left( \text{Ln} \left( \frac{T}{T-1} \right) \right) \right\} \right] \quad (6-15)$$

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Cuadro 6.18 Periodo de retorno para precipitación máxima en 24 hrs

PERIODO DE RETORNO (años)	MÁXIMA PRECIPITACIÓN EN 24 HRS (mm)	PROBABILIDAD DE NO OCURRENCIA
5	72.60	80.00
11	87.50	90.91
16	93.50	93.75
32	99.50	96.88
50	110.97	98.00
100	121.89	99.00
200	132.77	99.50
500	147.12	99.80

\*Los valores resaltados son los datos registrados por la estación meteorológica 15095, San Luis Ayucan

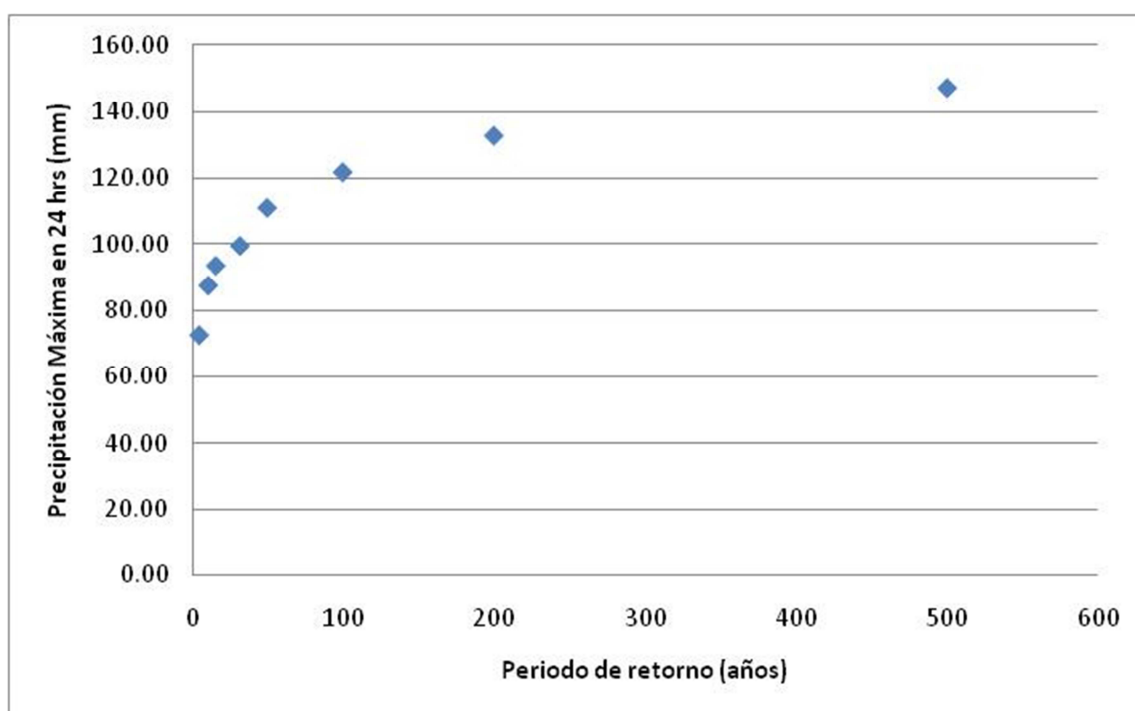


Figura 6.24 Tendencia de distribución de los datos de precipitación máxima en 24 hr por el método de Gumbel en la cuenca de la presa Madín

Se realiza la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov entre los datos observados y la distribución Gumbel. Se considera como hipótesis nula que la

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

distribución teórica y registrada son iguales, teniendo como regla de decisión rechazar la hipótesis nula si el valor calculado del estadístico de prueba  $D$  (ecuación 6-16) excede 0.238 considerado como valor crítico para  $n=31$  y  $\alpha=0.05$ .

$$D = \text{Máximo}(F(x) - Ft(x)) \quad (6-16)$$

Los valores empleados para la prueba se observan en el Cuadro 6.19 y Figura 6.25 obteniéndose a partir de ellos un  $D= 0.017$  por lo que se acepta la hipótesis nula.

Cuadro 6.19 Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov entre los valores observados de precipitación máxima en 24 hrs y la distribución Gumbel en la cuenca de la presa Madín

Máxima precipitación en 24 hrs Valores registrados	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada F(x)	Máxima precipitación en 24 hrs Gumbel	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada Ft(x)	Prueba de bondad de ajuste [F(x)-Ft(x)]
99.5	1	1	0.032	103.90	1.00	1.00	0.033	0.001
93.5	1	2	0.065	92.81	2.00	2.00	0.067	0.002
87.5	1	3	0.097	86.21	3.00	3.00	0.100	0.003
82.8	1	4	0.129	81.44	4.00	4.00	0.133	0.004
74.9	1	5	0.161	77.68	5.00	5.00	0.167	0.005
72.6	1	6	0.194	74.54	6.00	6.00	0.200	0.006
71.3	1	7	0.226	71.84	7.00	7.00	0.233	0.008

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Máxima precipitación en 24 hrs	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada	Máxima precipitación en 24 hrs	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada	Prueba de bondad de ajuste
					0			
68.2	1	8	0.258	69.44	1.00	8.00	0.267	0.009
68.0	1	9	0.290	67.29	1.00	9.00	0.300	0.010
66.5	1	10	0.323	65.31	1.00	10.00	0.333	0.011
63.5	1	11	0.355	63.48	1.00	11.00	0.367	0.012
62.0	1	12	0.387	61.77	1.00	12.00	0.400	0.013
60.0	1	13	0.419	60.15	1.00	13.00	0.433	0.014
56.7	1	14	0.452	58.61	1.00	14.00	0.467	0.015
55.8	1	15	0.484	57.13	1.00	15.00	0.500	0.016
54.7	1	16	0.516	55.69	1.00	16.00	0.533	0.017
54.2	2	18	0.581	54.30	1.00	17.00	0.567	0.014
52.5	1	19	0.613	51.60	1.00	18.00	0.600	0.013
51.6	1	20	0.645	50.27	1.00	19.00	0.633	0.012
51.5	1	21	0.677	48.94	1.00	20.00	0.667	0.011
50.2	1	22	0.710	47.60	1.00	21.00	0.700	0.010



**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Máxima precipitación en 24 hrs	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada	Máxima precipitación en 24 hrs	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada	Prueba de bondad de ajuste
					0			
48.5	1	23	0.742	46.25	1.00	22.00	0.733	0.009
48.2	1	24	0.774	44.86	1.00	23.00	0.767	0.008
42.9	1	25	0.806	43.42	1.00	24.00	0.800	0.006
41.6	1	26	0.839	41.91	1.00	25.00	0.833	0.005
40.6	1	27	0.871	40.29	1.00	26.00	0.867	0.004
40.5	1	28	0.903	38.52	1.00	27.00	0.900	0.003
33.5	1	29	0.935	36.49	1.00	28.00	0.933	0.002
30.9	1	30	0.968	34.02	1.00	29.00	0.967	0.001
30.4	1	31	1.000	30.53	1.00	30.00	1.000	0.000

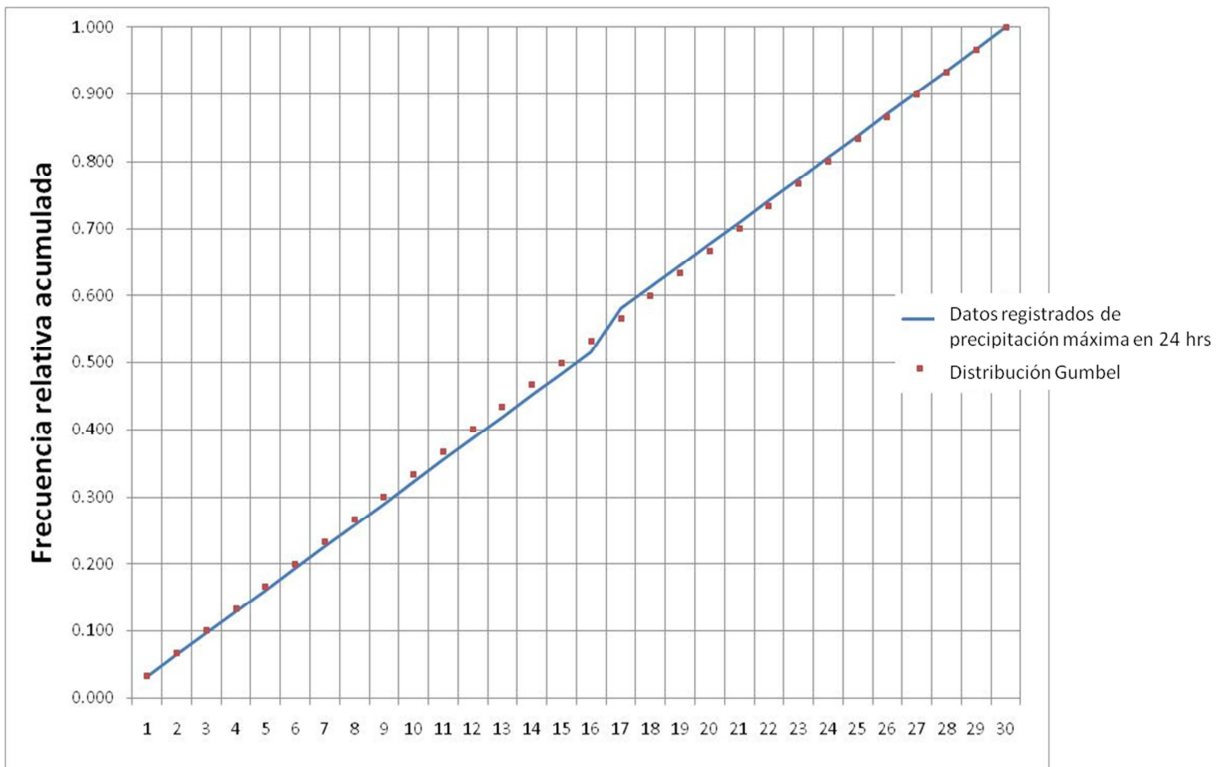


Figura 6.25 Ajuste de los valores observados de precipitación máxima en 24 hrs y la distribución Gumbel en la cuenca de la presa Madín

Para calcular las intensidades se emplea la fórmula de Cheng-Lung Chen (ecuación 6.17) ajustada para períodos de retorno mayores o iguales a 10 años.

$$i_t^{Tr} = \frac{aP_1^{10} \log(10^{2-F} Tr^{F-1})}{(t+b)^c} \quad (6-17)$$

Donde:

$i_t^{Tr}$  = Intensidad para una duración “t” y un periodo de retorno “Tr”, en mm/h

$$F = \frac{P_t^{100}}{P_t^{10}} = 1.431474$$

$P_1^{10}$  = Precipitación para una duración de 60 minutos y un Tr de 10 años

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

$P_t^{100}$  = Precipitación o intensidad para una duración "t" (generalmente de 24 hrs) y un Tr de 100 años, en mm/h = 122 mm

$P_t^{10}$  = Precipitación o intensidad para una duración "t" (generalmente de 24 hrs) y un Tr de 10 años, en mm/h = 85 mm

Tr = Periodo de retorno para la cual se requiere la intensidad, en años

t = Duración, en minutos

a, b, c = Parámetros que se obtienen con el valor de "r" en porcentaje de la Figura 6.26

$r = \frac{P_1^{Tr}}{P_{24}^{Tr}}$  o en regiones áridas y semiáridas "r" varia de 0,40 a 0,60 y en la zonas húmedas de 0,30 a 0,40 o a nivel de mar  $r=0,4$  y en altura  $r=0.65$ , para el caso del presente trabajo se considera como 0.35

Con base en la Figura 6.26 se considera para una R de 0.35:

a = 18

b = 6

c = 0.68

En el Cuadro 6.20 y Figura 6.27 y se observan los valores calculados para las curvas intensidad-duración-periodo de retorno obtenidos para periodos de retorno (I-D-Tr).

Cuadro 6.20 Valores de curvas I-D-Tr para 10, 20, 25, 50, 100 y 500 años de la cuenca de la presa Madín

Tr	Duración						
	5	10	20	30	60	120	240
años	Intensidades en mm/h						
10	105.05	81.42	58.53	46.91	31.06	20.01	12.70



**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Tr	Duración						
	5	10	20	30	60	120	240
años	Intensidades en mm/h						
20	118.69	91.99	66.13	53.00	35.10	22.61	14.35
25	123.08	95.40	68.57	54.96	36.40	23.45	14.88
50	136.73	105.97	76.18	61.05	40.43	26.05	16.53
100	150.37	116.55	83.78	67.15	44.47	28.65	18.18
500	182.05	141.10	101.43	81.29	53.83	34.68	22.00

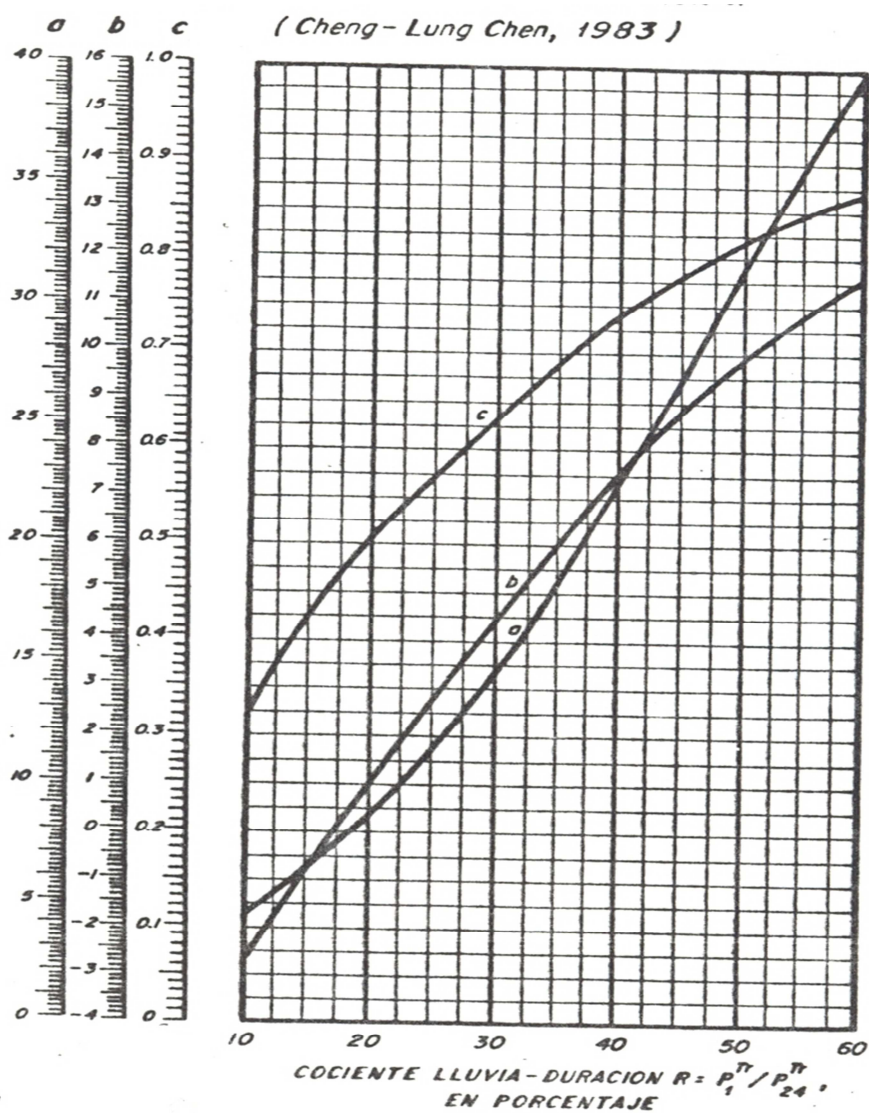


Figura 6.26 Valores de los parámetros a, b y c en función del cociente lluvia-duración R

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

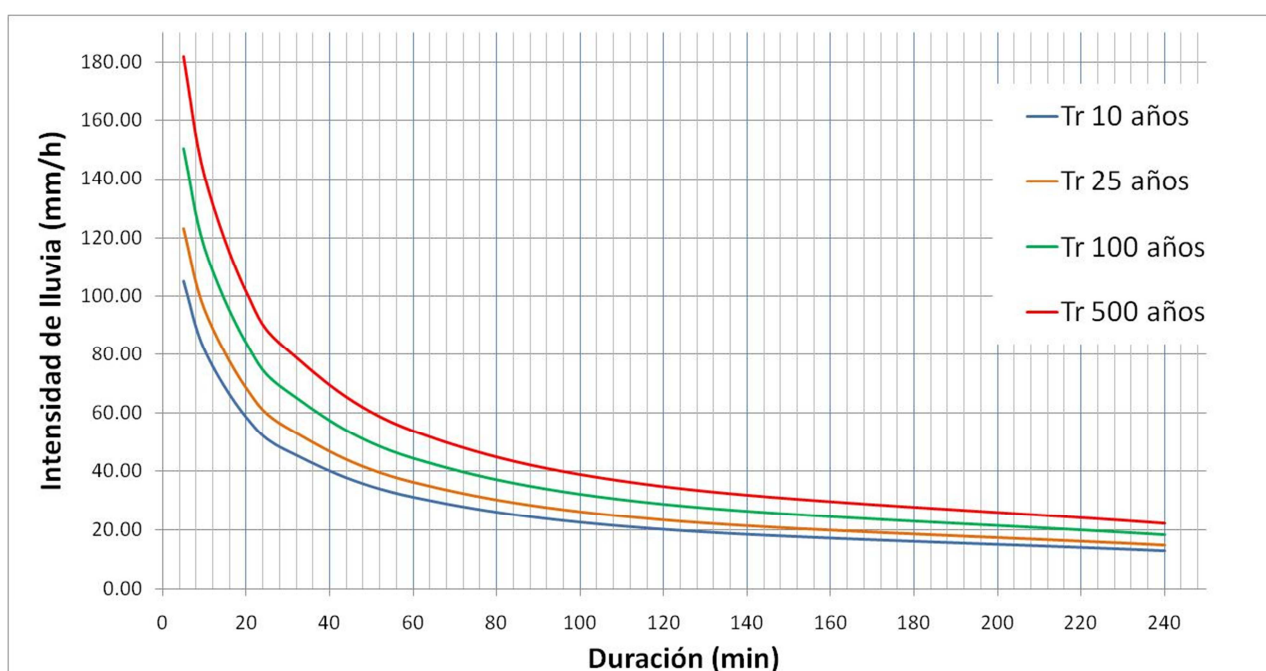


Figura 6.27 Curvas I-D-Tr para 10, 25, 100 y 500 años de la cuenca de la presa Madín

### 6.6.5. HIDROLOGÍA

#### 6.6.5.1. CORRIENTES PRINCIPALES

La corriente principal dentro de la cuenca y que alimenta al vaso de la presa es el Río Tlalnepantla, el cual es una de las principales corrientes del Valle de México. Su origen es en los escurrimientos que descienden de la vertiente Oriental de la Sierra Monte Alto. La corriente colectora tiene su dirección inicial Sur-Norte, la que cambia aguas abajo al Noreste, cerca del poblado de San Luis Ayucan. En su recorrido recibe por ambos márgenes una serie de corrientes entre las que destacan los arroyos Alameda, El Muerto y El Sifón. Aguas abajo de la confluencia del arroyo El Muerto se construyó la Presa Madín. Aguas abajo el río Tlalnepantla escurre por dos cauces uno rectificado que conduce los excedentes de la presa de almacenamiento y otro que sirve de colector de aguas negras a los fraccionamientos Lomas Verdes, Bellavista y Fuentes de Satélite. Finalmente descarga en la actualidad al Emisor del Poniente, pero el cauce viejo continúa hasta Amealco, donde se une con el río de Los Remedios o Desviación Combinada.

La presa recibe también al Río San Juan el cual nace de los escurrimientos que descienden de la vertiente suroriental de la Sierra Monte Alto. Se unen a él en su recorrido río Los Ajos y el arroyo Córdoba.

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

El arroyo Las Almas y La Colmena descargan directamente a la presa Madín y tienen su origen en las pendientes cercanas a la presa. En el Cuadro 6.21 se puede observar las corrientes dentro de la cuenca, las localidades cercanas y sus longitudes.

Cuadro 6.21 Corrientes de la cuenca de la presa Madín

CAUCE	LOCALIDADES	LONGITUD (km)
Río Tlalnepantla	San José, Las Manzanas, San Luis Ayucan, Barrio Monfi, Barrio Ensido, Barrio Tito, La Alameda y Pueblo Chiluca	23.97
Río San Juan	Santiago Tepatlaxco, La Hiedra, La Rosa, Córdoba, El Chabacano.	16.91
Río Los Ajos	Villa Alpina y Tres Piedras	7.28
Arroyo El Muerto	Pueblo Chiluca	7.65
Arroyo Alameda	La Alameda	2.52
Arroyo Sifón	Fraccionamiento Chiluca	2.43
Arroyo Córdoba	La Rosa y Rancho Viejo	2.47
Arroyo Las Almas	Nuevo Madín	2.03
Arroyo La Colmena	Ejido El Cristo	2.45

Los cauces que delimitan las unidades hidrográficas se muestran en el Cuadro 6.22.

Cuadro 6.22 Corrientes principales de las unidades hidrográficas (UH)

Corriente	UH
Río Tlalnepantla Alto	Río Tlalnepantla Alto 01
Río Tlalnepantla Medio	Río Tlalnepantla Medio 02
Río Tlalnepantla Bajo	Río Tlalnepantla Bajo 03
Río San Juan	Río San Juan 04
Arroyo El Muerto	Arroyo El Muerto 05

### 6.6.5.2. ACUÍFEROS

La cuenca de la presa Madín influye directamente en el acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, según los datos registrados en el REPDA sobre la localización de los principales acuíferos del país, se encuentra adyacente el acuífero Cuautitlán-Pachuca y Valle de Toluca como se observa en la Figura 6.28.

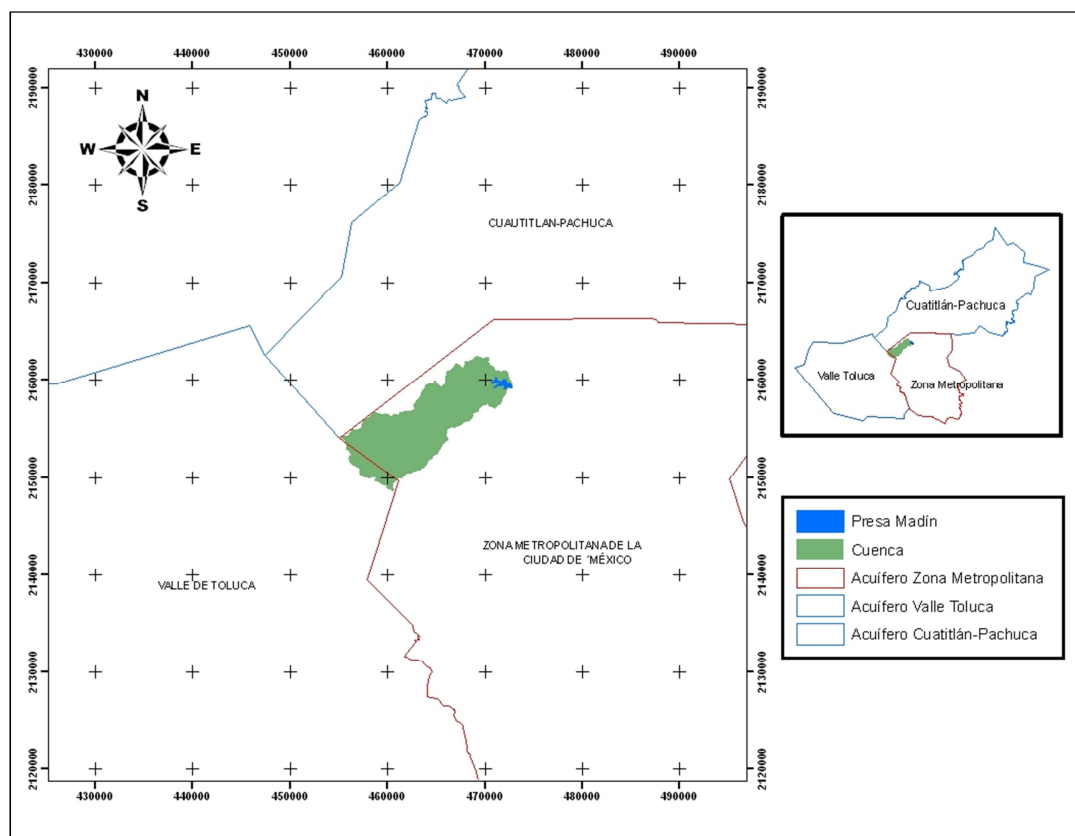


Figura 6.28 Acuíferos de la cuenca de la presa Madín

### 6.6.5.3. PRESA MADÍN

La presa de almacenamiento Madín se construyó durante el período 1958 - 1959, habiendo sido sobre elevada durante 1973 a 1974 y concluyéndose los trabajos el 14 de marzo de 1974. Su localización geográfica corresponde a las coordenadas latitud 19° 31' 34" N, longitud 99° 15' 39" W.

El principal objetivo de la construcción de este vaso de almacenamiento fue para control de avenidas del Río Tlalnepantla y para abastecimiento de agua potable a un importante sector urbano, con una extracción promedio de 0.6 m<sup>3</sup>/s.

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

La cortina de la presa se encuentra a 2 km al sur del poblado Atizapán de Zaragoza, municipio del mismo nombre en el Estado de México.

La corriente principal que alimenta al vaso es el Río Tlalnepantla, al cual se unen varios arroyos como se mencionó en el apartado de corriente principal.

Las características de diseño de la presa se observan en el Cuadro 6.23. La obra de excedencia de la presa se localiza en la margen derecha y está constituido por un canal de acceso a la elevación 2,340 msnm, a 30 m del inicio del canal se localiza una estructura de control formada por 3 vados donde se alojan 3 compuertas radiales de 2.50 x 4.10 apoyadas en pilas. Inmediatamente aguas abajo de la estructura de control se inicia un canal de descarga que vierte en rápida a un tanque amortiguador de 38 m de longitud, ancho de 22 m y profundidad de 8 m cuya plantilla se encuentra a la elevación 2,283 m snm.

La carga máxima del vertedor es de 5.34 m con una capacidad de 161.0 m<sup>3</sup>/s.

La obra de toma está constituida por una torre de rejillas: una tubería a presión ahogada en concreto, diámetro de 1.22m y caseta de operación en la que se localiza una válvula de emergencia de tipo mariposa y chorro divergente para descarga.

Con los datos obtenidos de los boletines hidrológicos se obtiene la curva elevación-capacidad (Figura 6.29) a partir de la cual se calculan los valores de capacidades mensuales promedio como se muestra en la Figura 6.30.

Cuadro 6.23 Características de diseño de la presa Madín

CONCEPTO	ELEVACIÓN m s.n.m.	CAPACIDAD millones de m <sup>3</sup>
Lecho de la boquilla	2,275.50	0.0
Umbral de la obra de toma	2,312.20	6.0
Cresta del vertedor	2,340.70	14.0
Nivel de aguas máximas extraordinarias	2,346.04	18.7
Nivel de la corona de la cortina	2,348.50	24.0

\*Basado en los Boletines Hidrológicos editados por CONAGUA de 1979 a 2007



**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

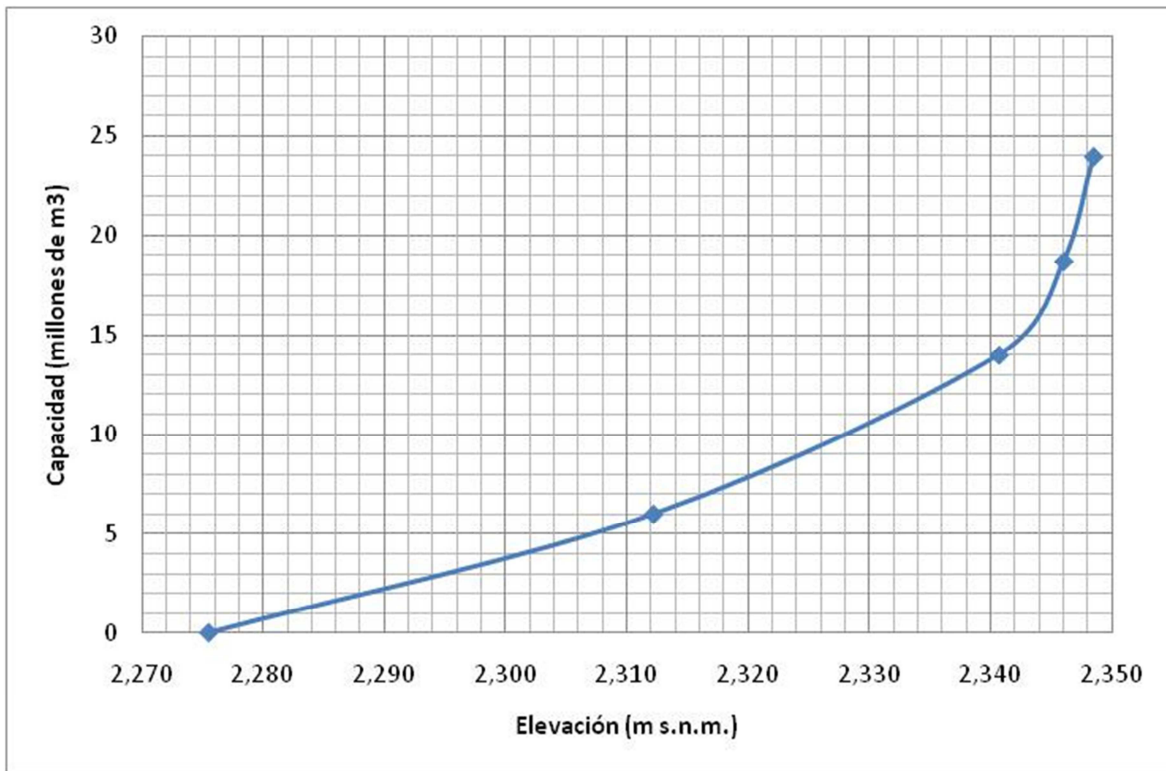


Figura 6.29 Curva elevación-capacidad para la presa Madín

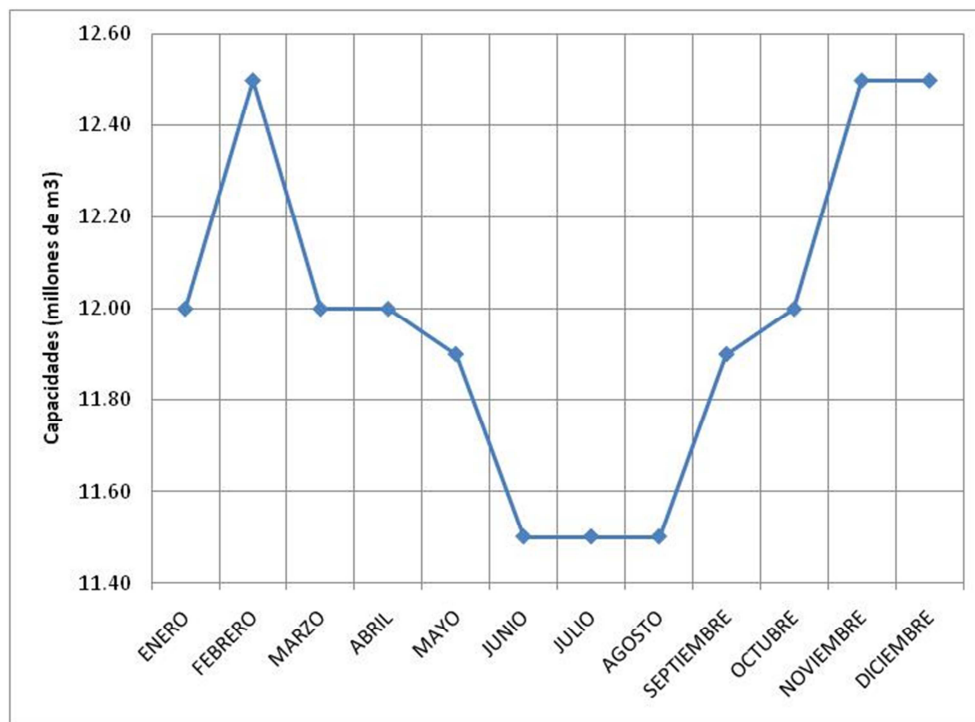


Figura 6.30 Capacidades mensuales promedio para la presa Madín

### 6.6.6. USO DE SUELO

En la Figura 6.31 se muestra que en toda la cuenca predomina el uso de suelo ecológico-florístico-fisionómico, las cual incluye las agrupaciones de las comunidades vegetales, definidas con base a sus afinidades ecológicas y florísticas (INEGI, 2009a).

En el Cuadro 6.24 se puede apreciar la superficie que ocupa cada una de los tipos de uso de suelo definidos con base en la clasificación propuesta por INEGI.

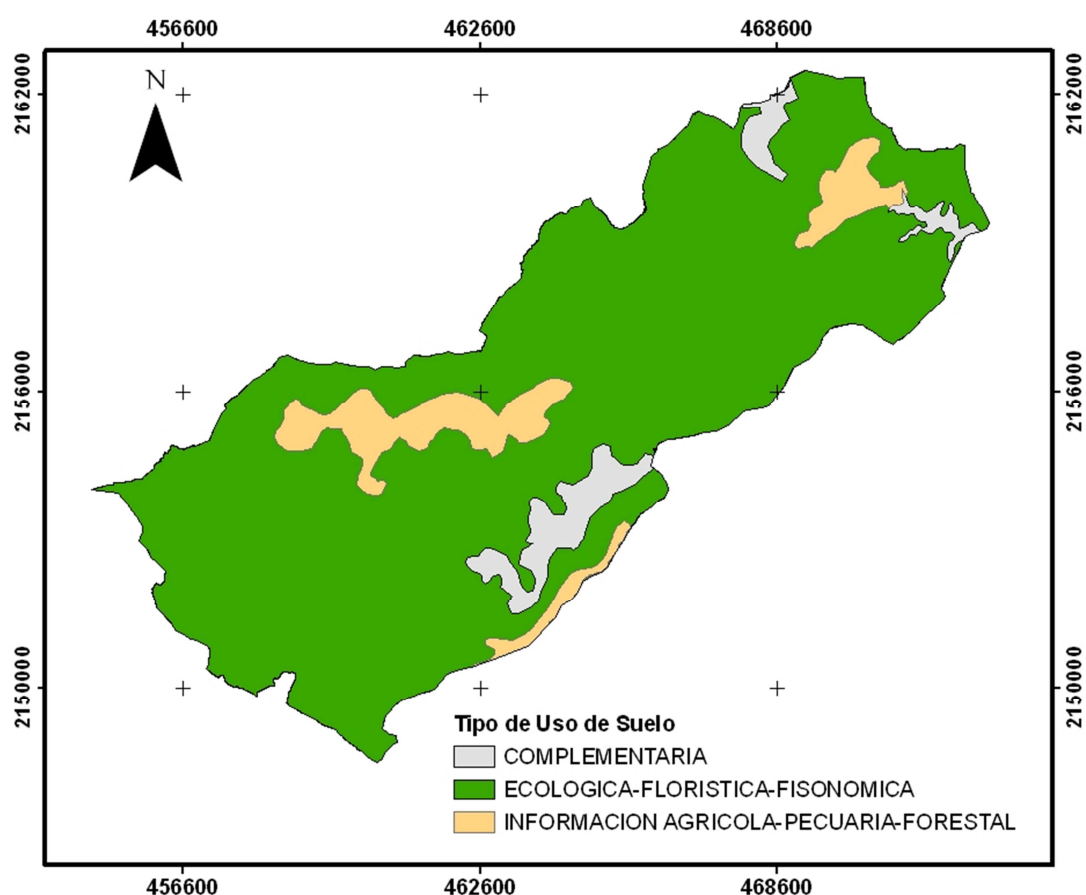


Figura 6.31 Usos de suelo en la cuenca de la presa Madín

Cuadro 6.24 Uso del suelo en el territorio de cuenca de la presa Madín

Uso de Suelo	Área (km <sup>2</sup> )	Superficie (%)
Ecológica-Florística-Fisionómica	86.91	86.97%
Complementaria	5.05	5.05%

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Uso de Suelo	Área (km <sup>2</sup> )	Superficie (%)
Agrícola-Pecuaria-Forestal	7.97	7.98%
<b>Total de la cuenca</b>	<b>99.93</b>	

#### **6.6.6.1.      **ÁREA AGRÍCOLA - PECUARIA - FORESTAL****

Área en la que el suelo es utilizado para la realización de actividades económicas del sector primario de labores agrícolas principalmente, pecuarias o forestales.

#### **6.6.6.2.      **COMPLEMENTARIA****

Dentro de la categoría se tienen las siguientes entidades de referencia topográfica: Zona Urbana, Asentamientos Humanos, y Cuerpos de Agua (INEGI, 2009a). En este caso se encuentra un cuerpo de agua artificial, que es la presa Madín y se calificaría como uso de suelo complementario no aplicable.

#### **6.6.6.3.      **ECOLÓGICA - FLORÍSTICA - FISIÓNÓMICA****

Contiene tres tipos de información sobre las comunidades vegetales, la primera referente a las tipos de vegetación ya sean naturales o inducidas, la segunda sobre el estado actual de desarrollo de la comunidad vegetal, es decir, si corresponde a una vegetación primaria, secundaria o no disponible y finalmente sobre conceptos relacionados con la cobertura vegetal como altura, cobertura arbórea y aspecto de matorral.

#### **6.6.7.      **ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS****

Dentro de la cuenca se identifican dos áreas naturales protegidas, la primera, El Parque Estatal Otomí-Mexica incluida en los municipios de Jilotzingo y Naucalpan de Juárez y la segunda, la reserva estatal Espíritu Santo que tiene un área de 234 ha y representa el 2% de la superficie municipal de Jilotzingo.

El Parque Estatal Otomí-Mexica cuenta con una superficie total de 105, 875 ha distribuidas en 17 municipios (Gaceta del Gobierno del Estado de México, 2009), constituye el área natural protegida con mayor superficie en el estado de México, su importancia radica en la gran extensión que ocupa, en los servicios ambientales que provee a la región, al mantenimiento de numerosas especies de flora y fauna, su valor científico, educativo y de recreación para los habitantes del estado de México y sus visitantes.

El parque se divide para su manejo en 4 zonas.

#### **6.6.7.1. ZONAS DE PROTECCIÓN**

Esta zona pretende el resguardo de cañadas, áreas de recarga de manantiales, zona de vegetación con alta densidad o espacios relictos con alta integridad ecológica, hábitat frágil de flora y fauna silvestre.

En las zonas de protección será posible llevar a cabo una serie de actividades condicionadas que minimicen el impacto ambiental producido por las obras de ingeniería, incentiven la conservación del bosque, la belleza escénica, conservación y restauración de los suelos, captación e infiltración de agua de lluvia y a la vez permita a los dueños de la tierra generar bienestar económico.

#### **6.6.7.2. ZONAS DE CONSERVACIÓN**

Son sitios que aún mantienen vegetación natural en buen estado en donde se pueden llevar a cabo actividades productivas sustentables, que estén condicionadas a no rebasar la capacidad de carga; o degradar el ecosistema; o reducir la provisión de los servicios ambientales. Entre las actividades permitidas se encuentran las mismas que en las zonas de protección, además de permitirse desarrollos urbanos de baja densidad.

#### **6.6.7.3. ZONAS DE APROVECHAMIENTO**

Son sitios sin la vegetación nativa original, o en los cuales el estado de los ecosistemas es tal, que contribuyen de forma limitada a la provisión de servicios ambientales. En estas zonas se permitirá el uso sustentable e intensivo de los elementos naturales que lo integran con fines de producción económica y consolidación urbana con base en las

limitantes y lineamientos que imponga el programa de manejo y el ordenamiento ecológico. Asimismo, las acciones a desarrollar estarían sujetas a la normatividad vigente.

#### **6.6.7.4. ZONAS DE RESTAURACIÓN**

En función de la importancia ecológica que tenga la recuperación, la modalidad de uso será fundamentalmente con acciones que coadyuven a la recuperación ecológico-productiva, como plantaciones forestales comerciales; protección de taludes, bordes de cauces, cárcavas y canalillos, propagación de especies vegetales pioneras, pastización y plantación de arbustos rústicos como agaves, nopales, jarilla, tepozán, madroño, aile, leguminosas, capulín, fresno, granadillo, entre otras, con el afán de estabilizar taludes; construcción de estructuras de contención de sedimentos y azolves.

En función del grado de recuperación que se logre, se podrán establecer posteriormente, actividades compatibles con los objetivos de conservación y recuperación ambiental para favorecer la retención de agua pluvial y la recarga de mantos freáticos, convirtiéndose en nuevos espacios que favorezcan la realización de actividades ecológicas productivas de carácter sustentable. Así mismo, podrán ser lugares donde se traslade a grupos y organizaciones civiles y sociales para realizar trabajos y aportaciones altruistas para la recuperación ambiental de dichas zonas. La densidad permitida se dará en función de las casas que no se construyan en la zona de protección.

Algunas actividades permitidas, prohibidas y condicionadas en las diferentes zonas de manejo del Parque Estatal Otomí-Mexica, se pueden observar en el Cuadro 6.25.

Cuadro 6.25 Actividades permitidas en las zonas del Parque Estatal Otomí-Mexica

<b>ACTIVIDADES/ZONA</b>	<b>PROTECCIÓN</b>	<b>CONSERVACIÓN</b>	<b>APROVECHAMIENTO</b>	<b>RESTAURACIÓN</b>
<b>CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA</b>				
Casas Habitadas	Prohibidas	Condicionada	Permitido	Permitido
Comercios y Servicios	Prohibidas	Condicionada	Permitido	Permitido
Cabañas	Prohibidas	Condicionada	Permitido	Permitido
Instalaciones Recreativas, Culturales	Condicionada	Permitido	Permitido	Permitido

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

<b>ACTIVIDADES/ZONA</b>	<b>PROTECCIÓN</b>	<b>CONSERVACIÓN</b>	<b>APROVECHAMIENTO</b>	<b>RESTAURACIÓN</b>
o Administrativas				
Infraestructura para Investigación y Monitoreo	Condicionada	Permitido	Permitido	Permitido
Caminos Pavimentados	Condicionada	Condicionada	Permitido	Permitido
Caminos no Pavimentados	Condicionada	Condicionada	Permitido	Permitido
Senderos Pedestres	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
Senderos Equestres	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
Senderos Ciclistas	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
Senderos Interpretativos	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
Alojamiento Eco turístico	Prohibidas	Permitido	Permitido	Permitido
Pistas para Vehículos todo Terreno	Prohibidas	Prohibidas	Prohibidas	Condicionada
Rellenos Sanitarios	Prohibidas	Prohibidas	Condicionada	Permitido
Rehabilitación de Minas	Prohibidas	Condicionada	Condicionada	Permitido
Restauración de Socavones	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
Bordos	Condicionada	Permitido	Permitido	Permitido
Lineas Electricas Aereas	Condicionada	Permitido	Permitido	Permitido
Lineas y Ductos Subterráneos para Servicios	Condicionada	Permitido	Permitido	Permitido
Estaciones Meteorológicas y de Monitoreo	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
Campos de Golf	Prohibida	Permitido	Permitido	Permitido
Escuelas	Prohibida	Permitido	Permitido	Permitido
<b>INVESTIGACIÓN, MONITOREO Y VIGILANCIA</b>				
Inspección y Vigilancia	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

<b>ACTIVIDADES/ZONA</b>	<b>PROTECCIÓN</b>	<b>CONSERVACIÓN</b>	<b>APROVECHAMIENTO</b>	<b>RESTAURACIÓN</b>
Investigación y Monitoreo	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
Colecta Científica	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
<b>EXTRACTIVAS</b>				
Pesca Deportiva o de Autoconsumo	Condicionada	Permitido	Permitido	Permitido
Cacería Deportiva o de Autoconsumo	Condicionada	Permitido	Permitido	Permitido
Colecta de Flora para Autoconsumo	Prohibidas	Permitido	Permitido	Permitido
Agricultura	Prohibida	Permitido	Permitido	Permitido
Agricultura Orgánica	Prohibido	Permitido	Permitido	Permitido
Pastoreo	Prohibidas	Permitido	Permitido	Permitido
Ganadería	Prohibida	Condicionada	Permitido	Permitido
Bancos de Metal / Minas	Prohibida	Condicionada	Permitido	Permitido
<b>EDUCATIVAS Y RECREATIVAS</b>				
Campismo	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
Excursionismo	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
Fotografía	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
Educación Ambiental	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
Rapell	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
Arborismo	Condicionada	Permitido	Permitido	Permitido
Ciclismo de Montaña	Condicionada	Permitido	Permitido	Permitido
Jardines y Áreas Verdes	Prohibido	Permitido	Prohibidas	Permitido
Automotores a Campo Traviesa	Prohibido	Condicionada	Condicionada	Permitido
<b>RESTAURACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>				
Restauración Ambiental	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
Reintroducción/ traslocación de	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

<b>ACTIVIDADES/ZONA</b>	<b>PROTECCIÓN</b>	<b>CONSERVACIÓN</b>	<b>APROVECHAMIENTO</b>	<b>RESTAURACIÓN</b>
Especies Nativas				
Creación de Charcas para la Vida Silvestre	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
Mejoramiento de Habitat para la Vida Silvestre	Permitido	Permitido	Permitido	Permitido
Manejo Forestal Sustentable	Condicionada	Permitido	Permitido	Permitido
Represas para Capacitación de Agua	Condicionada	Permitido	Permitido	Permitido

La reserva estatal Espíritu Santo fue declarada el 11 de agosto de 1994 (Gaceta de Gobierno del Estado de México) tiene una superficie total de 234 has que corresponden al cerro de Chiluca propiedad del ejido Espíritu Santo. El objetivo de su creación es conservar los recursos naturales del ejido, desarrollar proyectos productivos compatibles con el aprovechamiento racional de los recursos naturales renovables y controlar el desarrollo urbano, por lo anterior se declaró veda para el aprovechamiento forestal, la caza y la captura de fauna silvestre. Su altitud promedio es de los 2,700 m snm. Tiene problemas de tala clandestina, incendios forestales, ganadería descontrolada, caza para subsistencia, invasiones de terrenos y asentamientos irregulares. No cuenta con vigilancia, administración y programa de manejo.

La administración del área quedó en manos de los ejidatarios.

## **6.7. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO SOCIOECONÓMICO**

El Estado de México se ha caracterizado por seguir el esquema de urbanización de la Ciudad de México dada su cercanía. Los principales sectores beneficiados han sido la industria y el turismo, sin embargo las desventajas (inseguridad, servicios urbanos de baja calidad, deterioro ambiental, etc.) que le implican la sobrepoblación de 40 de sus municipios que conforman el área conocida como la Zona Metropolitana y Conurbada de la Ciudad de México son mayores.

En el siguiente capítulo se plantea el panorama social y económico que afrontan las localidades dentro de la cuenca de la presa Madín.



### 6.7.1. DIVISIÓN POLÍTICA

La cuenca de la presa Madín se distribuye en los municipios de Atizapán de Zaragoza, Naucalpan de Juárez, Jilotzingo y Xonacatlán, sin embargo el área que ocupa de éste último municipio es menor al 6% de su superficie total y no existe ninguna población en ella por lo tanto solo se considerarán los primeros tres municipios como área de estudio sociodemográfico (Figura 6.32).

De acuerdo con la Figura 6.32, la 49.95% de la cuenca pertenece al municipio de Jilotzingo, seguido por Naucalpan de Juárez con una influencia del 32.95%, Atizapán de Zaragoza con 11.85% y Xonacatlán con el 5.25%.

En el Cuadro 6.26 se presenta información del II Censo de Población y Vivienda de INEGI (2005), para la tipificación general de cada una de las localidades de interés para el proyecto de la cuenca de la presa Madín; en particular la identificación administrativa, las coordenadas geográficas, la altitud y clave por localidad.

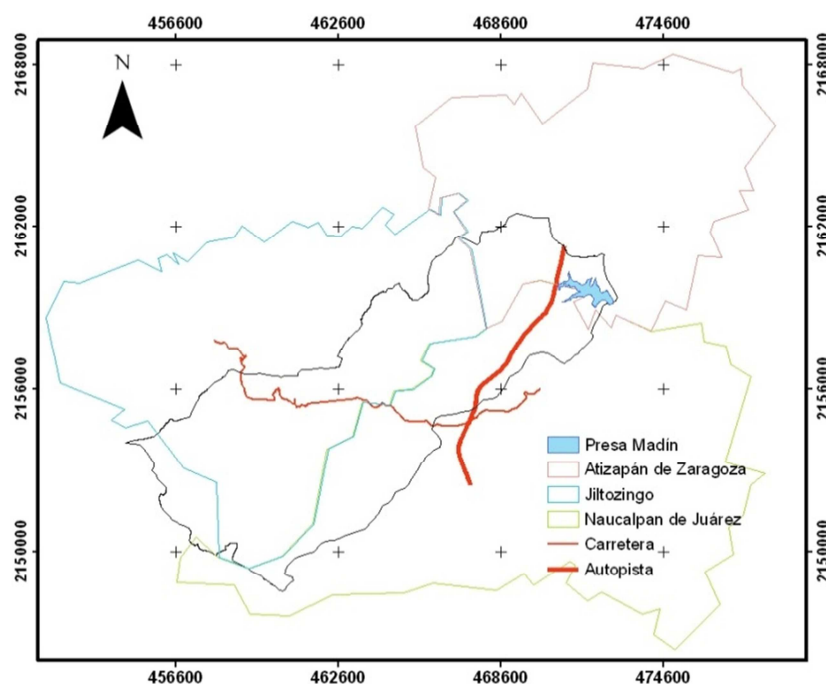


Figura 6.32 Municipios de la cuenca de la presa Madín

En resumen, de las 25 localidades identificadas por INEGI dentro de la cuenca de la presa Madín, dos se localizan en el municipio de Atizapán de Zaragoza, seis en Jilotzingo y 17 en Naucalpan de Juárez. Existen dos más en el municipio de Atizapán de

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Zaragoza, localizadas gracias a las visitas en campo y las cuales son Nuevo Madín y Fraccionamiento Chiluca.

Cuadro 6.26 Coordenadas, altitud y clave municipal en las localidades de la cuenca de la presa Madín reconocidas por INEGI.

No	Municipio	Clave de Localidad	Localidad	Longitud	Latitud	Altitud m snm
1	Atizapán de Zaragoza	23	Viejo Madín	99º 16' 04"	19º 32' 02"	2350
2	Atizapán de Zaragoza	113	Rancho Blanco Ejido de Espíritu Santo	99º 18' 59"	19º 32' 45"	2580
3	Jilotzingo	3	San Luis Ayucan	99º 21' 48"	19º 29' 44"	2750
4	Jilotzingo	7	Las Manzanas	99º 22' 56"	19º 29' 42"	2830
5	Jilotzingo	21	Barrio de Ensido	99º 22' 19"	19º 29' 40"	2780
6	Jilotzingo	22	Barrio de Monfi	99º 22' 05"	19º 29' 14"	2720
7	Jilotzingo	24	Barrio de Endonica	99º 21' 22"	19º 29' 21"	2650
8	Jilotzingo	29	San José	99º 23' 29"	19º 29' 47"	2913
9	Naucalpan de Juárez	98	Santiago Tepatlaxco	99º 20' 36"	19º 28' 21"	2500
10	Naucalpan de Juárez	149	Villa Alpina	99º 22' 34"	19º 26' 21"	3300
11	Naucalpan de Juárez	210	Puente de Piedra	99º 18' 13"	19º 29' 49"	2480
12	Naucalpan de Juárez	241	Córdoba	99º 19' 29"	19º 29' 11"	2540
13	Naucalpan de Juárez	247	El Chabacano	99º 18' 48"	19º 29' 57"	2400
14	Naucalpan de Juárez	251	La Alameda (Criadero de Trucha la Alameda)	99º 19' 01"	19º 30' 56"	2450

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

No	Municipio	Clave de Localidad	Localidad	Longitud	Latitud	Altitud m snm
15	Naucalpan de Juárez	257	Ejido el Cristo	99º 16' 50"	19º 30' 41"	2450
16	Naucalpan de Juárez	260	La Cuesta	99º 20' 09"	19º 29' 29"	2650
17	Naucalpan de Juárez	262	Barrio de Rancho Viejo	99º 20' 34"	19º 29' 15"	2600
18	Naucalpan de Juárez	266	Ejido de Chiluca (Pueblo de Chiluca)	99º 17' 25"	19º 32' 00"	2400
19	Naucalpan de Juárez	269	La Hiedra	99º 20' 05"	19º 28' 44"	2850
20	Naucalpan de Juárez	270	La Rosa	99º 19' 58"	19º 29' 14"	2250
21	Naucalpan de Juárez	274	Barrio Arenillas (La Capilla)	99º 19' 35"	19º 26' 30"	2550
22	Naucalpan de Juárez	282	Tres Piedras (La Loma)	99º 20' 51"	19º 27' 07"	2600
23	Naucalpan de Juárez	284	Barrio Agua Buena	99º 20' 24"	19º 29' 28"	2900
24	Naucalpan de Juárez	290	Barrio de Tito	99º 20' 50"	19º 29' 27"	2700
25	Naucalpan de Juárez	296	Barrio las Peñitas	99º 20' 30"	19º 29' 20"	2850

### 6.7.2. DEMOGRAFÍA

No obstante la tendencia poblacional proyectada al 2030 según datos de la CONAPO (Figura 6.33) con base en el II Censo de Población y Vivienda 2005, indica un crecimiento poblacional con tasa estable, a nivel de localidades, el aumento de zonas urbanas y demanda de servicios provocará el abatimiento de los recursos naturales y de su capacidad ecosistémica de renovación.

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

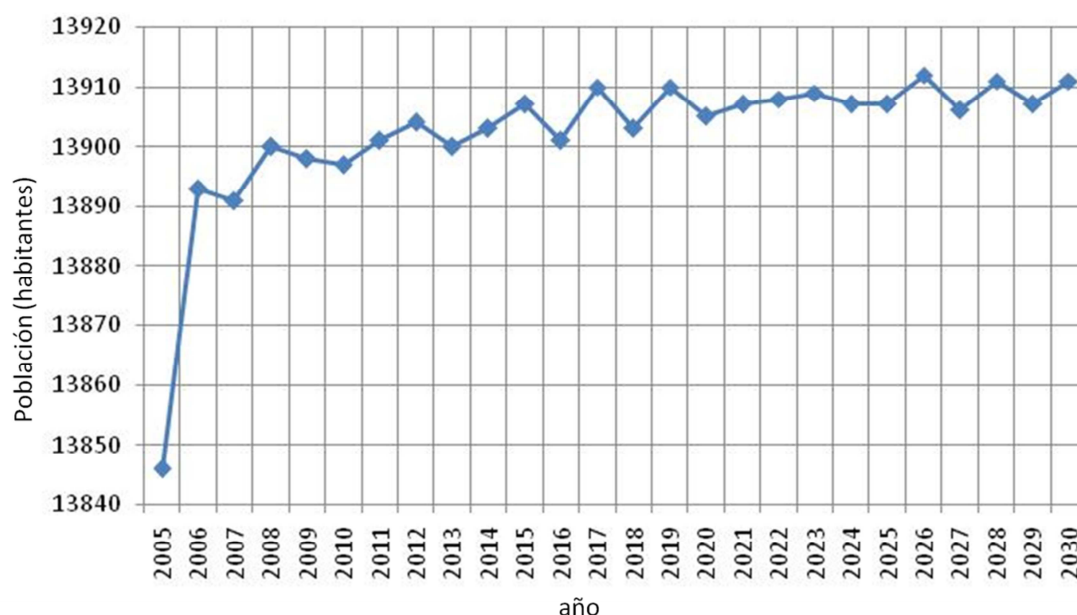


Figura 6.33 Tendencia poblacional al 2030 en los municipios de influencia de la cuenca de la presa Madín  
A nivel de cuenca, tomando en cuenta la población registrada en las localidades en 1990, 2000 y 2005 la tendencia poblacional se observa en el Cuadro 6.27.

Cuadro 6.27 Comparación de la tendencia poblacional de las localidades de influencia de la cuenca de la presa Madín y la de los municipios de influencia

AÑO	ATIZAPAN DE ZARAGOZA (habitantes)	NAUCALPAN DE JUÁREZ (habitantes)	JILOTZINGO (habitantes)	XONACATLAN	CUENCA (habitantes)
1990	69	4,561	3,723	No se registran localidades dentro de la cuenca	8,353
2000	61	6,601	7,003		13,665
2005	578	7,164	6,104		13,846

En general para la cuenca, la tendencia poblacional al año 2005 indica una tasa de crecimiento baja, solamente incrementándose del año 2000 al 2005 en un 1% la población, en contraste con el aumento de del 39% de la población entre 1990 y 2000.

En el Cuadro 6.27 se puede ver la tendencia poblacional y la tasa de crecimiento media anual (TCMA) que presentan los municipios de la cuenca a lo largo de una década y la proyección que tendrán en los siguientes 10 años.

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

La TCMA, se calculó con base en la fórmula empleada por INEGI que se muestra en la ecuación 6-18.

$$TCMA = \left( \left( \left( \frac{PF}{PI} \right)^{1/n} \right) - 1 \right) \times 100 \quad (6-18)$$

Donde:

- PF = población al final del periodo de análisis
- PI = población al inicio del periodo de análisis
- n = magnitud del periodo de análisis= AF-AI
- AF = año final del periodo de análisis
- AI = año inicial del periodo de análisis

En el año 2000 el municipio de Atizapán de Zaragoza aumentó su población en un 48%, Jilotzingo en 67% y Naucalpan de Juárez en 9%, todas con respecto a la población existente en 1990. Para el año 2010 se prevé que el crecimiento poblacional para Atizapán de Zaragoza sea de un 2%, para Jilotzingo de -0.98% y en Naucalpan de Juárez de -0.79%, todas con respecto a la población existente en 2000 (Cuadro 6.28).

**Cuadro 6.28** Tendencia poblacional y Taza de Crecimiento Media Anual (TCMA) para el periodo 1990-2010 por municipios de influencia de la cuenca de la presa Madín.

	Población (habitantes por año)			Tasa de Crecimiento Media Anual (porcentaje)		
	1990	2000	2010	1990	2000	2010
Atizapán de Zaragoza	315,192	467,886	478,184	4.03%	0.22%	-80.39%
Jilotzingo	9,011	15,086	13,596	5.29%	-1.03%	-71.23%
Naucalpan de Juárez	786,551	858,711	790,684	0.88%	-0.82%	-83.98%

La densidad poblacional promedio en los municipios se muestra en el Cuadro 6.29. El municipio con mayor densidad poblacional es Naucalpan de Juárez, con 53 habitantes por hectárea (hab./ha), le sigue Atizapán de Zaragoza con 48 hab/ha y finalmente Jilotzingo con 1(hab./ha). Sin embargo estos valores pueden variar dentro de cada municipio, como se reporta en el caso de las localidades de San Luis Acayucan, Barrio



## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

de Ensidó, San Miguel Tecpan y Santa Ana en Jilotzingo, las cuales se destacan por su concentración poblacional (SEDUR, 2007).

Cuadro 6.29 Densidad poblacional promedio por municipios de influencia de la cuenca de la presa Madín.

	<b>Población</b>	<b>Superficie</b>	<b>Densidad</b>
	En el año 2005	ha	hab/ha
Atizapán de Zaragoza	472,526	9,764.15	48
Jilotzingo	13,825	12,490.00	1
Naucalpan de Juárez	821,442	15,570.00	53

\*Con base en el II Censo de Población y Vivienda 2005, INEGI

### 6.7.3. CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DE LA POBLACIÓN

#### 6.7.3.1. DESCRIPCIÓN MUNICIPAL

Los municipios con influencia en la cuenca de la presa Madín se localizan en la Región II Zumpango.

Los datos económicos en el XI Censo General de Población y Vivienda de 2000 (INEGI) para población económicamente activa (PEA) se clasifican por tamaño de localidad, sin embargo, gran parte de las comunidades dentro de la cuenca de la presa Madín no se encuentran consideradas por lo que se consultan los datos a nivel municipal para observar la tendencia.

En Atizapán de Zaragoza se registraron 177,171 habitantes, económicamente activos de 12 años y mayores, que representan el 38% de la población total. En Jilotzingo representaban el 35% equivalente a 5,212 habitantes y finalmente en Naucalpan de Juárez el 39% con 337,452 habitantes. Como se puede ver la proporción de PEA es muy similar en los tres municipios, sin embargo la migración laboral diaria, como se mencionó antes, es mayor en Jilotzingo (Figura 6.34).

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**



Figura 6.34 Población económicamente activa (PEA) en los municipios de influencia de la cuenca de la presa Madín.

Para el año 2000, en todos los municipios se encontraba ocupada el 98% de la PEA, lo cual representaba, para el municipio de Atizapán de Zaragoza 174,151 personas, en Jilotzingo 5,141 personas y finalmente en Naucalpan de Juárez 332,059 personas. Con base en la PEA y la población ocupada se calcula la tasa general de desempleo (TGD) por cada municipio en los años 2000 y se muestra en el Cuadro 6.30.

Cuadro 6.30 Tasa general de desempleo (TGD) y Población Económicamente Activa (PEA) en los municipios de influencia de la cuenca de la presa Madín durante el año 2000

	Atizapan de Zaragoza	Jilotzingo	Naucalpan de Juárez
<b>Población ocupada</b>	174,151	5,141	332,059
<b>PEA</b>	177,171	5,212	337,452
<b>TGD</b>	1.7%	1.4%	1.6%

Como se puede ver, ocurre una mayor TGD en Naucalpan de Juárez seguido de Atizapán de Zaragoza y finalmente en Jilotzingo.

El número de personas empleadas en las distintas actividades económicas que se registran para el año 2000 dentro de los municipios se observan en el Cuadro 6.31. Las actividades se agrupan en los distintos sectores económicos según la clasificación de

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

INEGI como se muestra en el Cuadro 6.32. En los cálculos no se toma en cuenta la categoría de “no especificado”.

Cuadro 6.31 Población Económicamente Activa (PEA) por actividad económica que desarrollan los municipios de influencia de la cuenca de la presa Madín durante el año 2000

	<b>Atizapan de Zaragoza</b>	<b>Jilotzingo</b>	<b>Naucalpan de Juárez</b>
Profesionistas técnicos	34,263	315	63,279
Trabajadores agropecuarios	383	581	1,242
Trabajadores en la industria	48,690	1,772	88,846
Trabajadores administrativos	20,352	278	36,466
Comerciantes y trabajadores ambulantes	28,567	678	51,333
Trabajadores en otro servicio	25,771	876	57,573
Trabajadores domésticos	11,709	574	24,143
No especificado	4,416	67	9,177



**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Cuadro 6.32 Clasificación de las actividades por sector económico

	<b>Sector primario</b>	<b>Sector secundario</b>	<b>Sector terciario</b>
Clasificación INEGI	Agricultura, explotación forestal, ganadería, minería, pesca	Construcción, electricidad, gas y agua, Industria manufacturera	Comercio, servicios, transporte
Actividades en los municipios	Trabajadores agropecuarios	Trabajadores en la industria	Profesionistas técnicos, trabajadores administrativos, comerciantes y trabajadores ambulantes, trabajadores en otro servicio, trabajadores domésticos.

Dentro de las actividades económicas de la cuenca que no se mencionan por el INEGI se encuentra la Piscicultura que se realiza en las comunidades que disponen principalmente de agua de manantial. También existe la actividad minera dentro de la cuenca y la ganadera con granjas porcinas con una capacidad aproximada de 2,000 cerdos en la localidad de Santiago Tepatlaxco.

Es común la extracción selectiva de Oyamel y Pino de forma clandestina y para aumentar las zonas destinadas a la ganadería.

También se registran zonas de carreras de moto cross, actividades furtivas y recreacionales.

A nivel de localidades se identifican como principales actividades económicas en el municipio de Atizapán de Zaragoza, aquellas relacionadas con el sector terciario, principalmente comerciales y de servicios, en el municipio de Jilotzingo las relacionadas con el sector primario al registrarse producción agropecuaria, forestal y acuícola y en el municipio de Naucalpan de Juárez actividades del sector primario con

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

producción agropecuaria, forestal y acuícola y del sector terciario con actividades comerciales y de servicios.

Según datos de la Comisión Nacional de Salario Mínimo (CONASAMI) para el año Comisión Nacional de Salario Mínimo el país se divide en tres áreas geográficas: A, B y C. El propósito de esto es determinar en función del nivel de vida real de la población zonas de salario mínimo. Estas áreas geográficas no necesariamente implican continuidad espacial.

El área geográfica A se conforma de los municipios del país que tienen el mayor salario mínimo y el área geográfica C los que tienen el menor salario mínimo. En ese contexto el municipio de Atizapán de Zaragoza y Naucalpan de Juárez son parte del área geográfica A y Jilotzingo del área geográfica C, y los salarios mínimos generales para el año 2000 y 2009 se presentan en el Cuadro 6.33.

Cuadro 6.33 Municipios de la cuenca de la presa Madín. Salarios mínimos para el año 2000 y 2009

	2000 \$	2009 \$
Atizapan de Zaragoza	37.90	54.80
Jilotzingo	32.70	51.97
Naucalpan de Juárez	37.90	54.80

El porcentaje de población que vive con algún tipo de pobreza (alimentaria, de capacidades o de patrimonio) con base en datos del Consejo Nacional de Evaluación Política de Desarrollo Social (CONEVAL) es aparentemente mayor en Jilotzingo como se puede ver en el Cuadro 6.34.

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Cuadro 6.34 Indicadores de pobrezas para los municipios de Atizapán de Zaragoza, Jilotzingo y Naucalpan de Juárez

Entidad Federativa	Población Total	Pobreza por Ingresos (%)		
		Pobreza alimentaria	Pobreza de capacidades	Pobreza de patrimonio
Nacional	103,263,388	18.2	24.7	47
Estado de México	14,007,495	17.6	24.8	47.7
Atizapán de Zaragoza	472,526	8.2	13.7	34.8
Jilotzingo	13,825	13.4	19	36.9
Naucalpan de Juárez	821,442	8.9	14.9	37.6

El análisis comparativo muestra que las diferencias porcentuales son mínimas entre los municipios y a nivel nacional (Figura 6.35). El municipio que muestra los valores más bajos en índices de pobreza es Atizapán de Zaragoza; Jilotzingo y Naucalpan de Juárez tiene valores similares.

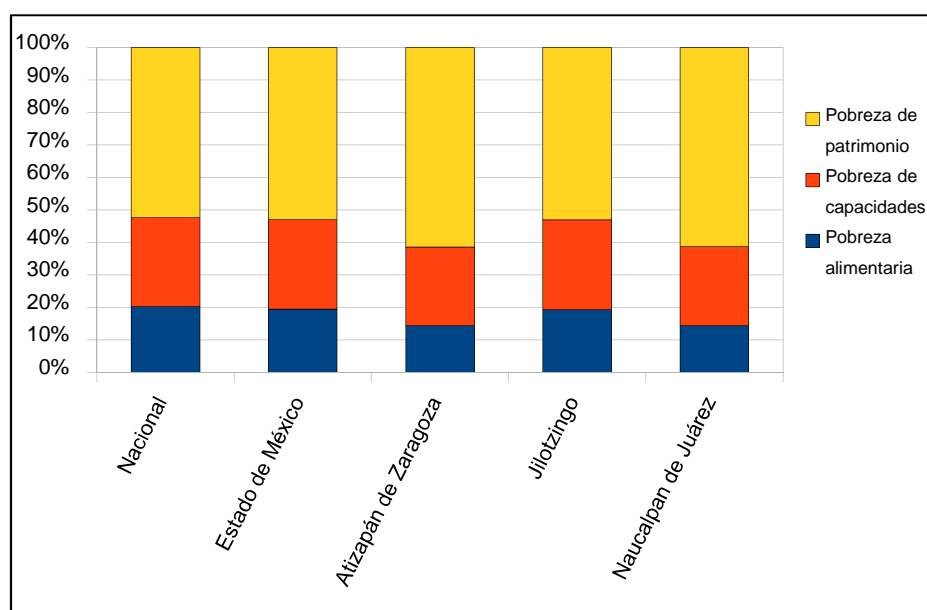


Figura 6.35 Comparación de los valores porcentuales de pobreza de patrimonio, de capacidades y alimentaria en los municipios de influencia a la cuenca de la presa Madín

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

Según estimaciones de la CONAPO con base en el II Censo de Población y Vivienda 2005 y a la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) 2005, IV Trimestre, los municipios de Atizapán de Zaragoza y Naucalpan de Juárez presentan un grado de marginación muy bajo, mientras que Jilotzingo está dentro de la categoría de bajo índice de marginación. El índice de marginación es la medida de déficit y de intensidad de las privaciones y carencias de la población en dimensiones relativas a las necesidades básicas establecidas como derechos constitucionales. El índice de marginación es el resultado de una estimación por componentes principales de cuatro dimensiones y nueve indicadores: educación (analfabetismo y población sin primaria completa); viviendas (ocupantes en viviendas sin agua entubada, sin drenaje ni servicio sanitario, con piso de tierra, sin energía eléctrica y hacinamiento); ingresos (población ocupada que gana hasta dos salarios mínimos); y distribución de la población (población en localidades con menos de 5 mil habitantes), por lo tanto en los municipios de Atizapán de Zaragoza, Jilotzingo y Naucalpan de Juárez hay servicios de educación y viviendas adecuados y suficientes para los habitantes, los ingresos cubren las necesidades básicas y hay una distribución de la población adecuada para la sana convivencia.

El grado de marginación por localidades se observa en el Cuadro 6.35.

Cuadro 6.35 Grado de marginación por localidad dentro de la cuenca de la presa Madín

Municipio	Localidad	Población total	Grado de Marginación
Atizapán de Zaragoza	Viejo Madín	77	Muy bajo
	Rancho Blanco Ejido de Espíritu Santo	501	Bajo
Jilotzingo	San Luis Ayucan	3157	Muy bajo
	Las Manzanas	507	Muy bajo
	Barrio de Ensido	1092	Muy bajo
	Barrio de Monfi	576	Bajo
	Barrio de Endonica	504	Muy bajo
	San José	268	Bajo
Naucalpan de Juárez	Santiago Tepatlaxco	2646	Bajo
	Villa Alpina	79	Bajo

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Municipio	Localidad	Población total	Grado de Marginación
	Puente de Piedra	699	Muy bajo
	Córdoba	259	Bajo
	El Chabacano	169	Bajo
	La Alameda (Criadero de Trucha la Alameda)	5	Bajo
	Ejido el Cristo	293	Bajo
	La Cuesta	94	Bajo
	Barrio de Rancho Viejo	537	Bajo
	Ejido de Chiluca (Pueblo de Chiluca)	232	Bajo
	La Hiedra	456	Bajo
	La Rosa	1100	Bajo
	Barrio Arenillas (La Capilla)	73	Muy bajo
	Tres Piedras (La Loma)	77	Bajo
	Barrio Agua Buena	199	Muy bajo
	Barrio de Tito	47	Bajo
	Barrio las Peñitas	199	Muy bajo

Los indicadores económicos de Atizapán de Zaragoza y Naucalpan de Juárez son de los más altos en el estado, solamente superados por municipios como Ecatepec de Morelos y Netzahualcóyotl (Cuadro 6.36).

Cuadro 6.36 Principales índices económicos por municipios de la cuenca de la presa Madín

Municipio	Remuneraciones (Miles de pesos)	Producción Bruta Total (Miles de pesos)	Consumo Intermedio (Miles de pesos)
Atizapán de Zaragoza	341,205.00	2,089,483.00	585,722.00
Jilotzingo	783.00	10,476.00	2,169.00
Naucalpan de Juárez	2,263,273.00	13,726,792.00	4,323,203.00

Es importante señalar que los datos anteriores son a nivel municipal y no necesariamente ocurren en las localidades donde se encuentra la cuenca de la presa Madín.

### 6.7.3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS LOCALIDADES

#### POBLACIÓN

La mayor concentración poblacional dentro de la cuenca se encuentra en el municipio de Naucalpan con un 51.74%, le sigue Jilotzingo con el 44.08% y por último Atizapán de Zaragoza con 4.17%.

En la cuenca de la presa Madín habitan aproximadamente 13,846 personas distribuidas en las localidades anteriormente mencionadas, de las cuales cerca del 42% de la población se encuentra distribuida en dos localidades: San Luis Ayucan y Santiago Tepatlaxco en Jilotzingo y Naucalpan de Juárez respectivamente (Figura 6.37). La mayoría de las poblaciones (21 de 25) de la cuenca de la presa Madín tienen una población total inferior a los 700 habitantes.

En el Cuadro 6.37 se observa la distribución poblacional de las localidades por municipio y sexo.

Cuadro 6.37 Población total en las localidades por sexo y municipio en la cuenca de la Presa Madín

Municipio	Localidades	Población		
		Población total	Masculino	Femenino
Atizapan de Zaragoza	2	578	294	284
Jilotzingo	6	6,104	2,981	3,123
Naucalpan de Juárez	17	7,164	3,603	3,561

En la Figura 6.36 se grafica la pirámide poblacional por edades dentro de la cuenca.

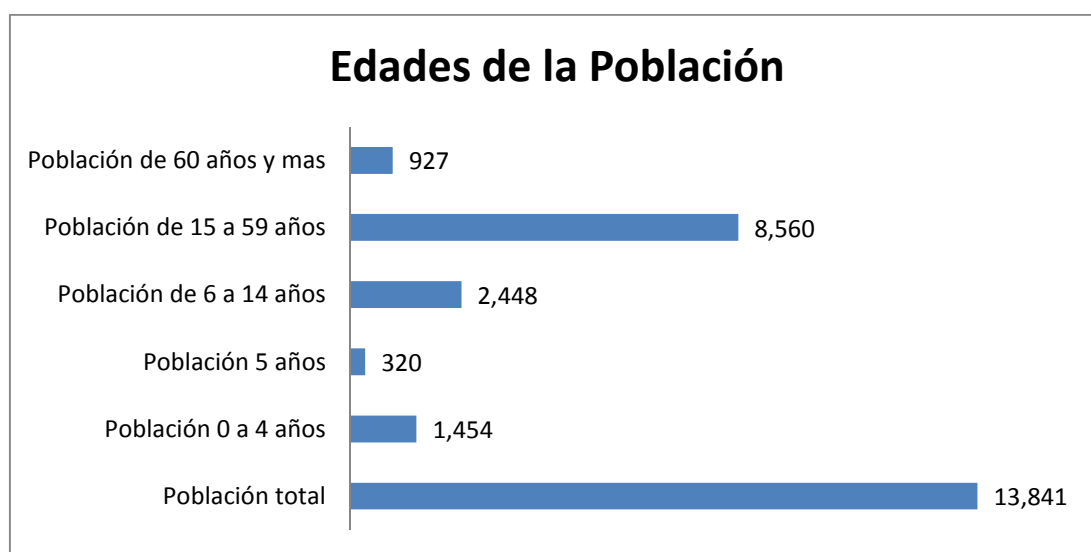


Figura 6.36 Pirámide poblacional en la cuenca de la presa Madín

Solamente 713 personas mayores de 5 años, es decir el 5.14% de la población total, hablan alguna lengua indígena en las localidades de la cuenca de la presa Madín, 514 personas mayores de 5 años hablan alguna lengua indígena y viven en la localidad de Santiago Tepatlaxco en el municipio de Naucalpan de Juárez.

Dentro de la cuenca se registran 3,291 familias la cuales en promedio se conforman de cuatro integrantes, 505 son de jefatura femenina (Cuadro 6.38).

Cuadro 6.38 Familias y número promedio de integrantes dentro de la cuenca de la presa Madín para los años 1990, 2000 y 2005

AÑO	FAMILIAS	NUMERO PROMEDIO DE INTEGRANTES
1990	1542	6
2000	4978	4
2005	3291	4

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

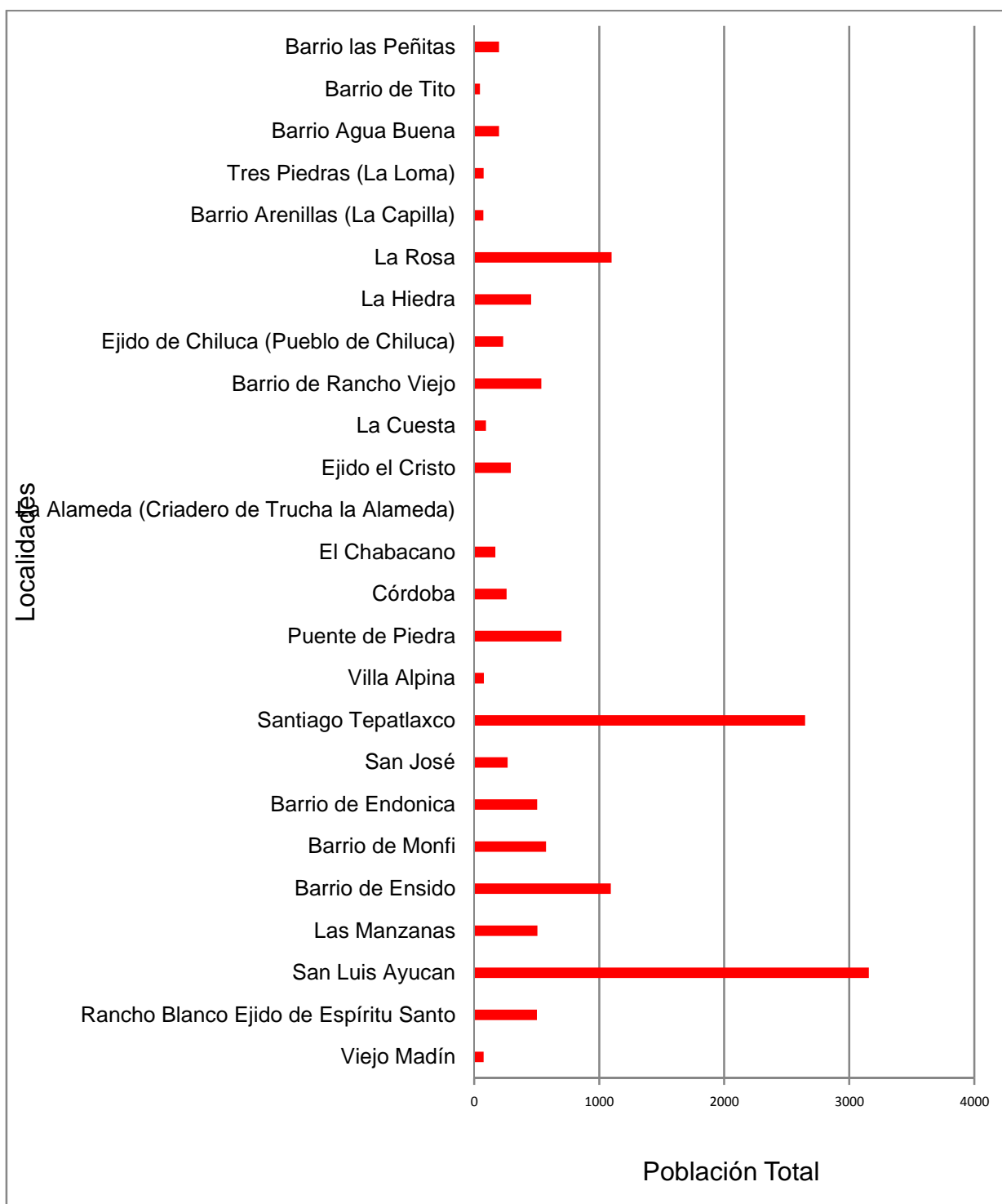


Figura 6.37 Población total en las localidades de la cuenca de la presa Madín



## POBLACIÓN DERECHOHABIENTE

A pesar de los favorables indicadores que existen en los municipios de la cuenca de la presa Madín, en las localidades existe una mayor proporción poblacional que no cuenta con servicio de salud, encontrándose casos como el de la localidad del Barrio Tito y Tres Piedras en el municipio de Naucalpan de Juárez en los cuales ningún habitante es derechohabiente. En general, del total de la población de la cuenca de la presa Madín el 70.6% no es derechohabiente de ningún sistema de salud ya sea pública o privada. Cabe señalar que en el caso de la localidad La Alameda no existen datos reportados en el II Censo de población y vivienda de INEGI (2005).

En la Cuadro 6.39 se aprecia la población dentro de la cuenca derechohabiente y su afiliación por municipio.

Cuadro 6.39 Población derechohabiente de la cuenca de la presa Madín

<b>Población</b>	<b>Atizapan de Zaragoza</b>	<b>Jilotzingo</b>	<b>Naucalpan de Juárez</b>
Total	578	6,104	7,164
Derechohabiente	151	2,078	1,640
Afiliada al IMSS	106	1,556	1,347
Afiliada al ISSSTE	7	101	75
Afiliada al Seguro Popular	4	87	10

## EDUCACIÓN

En cuanto a la educación, la población analfabeta mayor a los 15 años es apreciablemente pequeña respecto a su proporción poblacional por localidad. La clasificación por rangos de años de escolaridad promedio indica que 20 de las 25 localidades tienen en promedio de 6 a 9 años de educación lo cual corresponde al nivel básico.

En promedio el nivel de escolaridad en las localidades es de 7.3 años, siendo el Ejido Chiluca el de menor años de escolaridad con 5.76 y la localidad de Viejo Madín la que cuenta con el mayor número de años de escolaridad con 10.09 (Figura 6.38).

Cabe señalar que en el caso de la localidad La Alameda no existen datos reportados en el II Censo de Población y Vivienda de INEGI (2005).

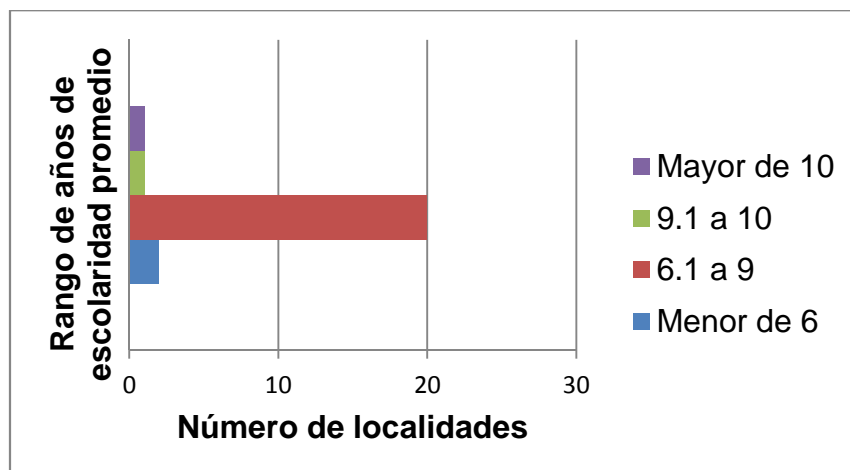


Figura 6.38 Localidades según rangos de años promedios de escolaridad en la cuenca de la presa Madín

### VIVIENDAS

Existen 3,223 viviendas en total dentro de la cuenca, en el Cuadro 6.40 se observan las condiciones de vivienda dentro de la cuenca. El promedio de ocupantes por vivienda presenta poca variación, que va de 3 a 6 ocupantes. En total el 88% de las viviendas tienen en promedio de 4 a 5 ocupantes (Figura 6.39). De las 15 localidades con cuatro ocupantes por vivienda, nueve son del municipio de Naucalpan de Juárez, cuatro de Jilotzingo y dos de Atizapán de Zaragoza.

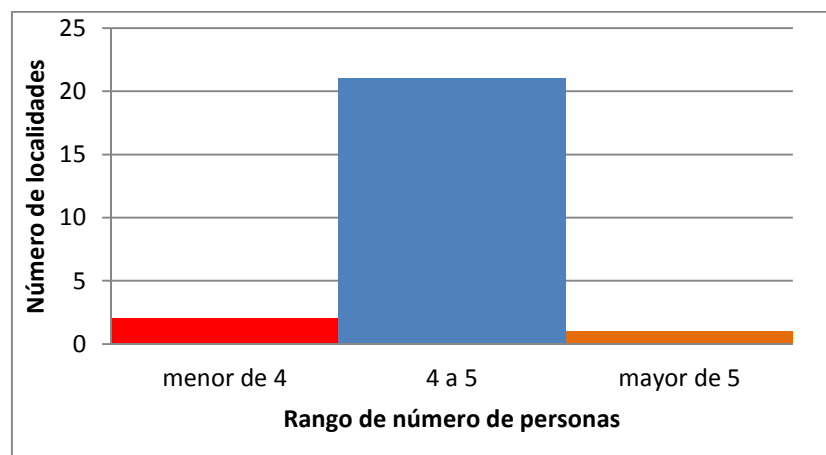


Figura 6.39 Promedio de ocupantes en viviendas en las localidades de la cuenca de la presa Madín

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

Cuadro 6.40 Caracterización de las viviendas en la cuenca de la presa Madín

CONCEPTO	VALOR
Viviendas con piso de tierra	298
Viviendas sin drenaje	323
Viviendas sin agua entubada	389
Viviendas sin ningún bien	80
Viviendas con luz eléctrica	3,139

Las localidades con mayor número de viviendas con piso de tierra son San Luis Acayuca en el municipio de Jilotzingo y Santiago Tepatlaxco en el municipio de Naucalpan de Juárez con 52 y 91 viviendas con piso de tierra respectivamente.

En la cuenca de la presa Madín existen 389 viviendas particulares que no cuentan con agua entubada y se distribuyen en 20 localidades, 18 de ellas tienen menos de 25 viviendas sin agua entubada. La localidad con mayor número de viviendas sin agua entubada se encuentra en el municipio de Naucalpan de Juárez y es La Rosa con 198 viviendas en dichas condiciones, es decir, el 51%. Las localidades de Barrio de Endonica y San José en Jilotzingo, así como Ejido El Cristo y Barrio Tito en Naucalpan de Juárez tienen registro cero de viviendas sin agua entubada.

### INFRAESTRUCTURA

En cuanto a la infraestructura urbana dentro de la cuenca se registran 18 escuelas, ocho templos, tres unidades médicas, tres cementerios, una zona deportiva, cuatro pozos, diez cajas de agua y cuatro antenas de comunicación, dos de las cuales son torres de radio y dos de microondas (Figura 6.40 y 6.41).

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

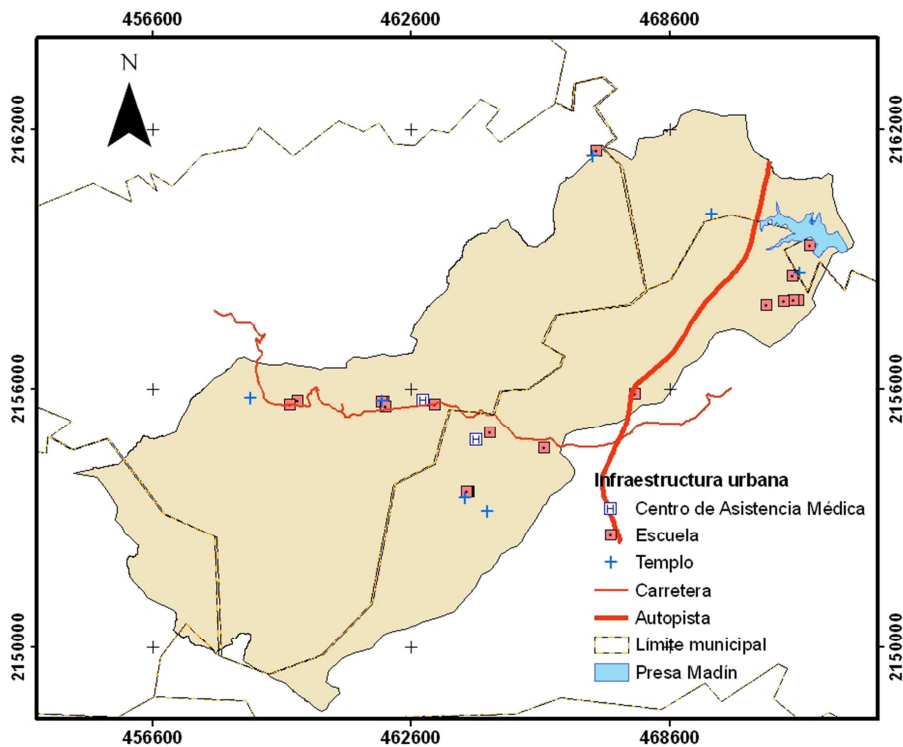


Figura 6.40 Infraestructura: Unidades médicas, templos y escuelas en la cuenca de la presa Madín

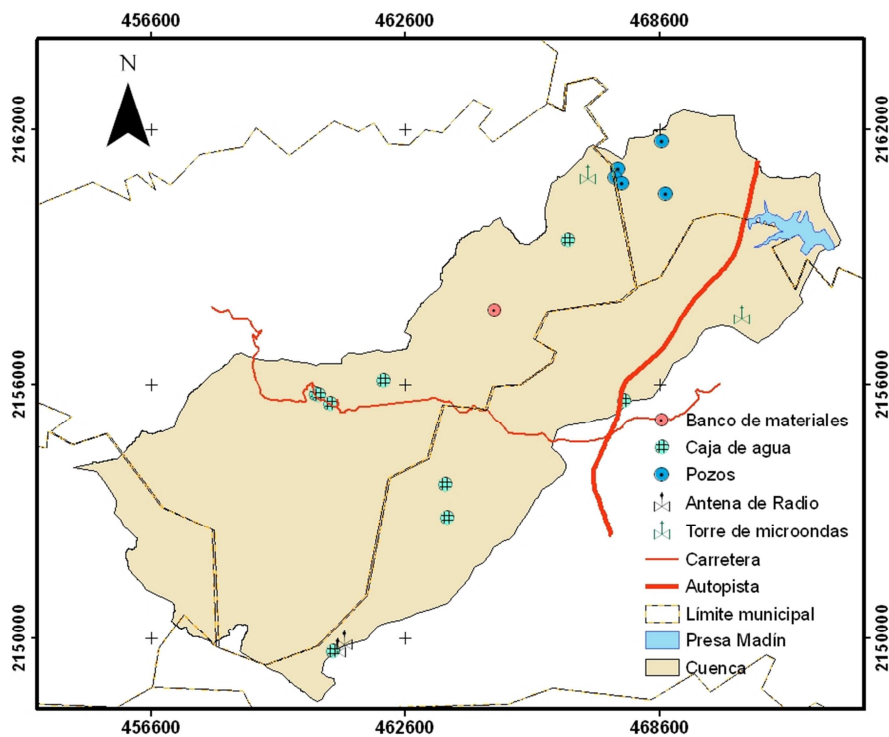


Figura 6.41 Infraestructura: comunicación, banco de materiales, pozos y de almacenamiento de agua en la cuenca de la presa Madín

## TENENCIA DE LA TIERRA

Dentro de la cuenca existen tres tipos de propiedad del suelo: ejidal, ejidal-comunal y privado, sin embargo, se desconocen los polígonos de los mismos.

A nivel municipal, en Jilotzingo se ubica una zona de propiedad ejidal al poniente del municipio, que limita con el municipio de Atizapán de Zaragoza. Las tierras comunales y ejidales pertenecen al Parque Estatal Otomí-Mexica y se ubican al poniente del municipio, y sobre la cual se asienta parte de las localidades de Santa María Mazatla, San Miguel Tecpan, Ejido Espíritu Santo y San Luis Ayucan. Finalmente la superficie de propiedad privada se ubica al nororiente del municipio.

En el municipio de Atizapán de Zaragoza solamente se encuentra la propiedad ejidal y privada, la primera constituida por las localidades de Atizapán, Calacoaya, Chiluca, Espíritu Santo, San Bartolo Tenayuca, San Mateo, San Miguel Chalma, San Juan Ixtacala, Santiago Tepalcapa mientras que la propiedad privada abarca la superficie restante del municipio.

En el municipio de Naucalpan de Juárez las tierras ejidales se limitan a las comprendidas dentro del Parque Estatal Otomí-Mexica.

Atizapán de Zaragoza y Naucalpan de Juárez presentan una mayor población, urbanización e industria que el municipio de Jilotzingo.

## 6.8. EROSIÓN HÍDRICA POR EL MODELO DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO

Se realizó la evaluación de la erosión actual y potencial con base en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) desarrollada por Wischmeier & Smith en 1965 (Figuroa *et al.*, 1991; Santacruz, 2011) para estimar y/o predecir las pérdidas de suelo promedio anuales.

La EUPS es un modelo empírico, en el que la pérdida de suelo está expresada como masa por unidad de área por unidad de tiempo y es una función del efecto combinado de seis factores: Factor de erosividad de la lluvia (R); Factor de erosionabilidad del suelo (K); Factor longitud de pendiente (L); Factor grado de la pendiente (S); Factor manejo del cultivo (C) y Factor prácticas de conservación (P). EUPS ayuda a predecir las

variaciones en la erosión en función de los cambios en el uso y manejo del suelo y vegetación, a la vez que auxilia en la selección de éstos.

La función que describe el proceso se expresa en la ecuación 6-19.

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (6-19)$$

Donde:

A = Promedio anual de pérdida de suelo por hectárea, y expresado en  $\text{ton ha}^{-1}$   $\text{año}^{-1}$

R = Factor de erosividad de la lluvia en  $(\text{MJ mm}) (\text{ha hr})^{-1}$

K = Factor de erosionabilidad del suelo en  $(\text{ton ha hr})(\text{MJ mm ha})^{-1}$

S = Factor del grado de pendiente es adimensional

L = Factor del grado de longitud es adimensional

C = Factor del manejo de vegetación es adimensional

P = Factor de prácticas mecánicas en el manejo de la vegetación agrícola es adimensional

De acuerdo a la descripción anterior, las variables se dividen en dos tipos, físicas o medibles directamente y cualitativas, que se asignan en función de una serie de parámetros también físicos. Las primeras incluyen a los factores R, K, L, S; las variables cualitativas son los factores C y P, estos últimos además son factores manipulables o antropogénicos.

En el presente apartado se describen los factores que determinan la erosión actual y potencial siguiendo la metodología mostrada en la Figura 6.42 y la cual se describe en los subsiguientes apartados.

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

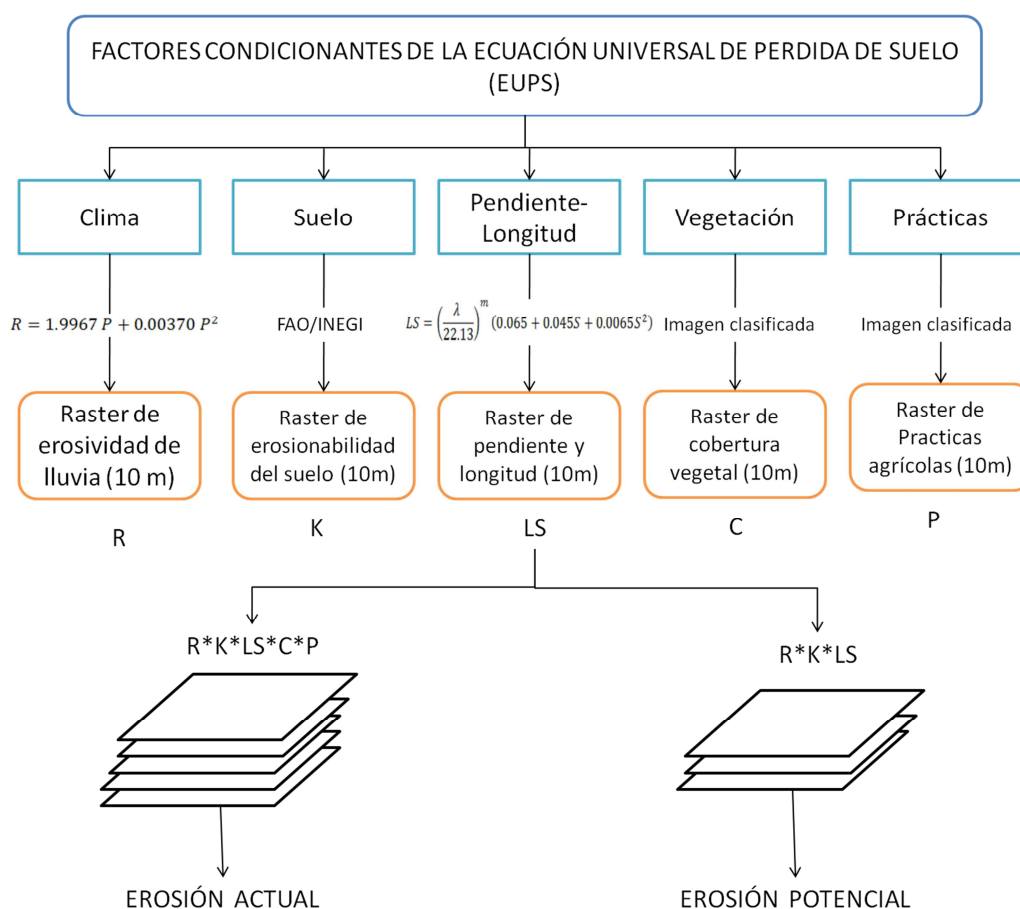


Figura 6.42 Metodología para el cálculo de la EUPS

### 6.8.1. FACTOR DE EROSIVIDAD R

La erosividad es la capacidad potencial que tienen las gotas de agua de lluvia para causar erosión. Existen muchas formas de determinarla, una de ellas es a través del índice  $EI_{30}$  el cual fue propuesto por Wischmeier (1959). Se define como el producto de la energía cinética total de la lluvia (E) por la intensidad máxima en 30 minutos ( $I_{30}$ ). Se enfoca en el desprendimiento de partículas de suelo por erosión laminar (Figueroa *et al*, 1991). En México, Cortés (1991), a través del análisis de 53 estaciones meteorológicas determinó un mapa de isoerosividad con el cual formó 14 regiones delimitadas por la erosividad de la lluvia. De acuerdo a dicha zonificación, la cuenca de la presa Madín se ubica en la región número VIII y le corresponde la ecuación 6-20 para el cálculo del factor R (Figueroa *et al*, 1991):

$$R = 1.9967 P + 0.00370 P^2 \quad (6-20)$$

Donde:

R =Erosividad de la lluvia (MJ mm) (ha hr)<sup>-1</sup>

P =Precipitación media anual (mm)

Los datos medios anuales de distribución y precipitación de lluvia utilizados para el cálculo del factor R corresponden a las estaciones que se mencionan en el Apartado Descripción del Medio Natural.

### 6.8.2. FACTOR DE EROSIONABILIDAD K

El término erosionabilidad del suelo, se usa para indicar la susceptibilidad de un suelo a la erosión (Figuroa *et al*, 1991). La erosionabilidad de los suelos está influida por algunas propiedades de los mismos, tales como distribución del tamaño de las partículas primarias, materia orgánica, estructura del suelo, óxidos de hierro y aluminio, uniones electroquímicas, contenido inicial de humedad y procesos de humedecimiento y secado. Se define como la tasa de pérdida de suelo por cada unidad adicional de  $E_{l30}$  cuando la pendiente y su longitud, la cobertura vegetal y las prácticas de conservación del suelo permaneces contantes y son iguales a 1.

### 6.8.3. FACTOR DE GRADO DE PENDIENTE LS

La topografía del terreno afecta la el proceso de erosión y se representa por el factor LS. La relación de erosión y factor LS es directamente proporcional. Figuroa *et al*. (1991) comentan que la erosión aumenta conforme la longitud del terreno en el sentido de la pendiente aumenta (factor L) y la inclinación del terreno se hace mayor (factor S).



El factor de la pendiente (S) incorpora el efecto de la topografía a la EUPS, lógicamente la pérdida de suelo aumenta al incrementarse la pendiente ( $\theta$ , %) del terreno, también se ve afectada por la longitud aunque en menor grado.

A partir del modelo de elevación digital, MDE, con resolución espacial de 10 m se determinó la pendiente del terreno con el módulo Slope de la paquetería ArcGis 9.3. Los algoritmos empleados por el programa se muestran en la ecuación 6-21 y 6-22.

$$S(\%) = \left( \frac{\Delta Dy}{\Delta Dx} \right) * 100 \quad (6-21)$$

$$S(\theta) = \left( \tan \frac{\Delta Dy}{\Delta Dx} \right) * \frac{180}{\pi} \quad (6-22)$$

Donde:

$\Delta Dy$  =Diferencia en distancia vertical

$\Delta Dx$  =Diferencia en distancia horizontal

La longitud de la pendiente L ( $\lambda$ ) se define como la distancia desde el punto de origen del flujo superficial a cualquiera de los siguientes puntos:

- Punto donde la pendiente decrece de tal manera que empieza a existir sedimentación.
- Punto donde el agua de escorrentía entra a un canal bien definido, que puede ser parte de una red de drenaje o un canal construido, como el de una terraza, canal interceptor y/o zanja de desviación.
- Longitud de la parcela. Es la proyección horizontal de la hipotenusa de la pendiente del terreno.

Este factor se obtiene mediante la ecuación 6-23:

$$L = [\lambda/22.1]^m \quad (6-23)$$

Donde:

$\lambda$  = Longitud de la pendiente (m)



m = Exponente adimensional

Esta es válida cuando se tienen parcelas de 22.13 m de largo con pendientes uniformes de 9%, sin embargo existen adecuaciones para las condiciones en campo estos factores son altamente variables. Por lo anterior, se utiliza para el cálculo del factor LS la ecuación 6-24 en función de las características de la cuenca.

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m (0.065 + 0.045S + 0.0065S^2) \quad \text{para } S \leq 20\%, \quad \lambda < 350 \text{ m} \quad (6-24)$$

Donde:

$\lambda$  = Longitud del tramo de pendiente en metros, en éste caso de 10 m, por ser la unidad de análisis del pixel

S = Pendiente en porcentaje

m = 0.59, exponente que depende del grado de pendiente y se define en la ecuación 6-25.

$$m = \frac{\beta}{(1+\beta)} \quad (6-25)$$

$\beta$  se define en la ecuación 6-26:

$$\beta = \frac{\sin \theta / 0.0896}{3 * (\sin \theta)^{0.8} + 0.56} \quad (6-26)$$

Donde:

$\theta$  = Pendiente en grados

#### **6.8.4. FACTOR DE COBERTURA VEGETAL C**

El parámetro de vegetación C, representa la capacidad de la vegetación para impedir el arrastre de sedimentos; es decir que si el suelo permanece desnudo durante la época

de lluvias, su capacidad de permitir el arrastre de material es más alta que si tuviese algún tipo de cobertura. Dentro de la EUPS el parámetro C representa un factor de reducción de erosión, por lo que carece de unidades.

Debido a que en el área se presenta una baja intensidad de uso agrícola, la determinación del factor C se realiza como se describe a continuación.

### PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

Para determinar la cobertura vegetal se analizan dos imágenes satelitales LandSat 7 ETM+ de febrero, que según el climograma desarrollado en la descripción del medio natural corresponde a la temporada de secas para el año 2000 y 2008. Con el módulo Basic Tools-Preprocessing-Calibration Utilities-LandSat Calibration de la paquetería ENVI 4.7 se realiza la corrección radiométrica con base en las ecuaciones de Chávez (Chander, G. *et al.*, 2009), ecuación 6-27 y 6-28, y las especificaciones para cada imagen y tipo de sensor (Chander, G. *et al.*, 2009) como se muestra en el Cuadro 6.41.

$$L_{\lambda} = \left( \frac{L_{max_{\lambda}} - L_{min_{\lambda}}}{Q_{cal_{max}} - Q_{cal_{min}}} \right) (Q_{cal} - Q_{cal_{min}}) + L_{min_{\lambda}} \quad (6-27)$$

$L_{\lambda}$ =	Radiancia Espectral [W/(m <sup>2</sup> μm)]
$Q_{cal}$ =	Valor del pixel calibrado [DN]
$Q_{cal_{min}}$ =	Valor mínimo del pixel calibrado [DN]
$Q_{cal_{max}}$ =	Valor máximo del pixel calibrado [DN]
$L_{min_{\lambda}}$ =	Radiancia mínima en el sensor escalado al $Q_{cal_{min}}$ [W/(m <sup>2</sup> μm)]
$L_{max_{\lambda}}$ =	Radiancia mínima en el sensor escalado al $Q_{cal_{max}}$ [W/(m <sup>2</sup> μm)]

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{ESUN_{\lambda} * COS\theta_s} \quad (6-28)$$

Donde:

$\rho_{\lambda}$ =	Reflectancia [adimensional]
$\pi$ =	Constante matemática ~ 3.14159 [adimensional]
$L_{\lambda}$ =	Radiancia Espectral [W/(m <sup>2</sup> μm)]



**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

- $d =$  Distancia entre el Sol y la Tierra [Unidades astronómicas]  
 $ESUN_{\lambda} =$  Valor medio de la irradiancia solar exoatmosférica [ $W/(m^2 \mu m)$ ]  
 $\vartheta_s =$  Ángulo zenital [grados]

Cuadro 6.41 Parámetros de calibración radiométrica. Parte I

Sensor	Año	Mes	Día	Escena	Bandas	Ángulo solar
LandSat 7 ETM+	2000	02	02	26/47	B01, B02, B03, B04, B05, B61, B62, B07, B08	44.1104198
LandSat 7 ETM+	2008	02	08	26/47	B01, B02, B03, B04, B05, B61, B62, B07, B08, GapMask	44.9701569

Los valores de  $ESUN_{\lambda}$  utilizados para cada tipo de sensor y banda se muestran en el Cuadro 6.42.

Cuadro 6.42 Parámetros de calibración radiométrica. Parte II

Sensor	Año	ESUN
LandSat 7 ETM+	B01	1997
	B02	1812
	B03	1533
	B04	1039
	B05	230.8
	B61	N/A
	B62	N/A
	B07	84.9
B08	1362	

Para el análisis de cada banda se calibra por la vía Lmin-Lmax (Figura 6.43).

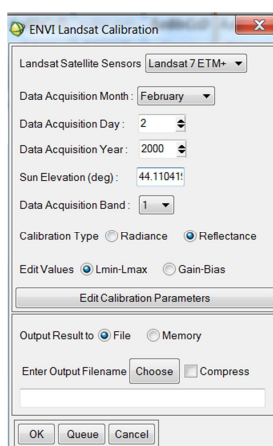


Figura 6.43 Módulo ENVI LandSat Calibration

En el caso de la imagen del año 2008, se cuenta con la máscara (Gap Mask) de las líneas producidas por la desestabilización del sensor como se muestra en la Figura 6.48 (USGS, 2009). Con dicha máscara se genera un recorte de los pixeles faltantes de la imagen más cercana con información, correspondiente al año 2000, los cuales son extraídos sin corrección radiométrica para posteriormente ser corregidos con los parámetros del año 2008 (Figura 6.44 y 6.45).

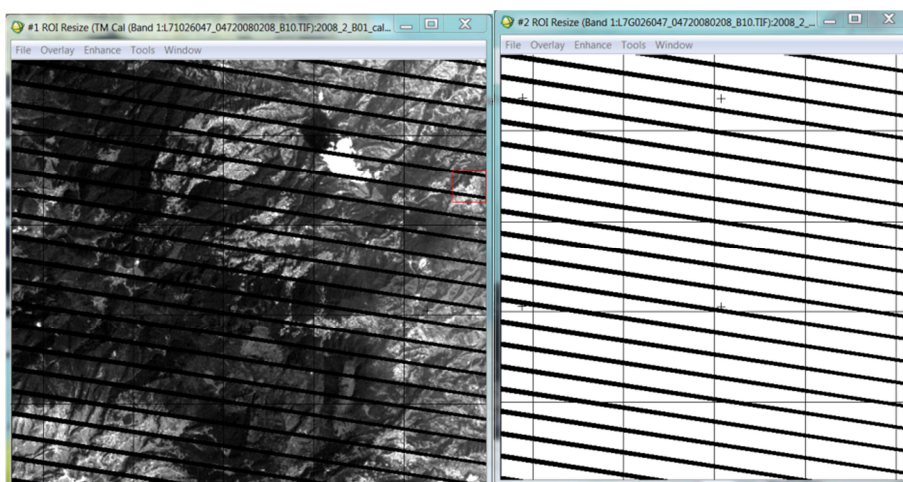


Figura 6.44 Imagen LandSat 7 ETM+ 2008 y Gap Mask correspondiente

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

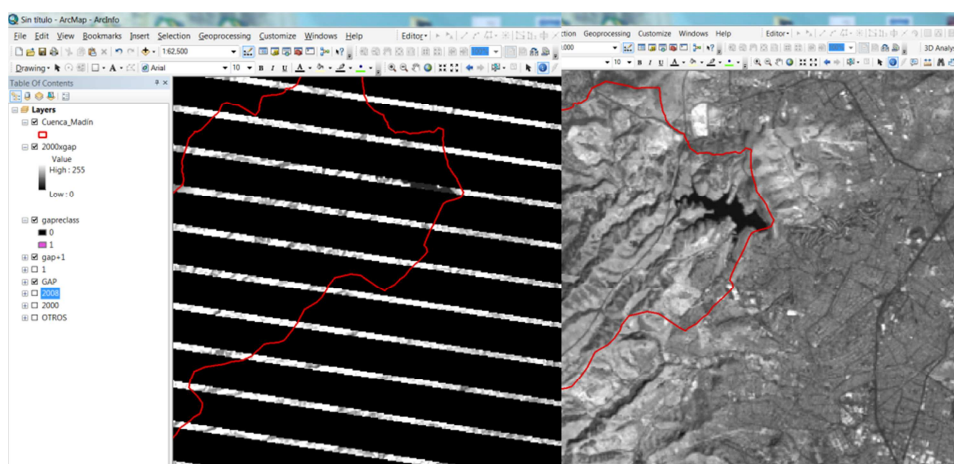


Figura 6.45 Extracción- vaciado de pixel

### CAMBIO DE USO DE SUELO

Se analizaron las áreas basales de vegetación forestal y el cambio de uso de suelo de las imágenes satelitales corregidas para el año 2000 y 2008 (Cruz-Leyva *et al.*, 2010).

Para ello se aplicó el índice de vegetación de diferencia normalizada conocido por sus siglas en inglés como NDVI y el cual se calcula conforme a la ecuación 6.29.

$$NDVI = \frac{(IRCercano - Rojo)}{(IRCercano + Rojo)} \quad (6-29)$$

Donde:

IRCercano = correspondiente a la B04 (0.76 a 0.90 micrones)

Rojo = correspondiente a la B03 (0.63 a 0.69 micrones)

El NDVI varía de -1 a +1 en donde la vegetación con actividad fotosintética tienden a +1 mientras que zonas como nubes o agua tienden a -1. Se clasifica la imagen determinando polígonos de entrenamiento y haciendo rectificación en campo.

### USO DE SUELO FORESTAL

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

---

La mayor concentración de masa forestal se encuentra en el municipio de Jilotzingo, donde existen tres grupos forestales predominantes: encinos, abetos y pinos (Figura 6.46). A continuación se enlistan las especies más representativas de estos bosques:

Encino de hoja de laurel (*Quercus laurina*)

Encino de hojas crasas (*Quercus magnoliifolia*)

Encino mexicano (*Quercus mexicana*)

Aile de hoja firme (*Alnus sp.*)

Abeto u Oyamel (*Abies religiosa*)

Pinos (*Pinus montezumae*, *Pinus hartwegii* y *Pinus patula*)

Esta zona es equivalente al uso de suelo identificado por INEGI como ecológica-florística-fisonómica.



Figura 6.46 Área boscosa en los municipios de Naucalpan de Juárez y Jilotzingo

### USO DE SUELO URBANO

Las actividades económicas mencionadas en el apartado socioeconómico que se llevan a cabo en la cuenca tienen un impacto sobre la misma, sin embargo aquellas que se



## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

---

realizan en la parte alta generan consecuencias mayores ya que el efecto negativo se acumula a lo largo de la cuenca.

En el municipio de Jilotzingo el cambio de uso de suelo para casa habitación es una de las principales actividades causales del deterioro en la parte alta y media de la cuenca. A pesar de ser área protegida y de tenencia de tierra ejidal la zona boscosa de Jilotzingo se encuentra lotificada y en venta. Los grandes complejos habitacionales de los municipios de Naucalpan de Juárez y Atizapán de Zaragoza buscan extenderse hacia Jilotzingo pero con miras a desarrollos más exclusivos y con demandas de servicios mayores a las estándar para una casa habitación (Figura 6.47). Se reporta que más de 550 hectáreas de bosque natural de la localidad de San Luis Ayucan, están en riesgo de ser fraccionadas con nuevos desarrollos habitacionales, que darían continuidad al corredor inmobiliario Santa Fe–Interlomas-Zona Esmeralda.



Figura 6.47 Procesos antropogénicos comunes en el territorio de la cuenca de la presa Madín

En la parte baja de la cuenca también se registra el incremento al uso de suelo urbano que incluye centros comerciales, complejos habitacionales en desarrollo, centros educativos y campo de golf (Figura 6.48).





Figura 6.48 Expansión de la mancha urbana en la parte baja de la cuenca (proceso actualmente acelerado)

Sin ser actividades económicas los servicios de drenaje y alcantarillado así como de recolección de residuos sólidos en la parte alta de la cuenca agudizan el problema de degradación. En la población de San Luis Ayucan, municipio Jilotzingo, el relleno sanitario de 38 hectáreas manejado por la empresa CONFINAM S.A. de C.V. y SANIRENT no cumplía con los requisitos de manejo de residuos sólidos establecidos por lo que ha generado conflictos sociales entre los ejidatarios, las autoridades y los responsables del relleno sanitario. A pesar de su clausura sigue siendo fuente de contaminantes de mantos freáticos, en específico sobre los acuíferos Cuautitlán-Pachuca y Zona Metropolitana del Valle de México, y foco infeccioso ya que durante su periodo de operación se estima que recibió cerca de 1,500 a 1,800 toneladas de desechos de hospitales y materiales no biodegradables diarios, los cuales no recibieron ningún tratamiento al cierre del relleno y generaron una laguna de lixiviados. Se estima que dicho relleno producía 44.82 m<sup>3</sup> por día de lixiviados siendo que la autorización para su funcionamiento determinaba la misma cantidad pero anualmente.

Según datos de la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México los municipios de Jilotzingo y Naucalpan de Juárez en conjunto producen 1,056.91 toneladas de residuos sólidos al día mientras que el municipio de Atizapán de Zaragoza aproximadamente 621.99 toneladas (Figura 6.49 y 6.50).



Figura 6.49 Evidencias de la degradación por contaminación antropogénica de residuos sólidos. Parte I



Figura 6.50 Evidencias de la degradación por contaminación de residuos sólidos antropogénica. Parte II

Aunque menos frecuente, pero con un impacto mayor, la actividad minera desarrollada en la parte alta de la cuenca facilita y provoca la degradación de la misma tanto en la parte alta como en la media. Dicha actividad tiene impacto en el estado de los bosques, suelo y agua superficial así como en los mantos freáticos (Figura 6.51).



Figura 6.51 Procesos de minería en el territorio de la cuenca de la Presa Madín

Esta zona es equivalente a la identificada como complementaria por INEGI.

#### 6.8.4.1. FACTOR DE PRÁCTICAS MECÁNICAS P

Cuando se introducen cultivos en suelo con pendientes, en ocasiones se utilizan prácticas mecánicas que reducen el agua de escurrimiento y por consecuencia la cantidad de suelo que se puede transportar (Figueroa *et al.*, 1991). El factor P se define como la relación que existe entre la pérdida de suelo con una práctica de conservación a la pérdida correspondiente en un terreno bajo cultivo en el sentido de la pendiente, su valor es adimensional y se encuentra entre 0 y 1.

Este parámetro se refiere a las prácticas mecánicas y de labranza que modifican la estructura del suelo, retrasando o incrementando la susceptibilidad del material de ser arrastrado. Cuando P toma valores cercanos a cero indica que el suelo no está siendo erosionado debido a las prácticas mecánicas de conservación; y cuando tiende al valor de 1, indica que se tiene la erosión máxima debido a que el tipo de prácticas agrícolas que se emplean en el área estudiada no mitiga los efectos de la agricultura en pendiente. Este último sería el caso de la cuenca de la presa Madín.

## 6.9. PRODUCCIÓN Y DEPOSITACIÓN DE SEDIMENTOS POR EL MODELO USPED

Los problemas de erosión de suelos no solo están limitados a las zonas en las cuales la erosión toma lugar sino también a zonas aguas abajo donde los sedimentos llevados por el escurrimiento pueden también causar daños a las infraestructuras hidráulicas, canales de riego, en la sedimentación de reservorios y contaminación asociada a los sedimentos resultando en una declinación física y química de la calidad del agua.

Para reducir el decline de la productividad de los suelos y la calidad del agua y para optimizar el uso de recursos para la conservación de suelos y agua, los patrones espaciales de las áreas donde la erosión se origina y las tasas de erosión asociadas así como la deposición deben ser identificadas de forma prioritaria. Existe por lo tanto una gran necesidad de estimar la erosión de suelos y sedimentación en grandes extensiones y a una escala regional. Debe tenerse presente sin embargo que a esta escala existe una densidad de datos menor, y que la disponibilidad de datos con menor resolución espacial es también obvia.

El modelo paramétrico USLE, también conocido por la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), y sus actuales revisiones, RUSLE, RUSLE3D y USPED, continúan siendo los modelos de mayor aplicación para determinar los efectos de la erosión hídrica en cuencas de montaña. En estos modelos, los efectos de la topografía sobre la pérdida de suelo están representados por el factor combinado, LS, siendo éste uno de los cinco componentes del modelo, los cuales forman una ecuación cuyo producto estima la pérdida media anual de suelo por unidad de área.

Un concepto que está siendo usado cada vez más en la modelación de la erosión es la unidad de fuerza de corriente (Yang, 1972), denominado Unit Stream Power - based Erosion Deposition (USPED). Este concepto incorpora la influencia de la complejidad del terreno, en especial en sitios donde existe una transición entre perfiles cóncavos y convexos en combinación con una representación real de amplio rango de las propiedades del suelo y cobertura superficial.

El modelo de erosión y deposición basado en la unidad de fuerza de flujo (USPED) predice la distribución espacial de la erosión, y tasas de deposición para flujo permanente superficial bajo la condición de exceso de lluvia uniforme. USPED asume

que los procesos de erosión se producen con una capacidad de transporte límite. Para este caso, la tasa de flujo de sedimento  $q_{s(r)}$  a capacidad de transporte de sedimentos  $T(r)$ , (Mitasova *et al.*, 2001) y se expresa en la ecuación 6-30.

$$|q_{s(r)}| = T(r) = K_{t(r)} \times |q(r)|^m \times [\sin \beta(r)]^n \quad (6-30)$$

Donde:

$q(r)$  =Flujo de agua ( $m^2/\text{seg}$ ), es equivalente al flujo acumulado

$K_{t(r)}$  =Coeficiente de transportabilidad

$m$  =Constante que dependen del tipo de flujo (flujo laminar o en surcos)

$n$  =Constantes que depende de lo pronunciado de la pendiente (cóncava o convexa)

$\beta$  =Pendiente ( $\theta$ )

El flujo de agua  $q(r)$  se encuentra en función del el área de aporte pendiente arriba por lo que se expresa conforme la ecuación 6-31.

$$|q(r)| = A(r)i \quad (6-31)$$

Donde:

$A(r)$  = Área de aporte pendiente arriba entre curvas de nivel ( $m^2/m$ )

$i$  = Intensidad uniforme de lluvia ( $m/s$ )

La fórmula se encuentra limitada ya que no existen trabajos en donde se asignen valores estandarizados a  $K_{t(r)}$  (Mitasova & Mitas, 1999; Mitasova, 1997) por lo cual se asume que  $K_{t(r)} \sim KCP$  y  $i^m \sim R$ . Para el caso del flujo en canal se considera a la constante  $m = 1.6$  y  $n = 1.3$ ; mientras que para flujo laminar ambas equivalen a uno (Mitasova & Mitas, 1999; Clarke *et al.*, 2002).

Debido a que el modelo se considera como una distribución en el espacio tanto de erosión como de deposición, el flujo de agua y de sedimentos es representado como con un campo de vector bivariado (ecuación 6-32 y 6-33).



$$q_{(r)}=q_{(x,y)} \quad (6-33)$$

$$q_{s(r)}=q_{s(x,y)} \quad (6-34)$$

y la tasa de deposición y erosión neta ( $D_{(r)}$ ) es estimada como la divergencia del flujo de sedimentos (Mitasova, 1997, 1999, 2000) conforme a la ecuación 6-34. La divergencia de un campo vectorial mide la diferencia entre el flujo entrante y el flujo saliente en un área. Si la divergencia en un punto es positiva, se dice que el campo posee fuentes mientras que si es negativa se dice que tiene sumideros.

$$D_{(r)} = \nabla \times q_{s(r)} = \nabla \cdot [T_{(r)} \times S_{(r)}] \quad (6-35)$$

$$= K_{t(r)} \times i\{[\nabla \times A_{(r)} \times S_{(r)}] \times \sin \beta - A_{(r)} \times [Kp_{(r)} + Kt_{(r)}]\}$$

Donde:

$S_{(r)}$  =Unidad de vector en dirección de la pendiente más inclinada (aspecto del terreno)

$k_{p(r)}$  =Curvatura del perfil (curvatura en dirección de la pendiente más inclinada)

$k_{t(r)}$  =Curvatura tangencial (curvatura en dirección perpendicular de la gradiente)

La ecuación 6-35 se puede también escribir como:

$$D_{(r)} = \nabla \times q_s = \frac{d(q_s * \cos a)}{dx} + \frac{d(q_s * \sin a)}{dy} \quad (6-32)$$

Donde:

a = Equivalente a  $S_{(r)}$

## 6.10.DEGRADACIÓN POR LA METODOLOGÍA ASSOD

La metodología ASSOD reconoce cuatro elementos de la degradación del suelo (Figura 6.52) y cinco factores causales (Figura 6.53) además incorporan otras especificaciones como el nivel de afectación (Cuadro 6.43), y una tasa de degradación (Cuadro 6.44).

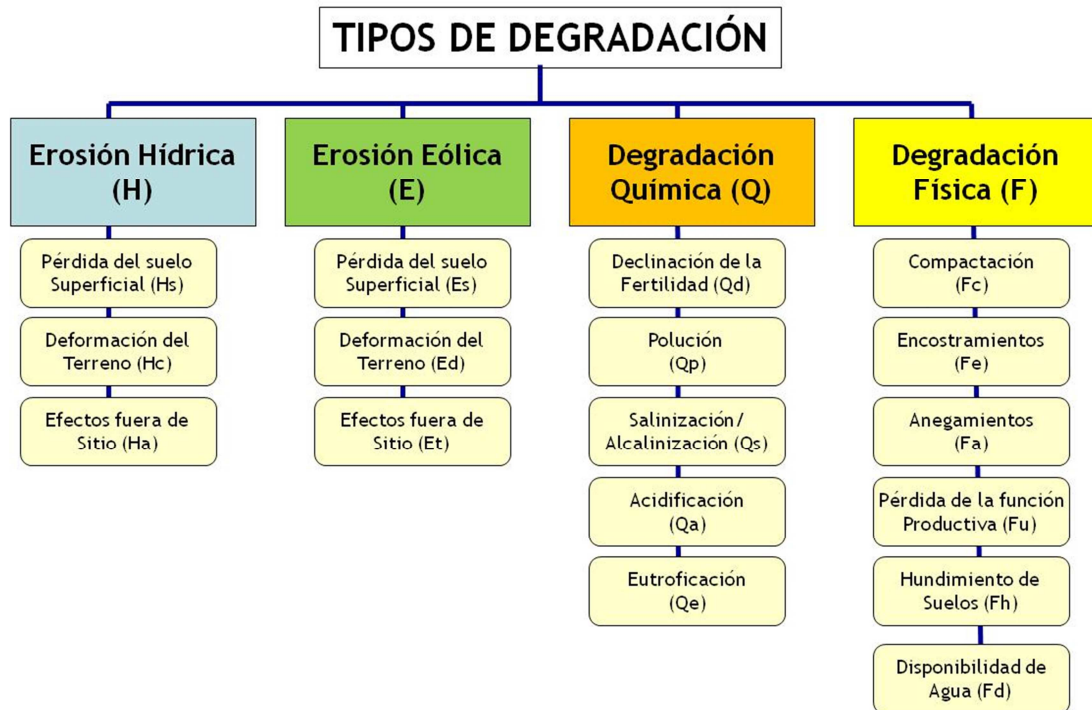


Figura 6.52 Elementos de la degradación según el método ASSOD

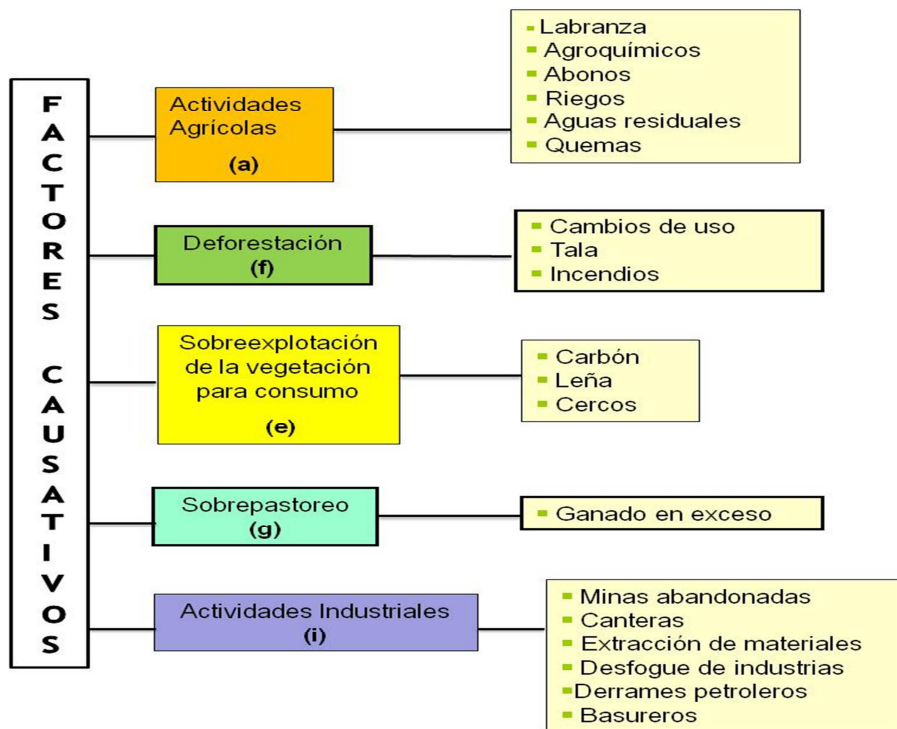


Figura 6.53 Factores causales de la degradación según el método ASSOD

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Cuadro 6.43 Nivel de afectación según el método ASSOD

<b>NIVELES DE AFECTACIÓN</b>		
1	Ligero	Presenta alguna reducción apenas perceptible en su productividad
2	Moderado	Con una marcada reducción en su productividad
3	Fuerte	Se requieren grandes trabajos de ingeniería para su restauración
4	Extremo	Terrenos irrecuperables

Cuadro 6.44 Tasa de degradación según el método ASSOD

<b>TASA DE DEGRADACIÓN</b>	
+	Degradación
0	Sin cambios
-	Recuperación

Para indicar el cambio en el grado de degradación del suelo a lo largo del tiempo, el programa ASSOD proporciona una estimación cualitativa de la tendencia de la degradación.

Es importante saber si un área severamente degradada es estable en el momento o si un área que en el momento tiene solo una leve degradación puede mostrar una tendencia hacia una posterior degradación rápida, al tomar en cuenta el cambio de uso de suelo, la cercanía a zonas de degradación severa, etc. Al mismo tiempo, el mapa ASSOD indicará el área donde la situación está mejorando por ejemplo a causa de medidas de conservación de suelos.

Teniendo en cuenta todos los factores incluidos en la evaluación de la degradación del suelo por ambos métodos se ha desarrollado una leyenda que indica de forma concreta el tipo de degradación (Figura 6.54).

Es importante tener en cuenta la escala a la que se desarrollan dichas evaluaciones ya que de eso depende gran parte de los resultados y sobre todo esto se define en base a



## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

los objetivos del estudio. La FAO ha emitido recomendaciones con base en lo anterior y se muestran en la Figura 6.55.



Figura 6.54 Leyenda del Método ASSOD

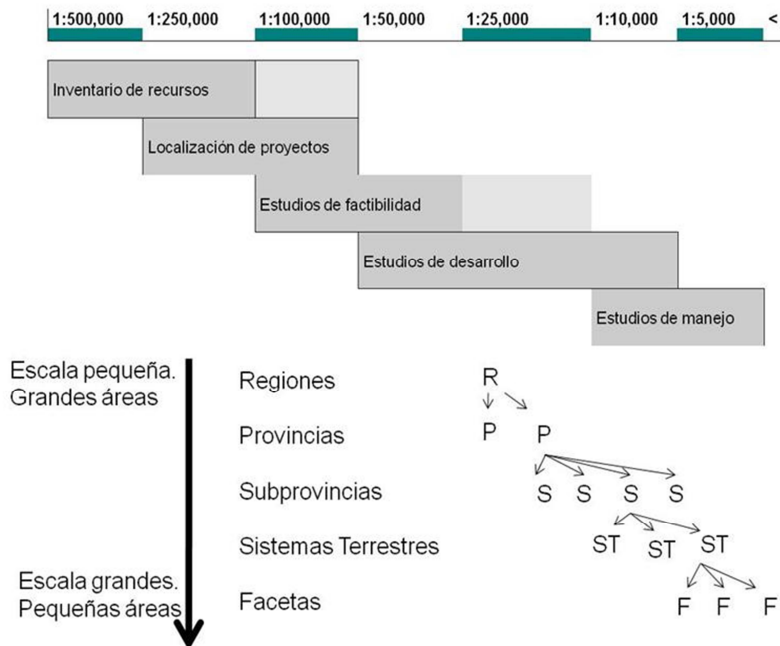


Figura 6.55 Escalas recomendadas para la evaluación de la degradación de suelo

# 7 RESULTADOS

## 7.1. SITUACIÓN ACTUAL DEL AGUA

### 7.1.1. INFRAESTRUCTURA DE ALMACENAMIENTO Y/O REGULACIÓN

Dentro de la cuenca la principal obra de almacenamiento y regulación es la presa Madín, sus características fueron ya mencionadas en el Capítulo IX en el apartado de Descripción de la presa Madín.

En el municipio de Atizapán de Zaragoza se registran por INEGI una caja de agua en la localidad de Rancho Blanco Espíritu Santo y en los recorridos de campo se identificó en el Fraccionamiento Chiluca una cisterna de 500 mil litros. El agua recibe un tratamiento potabilizador con clorinador el cual es supervisado por SAPASA quien realiza análisis químicos de los pozos cada 8 días (Cuadro 7.1). La información solicitada a SAPASA respecto a ésta información no fue proporcionada por la instancia.

Cuadro 7.1 Infraestructura de almacenamiento y/o regulación en la cuenca de la presa Madín

	INFRAESTRUCTURA DE ALMACENAMIENTO	LOCALIDAD	CAPACIDAD
Atizapán de Zaragoza	Caja de agua	Rancho Blanco Espíritu Santo	Desconocida
	Cisterna	Fraccionamiento Chiluca	500 mil litros
	Presa Madín	Pueblo Chiluca, Viejo y Nuevo Madín	10.5 Hm <sup>3</sup>
Presa Madín			
Naucalpan de Juárez	2 Cajas de agua	Santiago Tepatlaxco	Desconocida
	Caja de agua	Villa Alpina	Desconocida
	Caja de agua	Puente Piedra	Desconocida
Jilotzingo	Caja de agua	San Luis Ayucan	Desconocida
	3 Cajas de agua	Las Manzanas	Desconocida

### **7.1.2. INFRAESTRUCTURA DE ABASTECIMIENTO**

La red de conducción de agua potable con injerencia en la cuenca de estudio es el Sistema Madín que incluye pozos de extracción. Específicamente en la Zona Residencial de Chiluca, existen 3 pozos de agua potable, dos en funcionamiento y otro clausurado por desecación. El pozo que se encuentra actualmente clausurado dejó de ser funcional hace 7 años debido al uso intensivo con fines de riego para el campo de golf del Club Campestre Chiluca.

Los pozos que actualmente se encuentran en funcionamiento se nombran pozo dos y tres. El pozo dos tiene 185 m de profundidad y comenzó a dar problemas de desabasto hace 4 años por lo que se solicitó a SAPASA la perforación de un tercer pozo el cual está a 300 m de profundidad. El agua que se extrae de los pozos se concentra a una cisterna y se distribuye por gravedad (aproximadamente el 10% del suministro) y por bombeo (60% del suministro).

La extracción, suministro y distribución del agua de los pozos es controlada por la Asociación de Colonos de Chiluca la cual entrega al Club Campestre Chiluca 73 mil litros de agua potable diarios mientras que a los colonos 120 a 150 litros por persona diarios sin embargo el suministro de agua se tandeo por la tarde además que la mayoría de las casas tienen cisterna.

En el municipio de Jilotzingo no existe red de abastecimiento de agua potable, las localidades se suministran directamente de los manantiales cercano, ya sea colectando el agua con garrafones (Figura 6.65) o tendiendo mangueras hasta sus casas.

Según el Plan de Desarrollo Urbano para el municipio de Jilotzingo (2003) el abastecimiento de agua potable en distintas localidades se muestra en el Cuadro 7.2 (Figura 7.1).

Cuadro 7.2 Fuentes de abastecimiento de agua potable en el municipio de Jilotzingo

<b>LOCALIDAD</b>	<b>MANANTIAL</b>
Santa Ana Jilotzingo	Texandeje, Capoxi, Jiante, Los Capulines, El Rincón
Santa María Mazantla	Endeca, Las Tinajas y el Risco
San Miguel Tecpan	Megoh, Xote, Hierba Azul, Canta Ranas, Cieneguitas
San Luis Ayucan	Villa Alpina, Gundo, Los Fresnos, Cutxi, Ojo de Agua y El Frutillal



Figura 7.1 Abastecimiento de agua potable en el municipio de Jilotzingo

Debido al relieve dentro del municipio existen tres sistemas de bombeo de agua, sin embargo al año 2003 no contaban con tratamiento de cloración ni se realizaban análisis de calidad del agua.

El municipio cuenta con abundancia del recurso agua, sin embargo la falta de infraestructura genera un servicio de distribución deficiente.

Para el caso de las localidades pertenecientes al municipio de Naucalpan, que se ubican dentro de la cuenca de la presa Madín, su principal fuente de abastecimiento de agua potable es directamente de los manantiales cercanos como es el caso Santiago Tepatlaxco.

Es importante señalar que ninguna localidad de la cuenca recibe agua de la presa Madín, ya que todo el caudal procesado por la planta potabilizadora se deriva aguas abajo, 203 lps para Atizapán de Zaragoza y 170 lps para Naucalpan de Juárez (Cuadro 7.3).

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Cuadro 7.3 Infraestructura de abastecimiento en la cuenca de la presa Madín

	INFRAESTRUCTURA DE ABASTECIMIENTO	GASTO
Atizapán de Zaragoza	Sistema Madín: Planta potabilizadora (Aguas abajo)	203 lps
	3 pozos para abastecimiento del fraccionamiento Chiluca	150 lt/día por persona y 73 mil litros al Club Campestre Chiluca diarios
Naucalpan de Juárez	Sistema Madín: Planta potabilizadora (Aguas abajo)	170 lps
	Directo de los manantiales	
Jilotzingo	No existe, se abastecen directo de los manantiales	

### 7.1.3. INFRAESTRUCTURA DE ALCANTARILLADO

Dentro de la cuenca la red de alcantarillado público conduce aguas residuales que se mezclan con pluviales durante la época de lluvia y descargan a ríos y arroyos sin ser previamente tratadas. Este problema se ve acentuado por los constantes asentamientos irregulares que se instalan sin servicio de alcantarillado. En la Cuadro 7.4 se muestra el sistema de alcantarillado por municipio presente en la cuenca de la presa Madín.

Cuadro 7.4 Infraestructura de alcantarillado en la cuenca de la presa Madín

	INFRAESTRUCTURA DE ALCANTARILLADO
Atizapán de Zaragoza	Canales a cielo abierto (Arroyo El Muerto y Río Tlalnepantla) Plan de Desarrollo Urbano 2006-2009
	389 m de tubería (Fraccionamiento Chiluca)
Naucalpan de Juárez	Canales a cielo abierto (Río San Juan) Plan de Desarrollo Urbano 2006-2009
Jilotzingo	Canales a cielo abierto (Río San Luis) Plan de Desarrollo Urbano 2003-2006

En específico la red de drenaje público del Fraccionamiento Chiluca se conecta a las plantas de tratamiento operadas por el Club Campestre Chiluca. Aproximadamente 389 m de tubería de drenaje ha recibido mantenimiento de algún tipo sin embargo son comunes las fugas. Así mismo las plantas de tratamiento de Club de Golf Chiluca desembocan el Río San Luis también conocido como Río Tlalnepantla (Figura 7.2).



Figura 7.2 Alcantarillado en el Fraccionamiento Chiluca

El Río San Juan, en el municipio de Naucalpan, presenta caudales de agua potable hasta la población de Santiago Tepatlaxco donde se descargan directamente a su cauce las aguas residuales domésticas de la población y de una granja porcina. No existe ninguna planta de tratamiento operando dentro de la cuenca que este bajo la supervisión del municipio.

Como se mencionó anteriormente en el municipio de Jilotzingo no se cuenta con sistema de drenaje amplio ni existen datos de sus dimensiones.

Dentro de la cuenca, se reportan con drenaje 2,910 viviendas sin embargo no conforman una red de drenaje primario o secundario, ya que según las definiciones contempladas por el Reglamento del Servicio de Agua y Drenaje para el Distrito Federal y Zona Metropolitana (1990) el sistema de drenaje primario es una red de tuberías con diámetro mayor o igual a 60 cm que se une a un sistema colector, mientras que el secundario se conforma de tuberías con un diámetro menor de 60 cm al cual se conectan los tubos de descarga de los usuarios y se une a la red primaria. Las



descargas de los usuarios son a barrancas, fosas sépticas o a los ríos considerados como canales a cielo abierto.

#### **7.1.4. INFRAESTRUCTURA DE SANEAMIENTO**

Dentro de la cuenca existen cuatro plantas de tratamiento, tres de las cuales se encuentran funcionando en el municipio de Atizapán de Zaragoza y son operadas por el Club Campestre Chiluca, una, en construcción, en el municipio de Jilotzingo y una planta potabilizadora en la presa Madín.

La planta potabilizadora se encuentra en la localidad de Viejo Madín en el municipio de Atizapán de Zaragoza y utiliza el proceso de clarificación convencional y tiene una capacidad instalada de 600 l/s y un caudal potabilizado de 450 l/s (CONAGUA, 2007), sin embargo éste no se aprovecha dentro de la cuenca.

En el municipio de Jilotzingo es común encontrar en las viviendas fosas sépticas o que desagüen a barrancas y ríos. En una encuesta levantada en 2001 por el municipio se sondeo la situación de las viviendas en las principales localidades en materia del saneamiento de aguas (Plan de Desarrollo Urbano, 2003) la cual incluye a San Luis Ayucan y Espíritu Santo (Cuadro 7.5). Ninguna vivienda cuenta con red de drenaje para aguas negras ni grises sin embargo un porcentaje (65% al 68%) utiliza fosas sépticas, lo cual mitiga las descargas y el aumento de su uso puede representar una alternativa importante a la falta de una red de drenaje adecuada.

En recientes fechas se ha iniciado la red de recolección de aguas residuales que corre paralelo al Blvd. Espíritu Santo-Chiluca y que descargará a una planta de tratamiento aún en construcción. Se tiene contemplado que ésta planta descargue el agua tratada al río Tlalnepantla (Figura 7.3).



Figura 7.3 Planta de tratamiento en construcción en el municipio de Jilotzingo

Cuadro 7.5 Infraestructura de saneamiento en la cuenca de la presa Madín

	INFRAESTRUCTURA DE SANEAMIENTO	PROCESO	GASTO
Atizapán de Zaragoza	Tres plantas de tratamiento (Club Campestre Chiluca)		
Naucalpan de Juárez	Planta potabilizadora	Clarificación convencional	203 lps
Jilotzingo	Planta de tratamiento en construcción		170 lps

### 7.1.5. CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA Y SU SANEAMIENTO

La calidad del agua de los principales aportadores de la presa Madín fue monitoreada por el Laboratorio de Control de Calidad del Agua de la Comisión Nacional del Agua de los años 1983 y 1987. En 1997 la empresa Tecnología Ambiental y Construcciones S.A. de C.V. realizó el muestreo de la calidad de agua en cauces y vaso de la presa Madín. Así mismo se tienen datos del manantial Endeca en los años 1987, 1991, 1993 y 1995.



## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

Del 2003 al 2007 la Dirección Técnica de la Comisión Nacional del Agua proporcionó los datos de calidad de agua del vaso. En la Cuadro 7.6.

Cuadro 7.6 Descargas identificadas en la cuenca de la presa Madín

AÑO	MUNICIPIO	COMUNIDAD	DESCARGAS	CAUCE	GASTO (l/s)
1997	Jilotzingo	San José, Las Manzanas, San Luis Ayucán	14	Río Tlalnepantla	8.30
1997	Atizapan de Zaragoza	Club Campestre y pueblo Chiluca	6	Río Tlalnepantla	15.24
1997	Naucalpan	Santiago Tepatlaxco	No determinado	Río San Juan	11.04
1997	Naucalpan	Granja Porcina	1	Río San Juan	2.00

Los resultados de los muestreos de calidad del agua del vaso de la presa Madín, Río San Juan y San Luis presentan condiciones óptimas en cuanto a sales minerales, los parámetros de alcalinidad, cloruros, boro, sulfatos, sólidos, calcio, magnesio y sodio se presentan en bajas concentraciones, en contraparte se identifica una importante contaminación de origen orgánico asociada a las descargas de aguas residuales domésticas.

Los niveles de coliformes totales disminuye drásticamente después del proceso efectuado en la planta potabilizadora en comparación con los valores registrados en el vaso de la presa por lo tanto la calidad del agua potabilizada por la planta es óptima para el consumo humano.

Cabe mencionar que con respecto a la calidad del agua del vaso de la presa se han desarrollado distintos estudios, a los cuales no se ha tenido acceso, pero que son importantes de mencionar como referencia: Estudios de toxicidad y captación de aluminio en agua y sedimentos sobre diversas especies de peces de la presa Madín y Estudio zonal de la toxicidad de los contaminantes presentes en agua y sedimentos de la presa Madín (México) sobre *Hyallolela azteca*, *Moina macrocapa* y *C. carpio*, dichos estudios fueron realizados por el Instituto Politécnico Nacional.

Sobre la calidad del agua derivada de la planta potabilizadora localizada en la presa Madín se tienen muestreos del año 2001 al 2007 realizados por la Gerencia de Aguas del Valle de México, sin embargo en el último año solamente se efectuó un muestreo.

### **7.1.6. COMPETENCIA POR LOS DIFERENTES USOS DEL AGUA**

La competencia por el recurso dentro de la cuenca no es en la actualidad un problema grave entre los distintos usuarios. En sí el recurso se vuelve escaso y de baja calidad a lo largo de su trayecto hasta la presa pero debido a que en la parte alta existen manantiales para abastecer a la población y que en la parte baja en su mayoría la población recibe agua del Sistema Lerma-Cutzamala o de extracción de pozos no se han suscitado conflictos graves entre la población de la cuenca por el abastecimiento del recurso, no así por la calidad del mismo.

Lo más recomendable sería que la cuenca captara y abasteciera el agua necesaria para la población residente, esto abarataría los costos del recurso y permitiría liberar volumen del Sistema Lerma-Cutzamala a la Ciudad de México ya que debe tenerse en cuenta que la disminución en la cantidad y calidad del agua en éste sistema tendrá una afectación directa en la competencia del recurso dentro de la cuenca de la presa Madín.

En la actualidad, ya que no existe una industria formal dentro de la cuenca éste sector no representa una competencia por la calidad y abasto del recurso.

Por otro lado el sector acuícola demanda mas volumen de agua dentro de la cuenca sin embargo el uso que se hace del recurso es para la cría, principalmente de truchas, actividad que no resulta contaminante aguas abajo más que en los parámetros coliformes totales y fecales, sin embargo dicha actividad no es intensa como para representar un problema grave. Se ha reportado que existe conflicto entre los piscicultores y los habitantes de la parte alta de la cuenca que desechan residuos sólidos a las barrancas o descargas domésticas a los arroyos ya que esto disminuye la producción de peces para la venta al tener agua contaminada.

El principal uso del agua es el público urbano y se concentra en la parte baja de la cuenca. Ya que en ésta zona la cantidad y calidad del agua superficial no es aceptable según los datos de coliformes fecales y totales registrados, la demanda se cubre por

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

agua de pozos y del Sistema Lerma-Cutzamala, sin embargo se han registrado pozos desecados por la intensa extracción como el localizado en el Fraccionamiento Chiluca. Para garantizar el abasto y cuidado del recurso es común que los poblados de la parte baja tengan agua por tandeo, sin embargo en las zonas residenciales no hay mayor afectación por dicha práctica ya que la mayoría de las casas tienen cisterna.

En un futuro el desabasto y la baja calidad del agua serán inevitables dentro de la cuenca ya que no se han realizado obras para mitigar los efectos de la contaminación ya existente del recurso sino contrario a cualquier recomendación se han autorizado complejos habitacionales como el de Bosque Esmeralda que se calcula tendrá 4, 800 casas y aumentará la demanda y los contaminantes emitidos a la cuenca, o la concesión de terrenos al Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) el cual no trata sus aguas y las descarga directamente al vaso de la cuenca; la deforestación y erosión en la parte media y alta de la cuenca tendrán un efecto en los próximos 5 años, incluso si se realizarán obras de conservación en la actualidad, debido a que no existen planes de aprovechamiento forestal.

### 7.1.7. ADMINISTRACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS Y SUS BIENES INHERENTES

Dentro de la cuenca se determinaron los usuarios registrados en REPDA. A continuación se enlistan en la Cuadro 7.7.

Cuadro 7.7 Usuarios registrados por REPDA dentro de la cuenca de la presa Madín

TITULAR	USO	MUNICIPIO
CLUB LOMAS VERDES, S. A. DE C.V.	SERVICIOS	NAUCALPAN DE JUAREZ
JOSE EDUARDO CURIEL RAMOS	PECUARIO	NAUCALPAN DE JUAREZ
GRANJA ACUICOLA TEPATLAXCO SOCIEDAD DE SOLIDARIDAD SOCIAL	ACUACULTURA	NAUCALPAN DE JUAREZ
JOSE EDUARDO CURIEL RAMOS	PECUARIO	NAUCALPAN DE JUAREZ
GRUPO PROMOTOR JOMER, S. A. DE C.V.	MULTIPLE	NAUCALPAN DE JUAREZ
CLUB ECUESTRE CHILUCA, S. DE R. L. DE C. V.	SERVICIOS	ATIZAPAN DE ZARAGOZA



**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

<b>TITULAR</b>	<b>USO</b>	<b>MUNICIPIO</b>
ISABEL LORENA HUESCA BARRADAS	DOMESTICO	ATIZAPAN DE ZARAGOZA
ISABEL LORENA HUESCA BARRADAS	DOMESTICO	ATIZAPAN DE ZARAGOZA
IVONNE MARTINEZ CORNU	DOMESTICO	ATIZAPAN DE ZARAGOZA
IVONNE MARTINEZ CORNU	DOMESTICO	ATIZAPAN DE ZARAGOZA
MÁXIMO DE DIOS WERCKLE	DOMESTICO	ATIZAPAN DE ZARAGOZA
HILDA PÉREZ RODRÍGUEZ Y JOSÉ CASTILLO MAYAGOITIA	DOMESTICO	ATIZAPAN DE ZARAGOZA
VICENTE OSORIO JACOME	DOMESTICO	ATIZAPAN DE ZARAGOZA
MARIA EUGENIA GOMEZ Y GOMEZ	SERVICIOS	ATIZAPAN DE ZARAGOZA
OLGA MARIA GOMEZ GOMEZ	SERVICIOS	ATIZAPAN DE ZARAGOZA
GRACIELA LOPEZ AGUILERA	SERVICIOS	ATIZAPAN DE ZARAGOZA
GUILLERMO GOMEZ GOMEZ	SERVICIOS	ATIZAPAN DE ZARAGOZA
EJIDO SAN LUIS AYUCAN	AGRICOLA	JILOTZINGO
INMOBILIARIA CAMINO DE SAN NICOLÁS S. DE R.L. DE C.V.	AGRICOLA	JILOTZINGO
CRÍA DE ENGORDA DE TRUCHAS DE JILOTZINGO S.A. DE C.V.	ACUACULTURA	JILOTZINGO

## **7.2. EROSIÓN HÍDRICA**

### **7.2.1. FACTOR R**

Conforme a los datos de precipitación media anual y la ecuación 6-20 se determina por álgebra de mapas el Factor R. El rango del factor dentro de la cuenca va de los 2,898.46 a 7,907.22 (MJ mm) (ha hr)<sup>-1</sup>, siendo la parte surponiente la que presenta los mayores valores del Factor R (Figura 7.4)

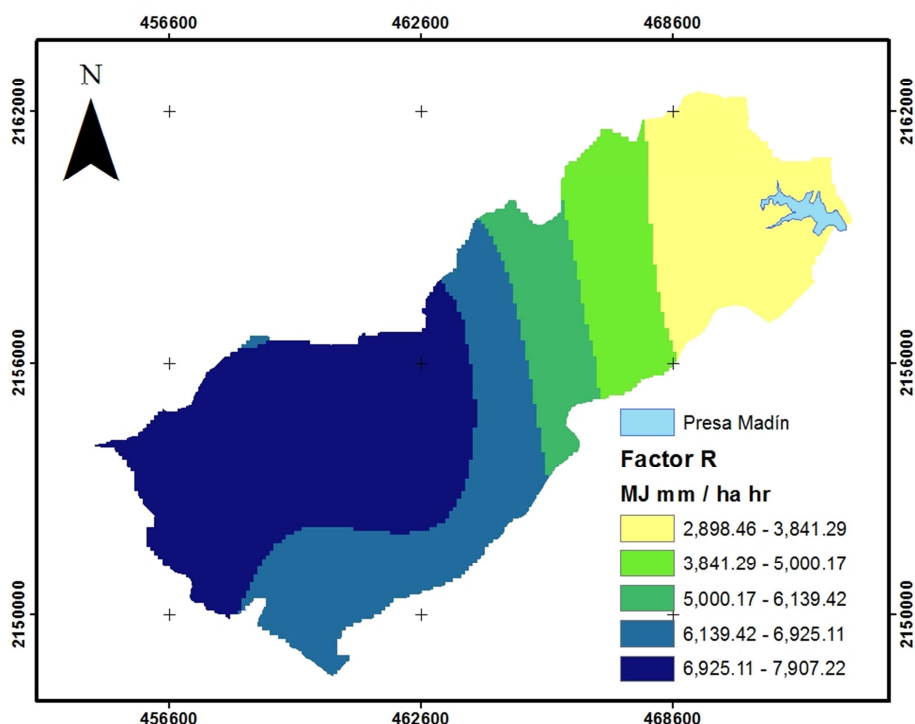


Figura 7.4 Factor R en la cuenca de la presa Madín

### 7.2.2. FACTOR K

Con base en las unidades edafológicas identificadas dentro de la cuenca presa Madín (INEGI, ESCALA 1:250,000) se obtienen los valores estimados para el tipo de suelo y su textura conforme datos generados por la FAO en 1980 (Figueroa *et al.*, 1991, FAO, 1974) y se muestran en el Cuadro 7.8.

Cuadro 7.8 Valores de Erosionabilidad del suelo (K) estimada en función de las unidades de suelo y textura reportadas por INEGI en la cuenca de la Presa Madín (ton ha hr/ ha MJ mm)

Tipo de Suelo	Textura INEGI	Textura FAO	K
Andosol	2	Media	0.040
Cambisol	2	Media	0.020
Durisol	2	Media	0.079
Agua	-	-	0.000
Luvisol	2	Media	0.079

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Tipo de Suelo	Textura INEGI	Textura FAO	K
Pheozem	3	Fina	0.013
Pheozem	2	Media	0.040
Regosol	2	Media	0.040
Zona Urbana	-	-	0.000

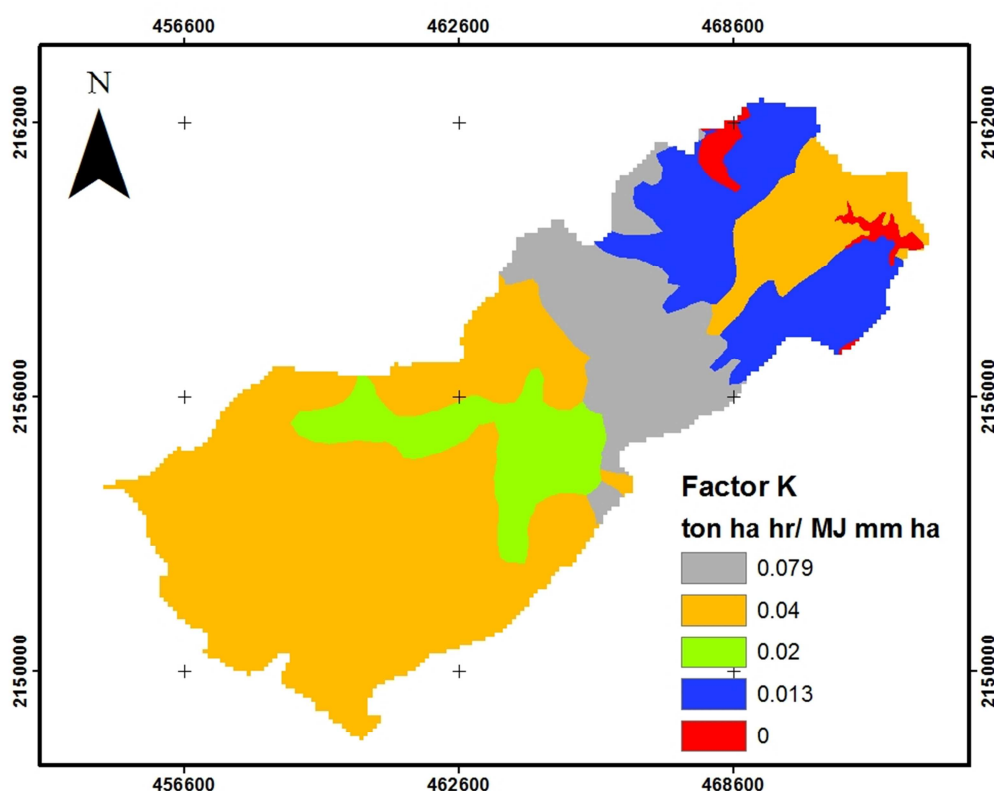


Figura 7.5 Factor K en la cuenca de la presa Madín

### 7.2.3. FACTOR LS

Para el análisis de la pendiente se empleó el raster Slope (%) derivado del MDE con 10 m de resolución. Realizando la distribución de los rangos de pendiente proporcionales al área total de la cuenca donde se observa que más de 50% de la superficie total de la cuenca presenta pendientes superiores al 10% y de estas al menos el 12% superan pendientes de 30% o mayores, lo que resalta el potencial de las partes altas a ser erosionadas si no se cuenta con la protección adecuada (Figura 7.6).

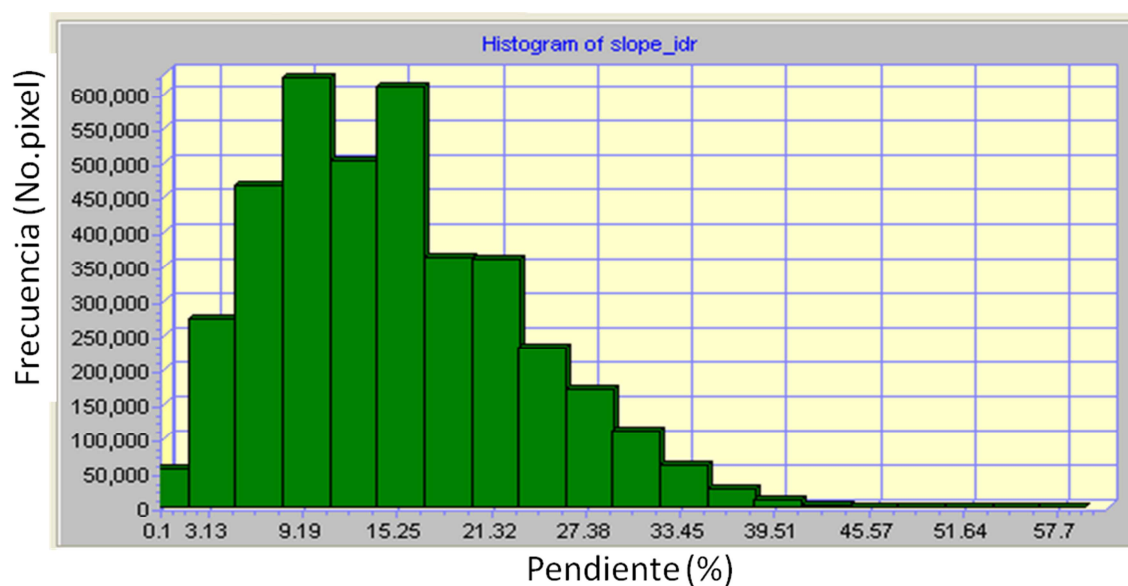


Figura 7.6 Distribución de los rangos de pendiente en la cuenca de la presa Madín (pendiente media 16.067%)

#### ANÁLISIS DE PENDIENTES

Se realiza el análisis de pendiente en la cuenca de la Presa Madín utilizando la clasificación que se muestra en el Cuadro 7.9 y Figura 7.7.

Cuadro 7.9 Rangos de pendiente para la cuenca de la presa Madín

CATEGORÍA	SUPERFICIE TOTAL (ha)	RANGOS DE PENDIENTES ( $\theta$ )
Incipiente	2,268	0-10
Ligera	2,221	10-13
Moderada	1,771	13-17
Severa	1,781	17-23
Muy Severa	1,904	23-60

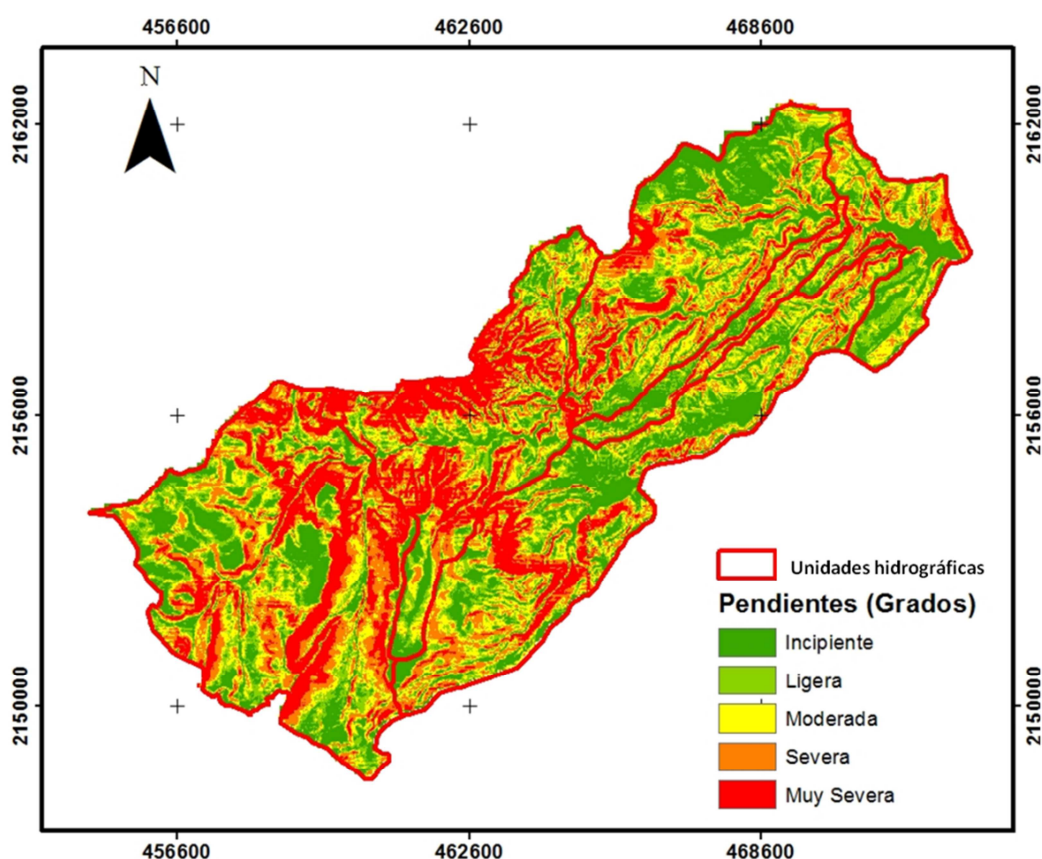


Figura 7.7 Distribución de la pendiente en la cuenca de la presa Madín

Para determinar el factor LS, se deriva a partir del MDE la pendiente en grados con el módulo Slope de la paquetería ArcGis 9.3 en formato raster y se le denomina "s". Paralelamente se genera una capa raster con valor único de 0.59, al cual se le denomina "m", con iguales especificaciones espaciales que el de la pendiente, es decir, con coordenada extrema superior izquierda 452790x, 2162584y UTM 14N WGS84 con un total de 2159 columnas y 1514 filas a una resolución de pixel de 10 m. A través del módulo de álgebra de capas, se introduce la ecuación 6-24 para determinar los valores del factor LS. En la Figura 7.8 y 7.9 se muestran los valores obtenidos para el factor LS en la cuenca de la presa Madín. El valor máximo se reporta en 16.51, el mínimo en 0.04, la media en 0.67, con una desviación estándar de 1.23.



**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

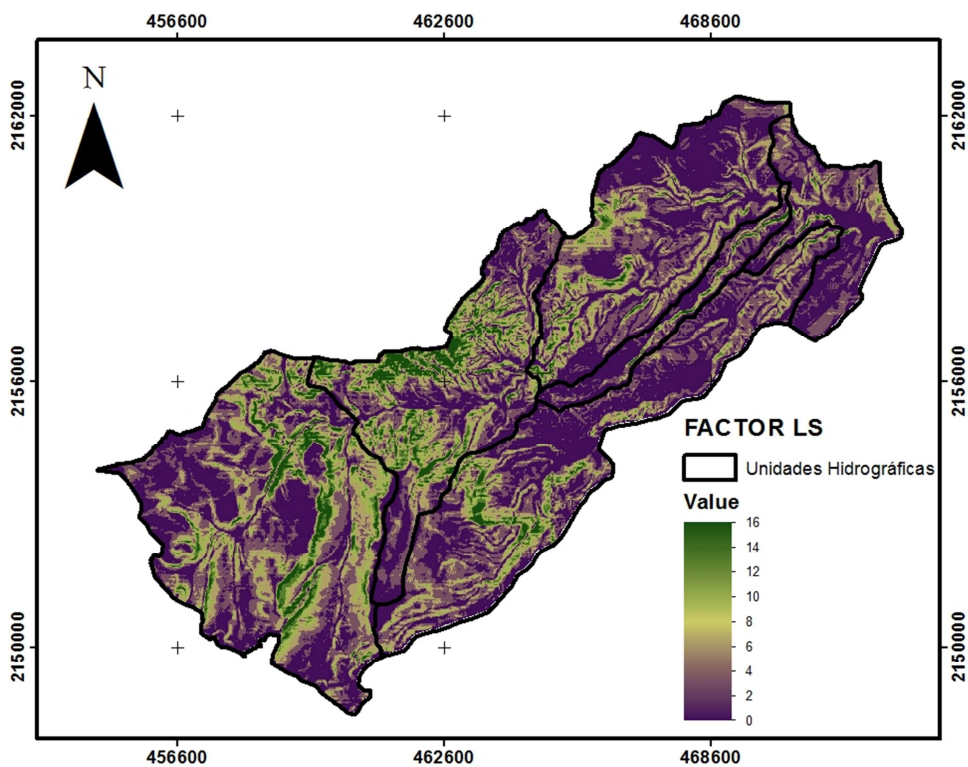


Figura 7.8 Distribución de los rangos de factor LS en la cuenca de la presa Madín (Factor LS medio 0.67)

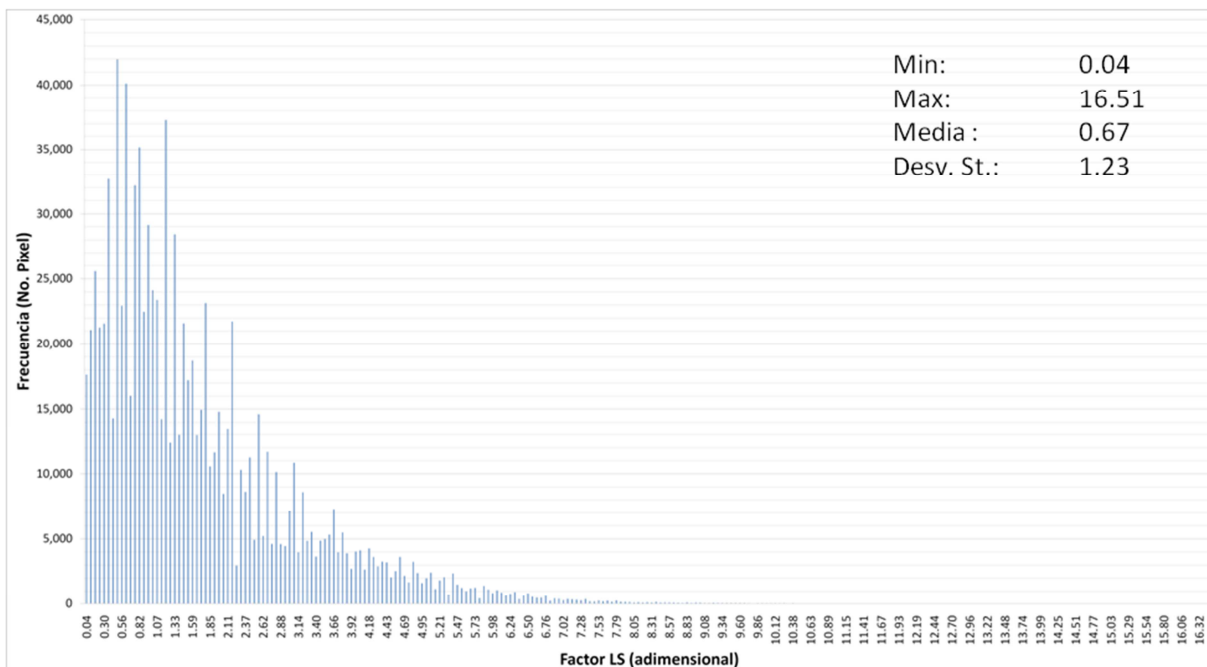


Figura 7.9 Distribución de los rangos de factor LS en la cuenca de la presa Madín (Factor LS medio 0.67)

### 7.2.4. FACTOR C

Con base en los recorridos en campo se realiza la clasificación supervisada de la imagen NDVI delimitando los polígonos de extracción de firma espectral o entrenamiento y estableciendo cuatro categorías básicas (Cuadro 7.10 y Figura 7.10). Como suelo desnudo se considera a todo terreno sin cobertura vegetal, lo cual incluye tanto cárcavas como zonas urbanas, ya que tienen similares niveles de reflectancia.

Cuadro 7.10 Polígonos de entrenamiento para la clasificación supervisada y sus firmas espectrales

<b>FIRMAS ESPECTRALES (MICRONES)</b>		
	<b>PISO</b>	<b>TECHO</b>
Bosque	0.27	0.60
Arbusto (Vegetación inducida)	0.04	0.27
Suelo desnudo	-0.25	0.04
Agua	-0.71	-0.25

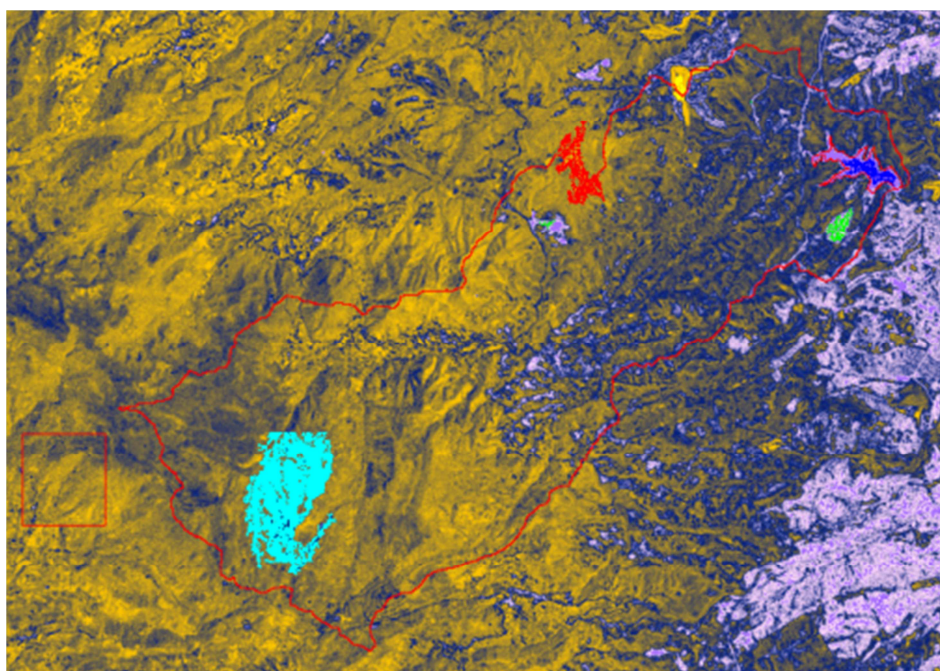


Figura 7.10 Polígonos de entrenamiento para la clasificación supervisada

En la Figura 7.11 se puede observar la distribución de cambio de uso de suelo que se ha desarrollado en ocho años dentro de la cuenca de la presa Madín, mientras que en

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

el Cuadro 7.11 se observa el porcentaje de cobertura superficial que tiene cada tipo de uso de suelo.

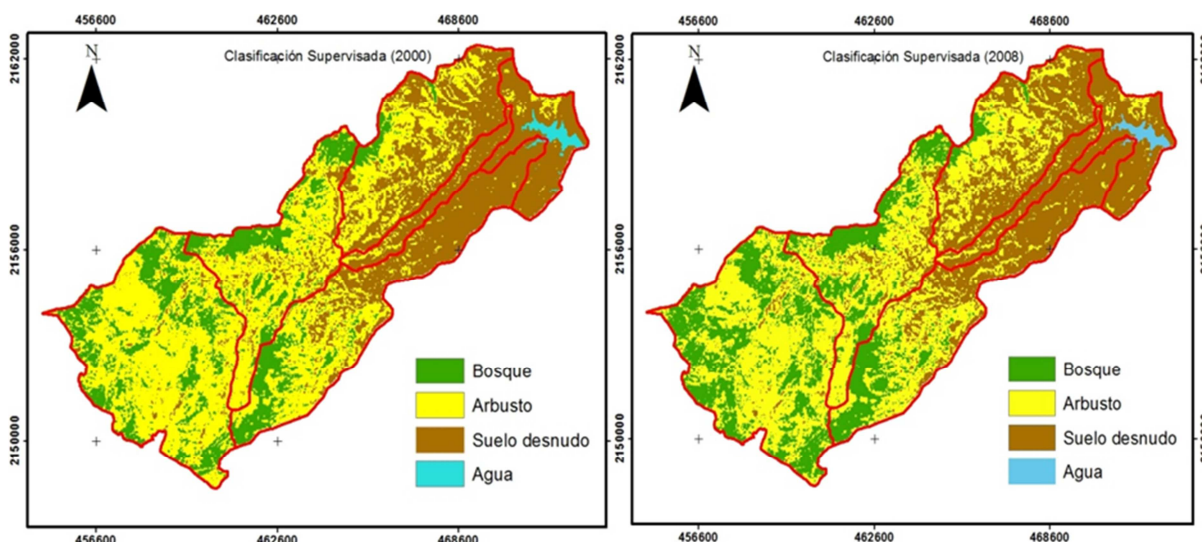


Figura 7.11 Clasificación supervisada del año 2000 y 2008

Cuadro 7.11 Cobertura de tipo de uso de suelo entre el año 2000 y 2008

	2000_2	2008_2
Bosque	18.9%	23.4%
Arbusto	47.9%	42.6%
Suelo desnudo	32.4%	33.4%
Agua	1%	1%

La cobertura del bosque entre el año 2000 al 2008 ha aumentado en un 4.5% cubriendo zonas donde en el año 2000 se registraba vegetación inducida, principalmente en la UH 1 Tlalnepantla Alto, mientras que las superficie con suelo desnudo tuvo un ligero aumentado de 1% entre 2000 y 2008, en específico en la UH 3 Tlalnepantla Bajo, UH 4 Arroyo El Muerto y UH 5 Arroyo San Juan.

Del total de la zona boscosa registrada en el año 2000, el 43% de los bosques se concentra en la UH 1 Tlalnepantla Alto, mientras que en 2008 este porcentaje creció al 47%. Obtenido el uso de suelo para el año 2008 y conforme a los valores descritos para diferentes tipos de cobertura por Figueroa *et al.*, (1991) el factor C se distribuye según la Figura 7.12.

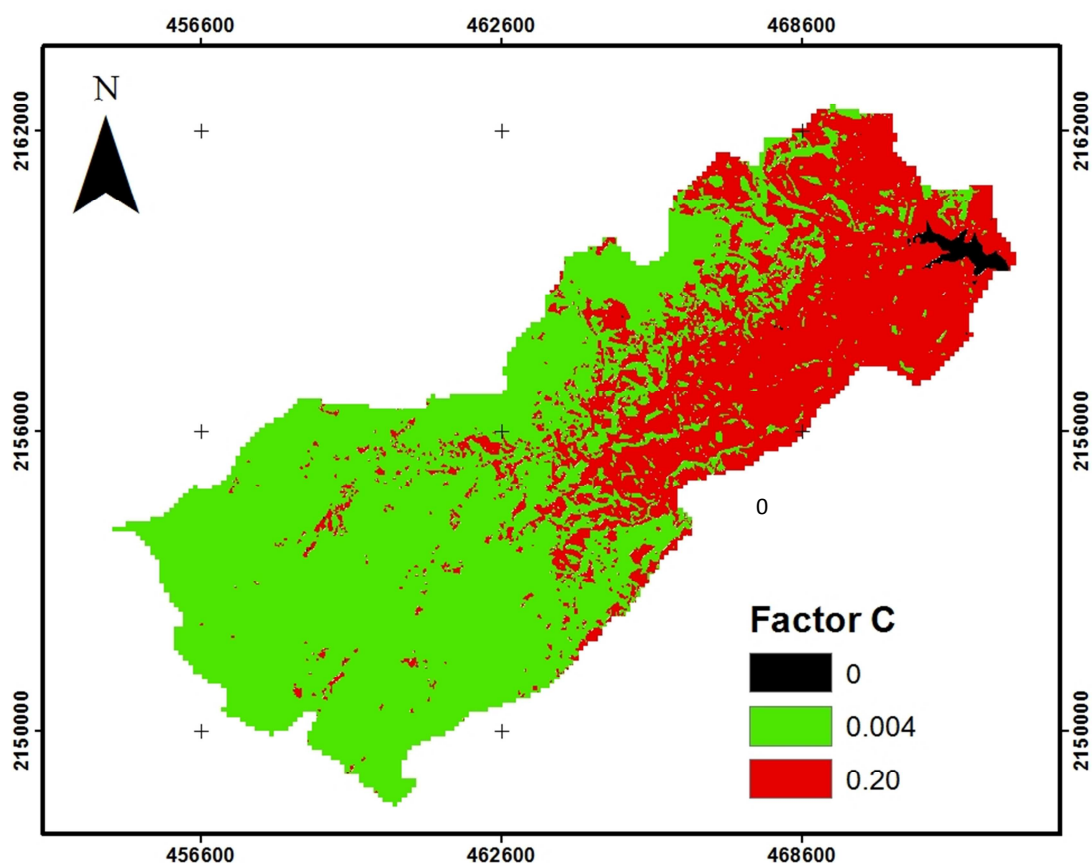


Figura 7.12 Factor C en la cuenca de la presa Madín

### 7.3. EROSIÓN POTENCIAL

Con base en la EUPS, se calcula la erosión hídrica potencial de la cuenca Presa Madín, considerando los factores R, K, L y S. Con los valores obtenidos se realiza la clasificación mostrada (FAO, 1979) en el Cuadro 7.12 y su distribución en la Figura 7.13. La tasa de erosión potencial media anual presente en la cuenca es de 166.6 ton/ha/año (Figura 7.14), lo cual se presenta en el límite del rango erosión fuerte.

Cuadro 7.12 Rangos de erosión potencial para la cuenca de la presa Madín

COLOR	RANGO (ton/ha/año)	SUPERFICIE (ha)
Incipiente	0 a 10	275
Ligera	10 a 50	1,095
Fuerte	50 a 200	2,684



## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

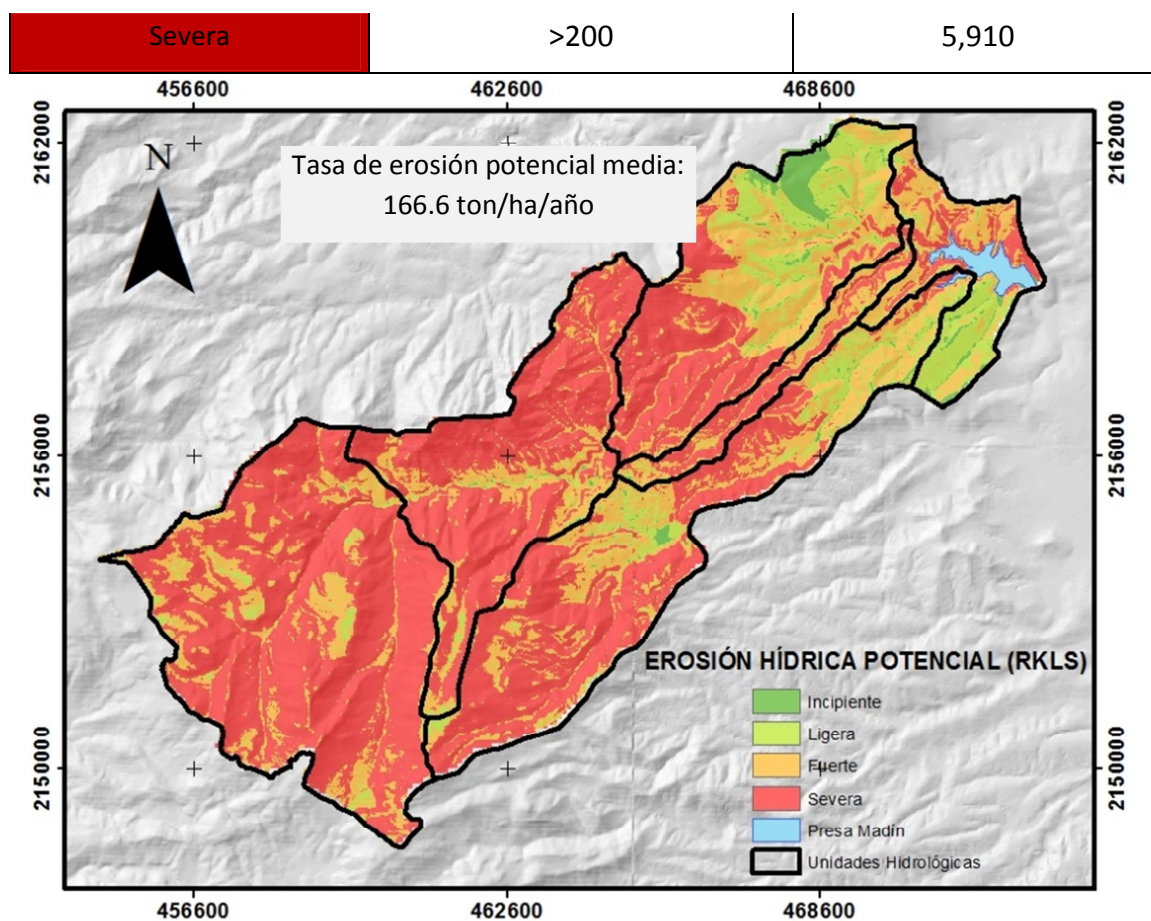


Figura 7.13 Erosión potencial en la cuenca de la presa Madín

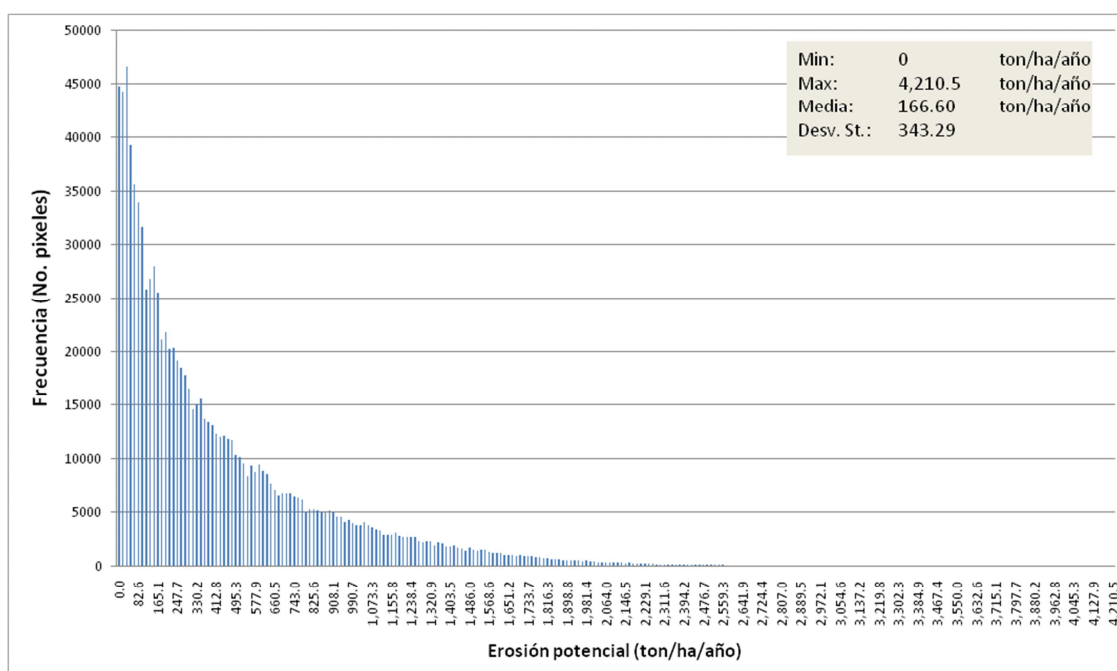


Figura 7.14 Erosión potencial en la cuenca de la presa Madín. Histograma

## 7.4. EROSIÓN HÍDRICA ACTUAL

A diferencia de la erosión potencial, la actual evalúa el efecto de la cobertura vegetal y de las prácticas mecánicas, en caso de existir (Factores C y P). La clasificación de rangos es la propuesta por la FAO (1979) y se muestra en la Figura 7.15, 7.16 y Cuadro 7.13.

Como se puede ver, el efecto del factor C es considerable, ya que prácticamente desaparece la erosión en su condición de severa, y su tasa promedio anual es de 7.58 ton/ha/año ubicado en erosión hídrica incipiente.

Cuadro 7.13 Rangos de erosión actual para la cuenca de la presa Madín

COLOR	RANGO (ton/ha/año)	SUPERFICIE (ha)
Incipiente	0 a 10	7,424
Ligera	10 a 50	1,575
Fuerte	50 a 200	809
Severa	>200	155

DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO

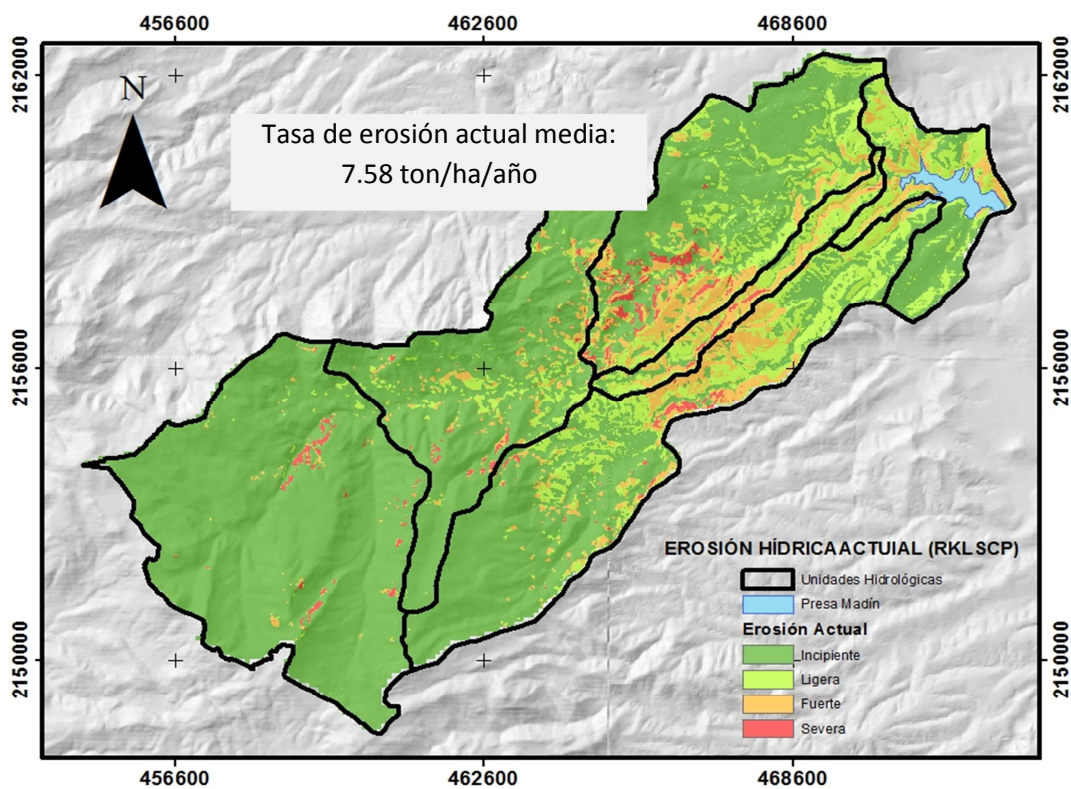


Figura 7.15 Erosión actual en la cuenca de la presa Madín

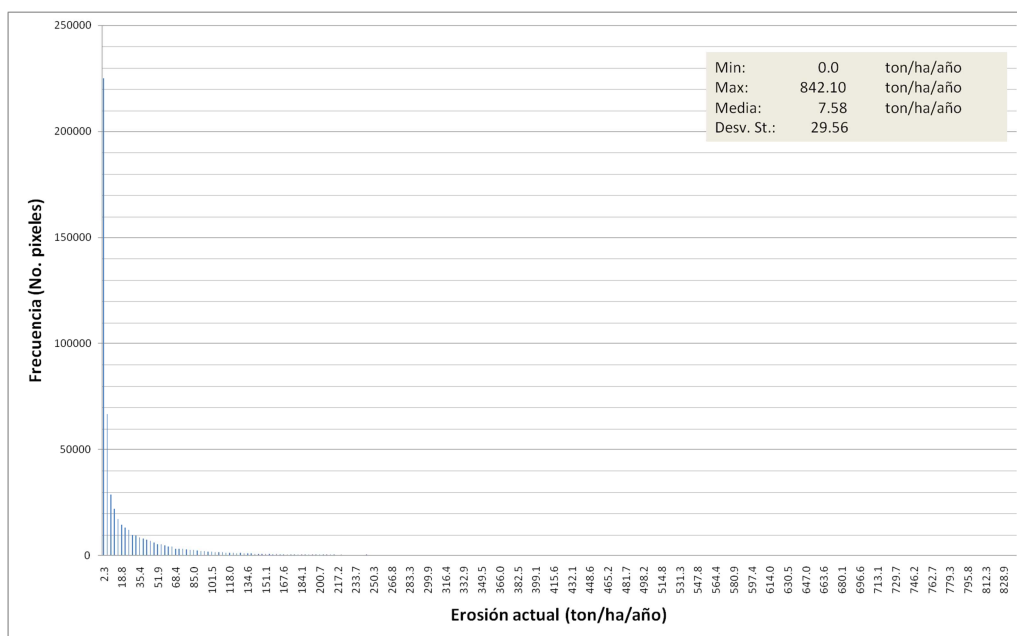


Figura 7.16 Erosión actual en la cuenca de la presa Madín. Histograma

## 7.5. DISTRIBUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DEPOSICIÓN DE SEDIMENTOS

Se evalúa la deposición producida tanto por la erosión en surco como por la laminar. Como se observa en la Figura 7.17, la erosión laminar ocurre predominantemente en la parte alta de la cuenca observándose deposiciones de sedimentos en los márgenes aluviales, sin embargo la mayor concentración ocurre en la parte media y baja de la cuenca.

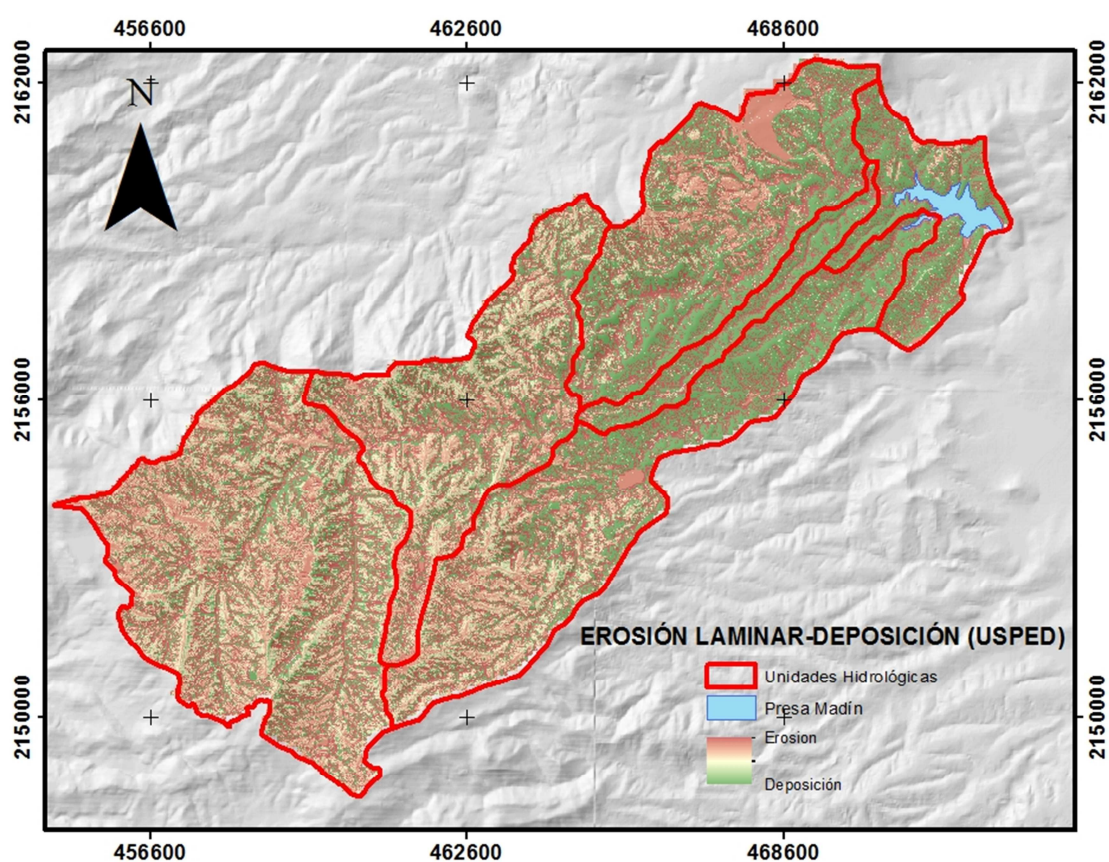


Figura 7.17 Distribución de la erosión laminar y deposición en la cuenca de la presa Madín

La distribución de la deposición provocada por la erosión en surco se observa en la Figura 7.18. El proceso de erosión se concentra principalmente en la parte alta de la cuenca, mientras que la deposición en la parte baja (Pricope, 2009).

El valor medio de deposición total es de 2.5 ton/ha/año (Figura 7.19).



## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

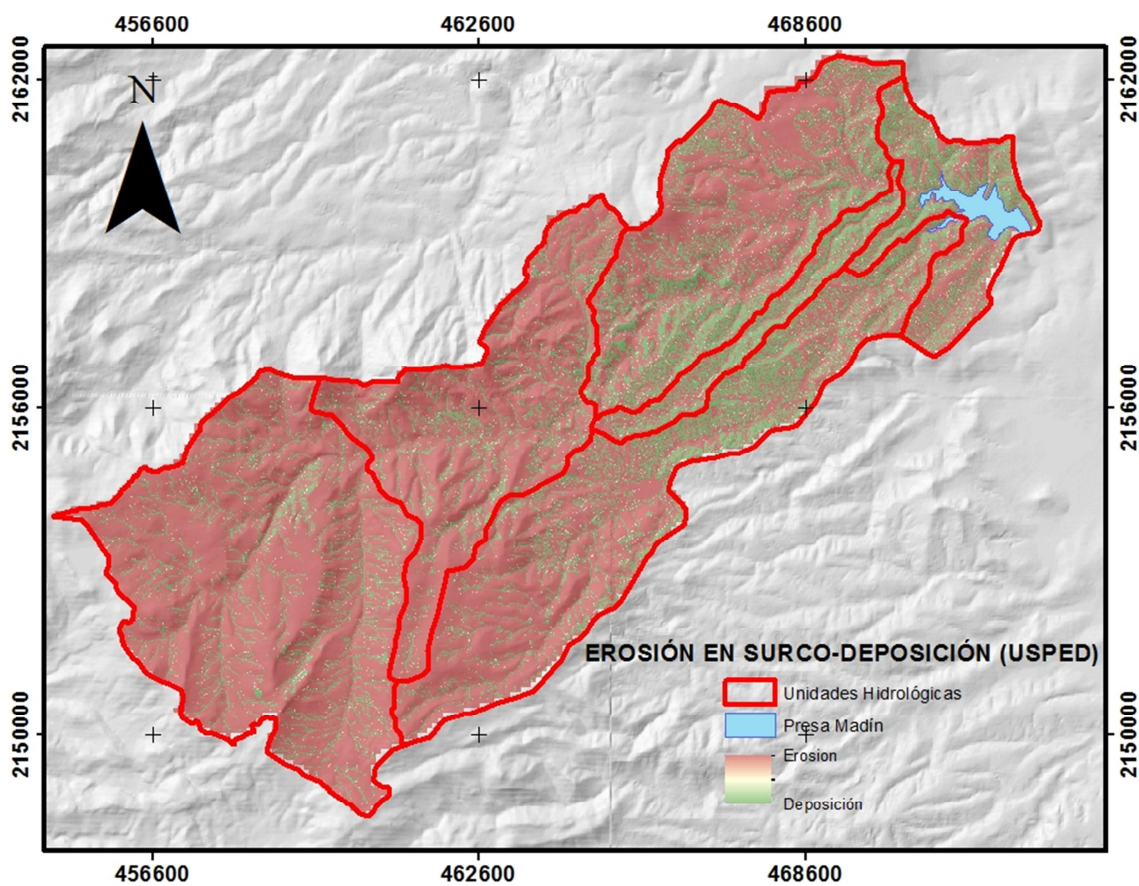


Figura 7.18 Tasa de erosión en surco y deposición en la cuenca de la presa Madín

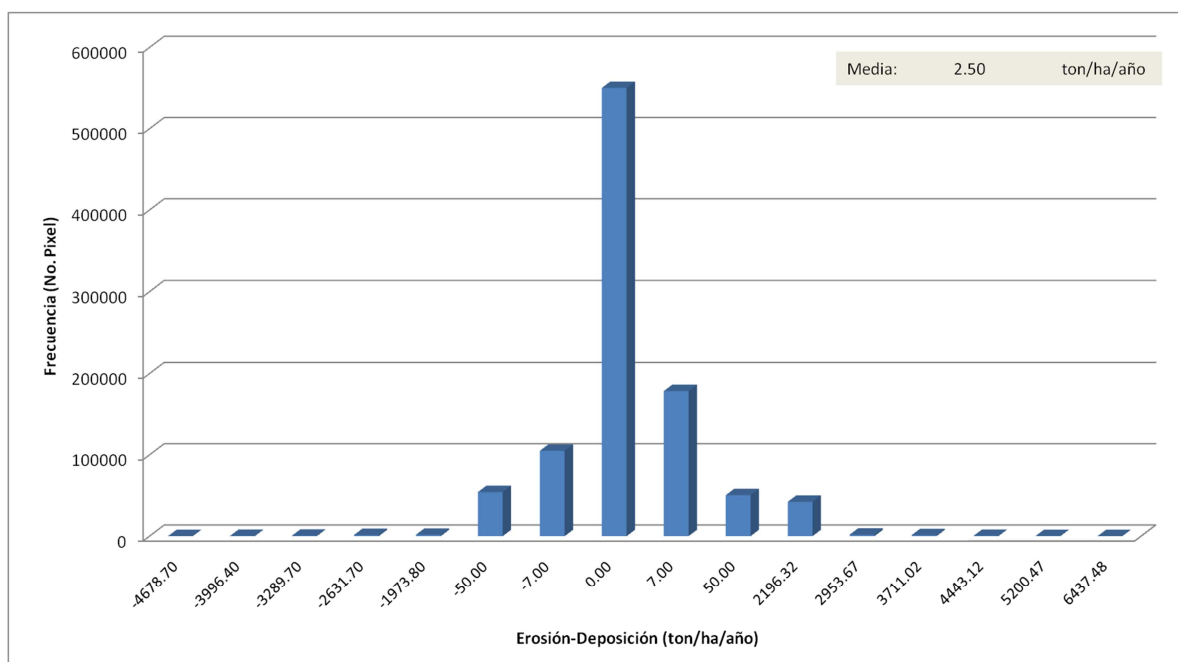


Figura 7.19 Valor medio de la deposición en la cuenca de la presa Madín

## 7.6. DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE DEGRADACIÓN

La generación de indicadores adecuados para determinar el desarrollo sostenible de los recursos hídricos y la degradación del suelo ha sido tema de estudio en diversas partes del mundo e implica un conocimiento amplio de los componentes del ciclo del agua, trabajo en campo, monitoreo constante de los fenómenos naturales, evaluación de pérdida de suelo además de contemplar el factor social y político.

Implícitamente se entiende que hablar de estudios indicadores a nivel global es utópico ya que las variaciones climáticas ocurren a escalas menores sin embargo lo más adecuado es generar un método estándar el cual pueda acoplarse a distintas regiones. En este sentido la degradación hidrográfica de la cuenca de la presa Madín con el método ASSOD implica la estandarización de los procesos de degradación a escalas adecuadas para generar estudios de manejo que consideren la calidad y disponibilidad de agua, del cambio de uso de suelo y vegetación, entre otros factores.

### 7.6.1. DEGRADACIÓN POR UNIDAD HIDROGRÁFICA

Como unidades de análisis se consideran a las unidades hidrográficas previamente establecidas y caracterizadas. Sus características de pendiente, edafología, geología, clima, uso de suelo y vegetación, hidrología, se analizan para determinar el tipo, nivel, tasa y causa de la degradación.

Para determinar el nivel de degradación se considera la distribución de la erosión actual considerando la pendiente en la que se distribuye y la cobertura vegetal en donde se presenta. Cada uno de estas capas raster se reclasifican para normalizar los resultados como se muestra en la Cuadro 7.14 a la 7.16.

Alternativamente se delimitó una franja en riesgo de degradación alrededor del tipo suelo desnudo de 50 m de grosor y se le asignó el valor estandarizado de 17 puntos, ésta zona cubre el 18% de la superficie de la cuenca (Figura 7.20).

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

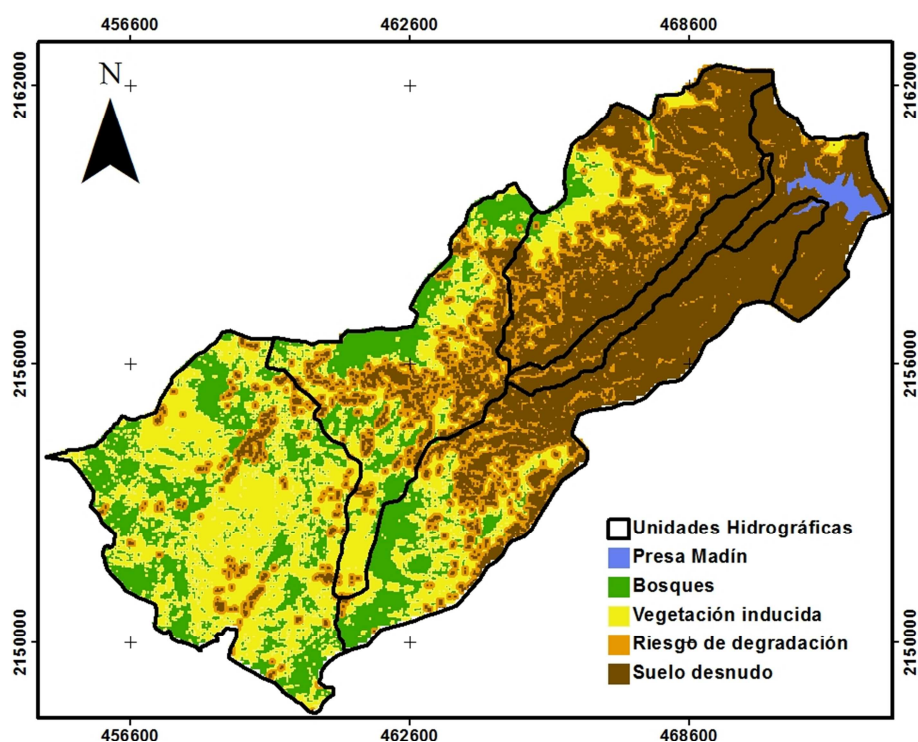


Figura 7.20 Zona de riesgo de degradación dentro de la cuenca de la presa Madín

Cuadro 7.14 Estandarización de rangos de erosión hídrica

CATEGORÍA	RANGO (t/ha/año)	VALOR
Incipiente	0 a 10	1
Ligera	10 a 50	2
Fuerte	50 a 200	3
Severa	>200	4

Cuadro 7.15 Estandarización de rangos de pendiente

CATEGORÍA	SUPERFICIE TOTAL (ha)	PUNTOS
Incipiente	2,268	1
Ligera	2,221	2
Moderada	1,771	3
Severa	1,781	4
Muy Severa	1,904	5

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Cuadro 7.16 Estandarización de rangos de cobertura vegetal

	<b>SUPERFICIE TOTAL (ha)</b>	<b>PUNTOS</b>
Bosque	2,334.69	21
Vegetación inducida	4,280.76	45
Suelo desnudo	3,303.99	0
Agua	72.90	0

Para el cálculo del nivel de degradación se emplea algebra de mapas. A continuación se muestra el análisis por unidad hidrográfica de los niveles de degradación que muestra cada una (Figura 7.21 a 7.26).

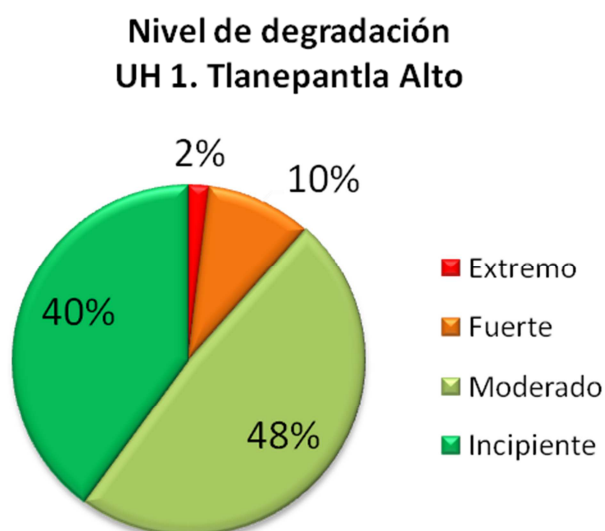


Figura 7.21 Porcentaje del nivel de degradación superficial en la UH1 Tlanepantla Alto

### Nivel de degradación UH 2. Tlanepantla Medio

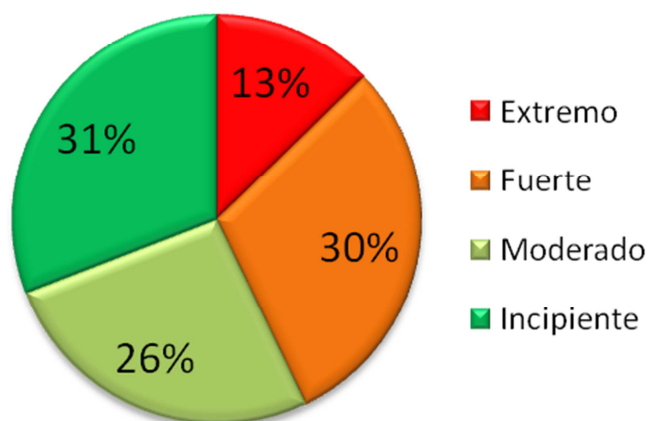


Figura 7.22 Porcentaje del nivel de degradación superficial en la UH2 Tlanepantla Medio

### Nivel de degradación UH 3. Tlanepantla Bajo

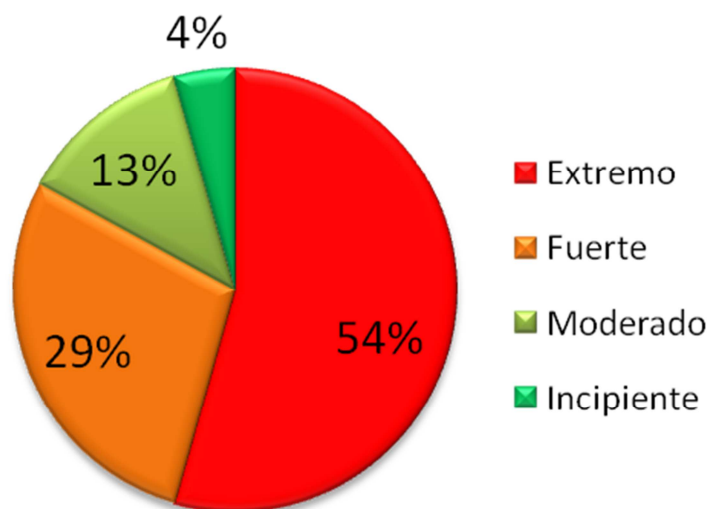


Figura 7.23 Porcentaje del nivel de degradación superficial en la UH3 Tlanepantla Bajo

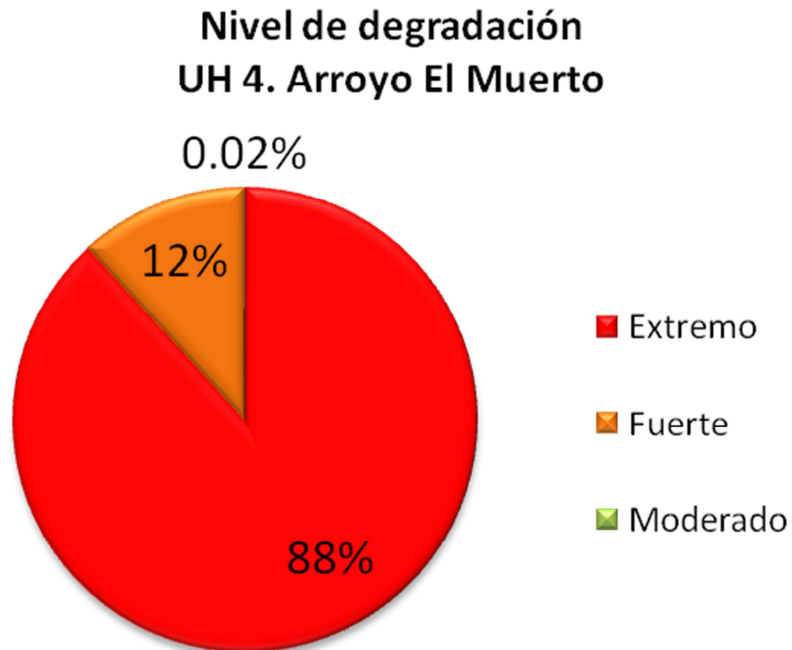


Figura 7.24 Porcentaje del nivel de degradación superficial en la UH4 Arroyo El Muerto

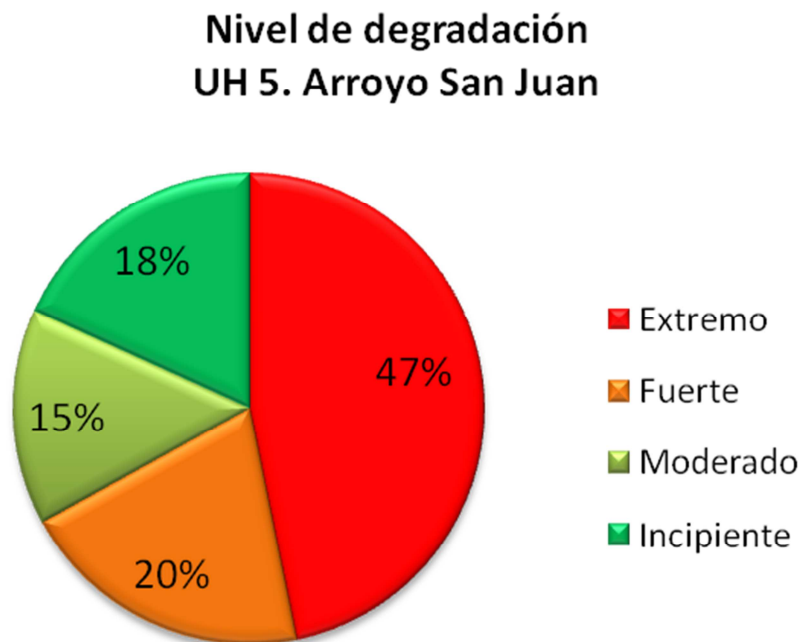


Figura 7.25 Porcentaje del nivel de degradación superficial en la UH5 Arroyo San Juan

Nivel de degradación  
Microcuenca de la presa Madín

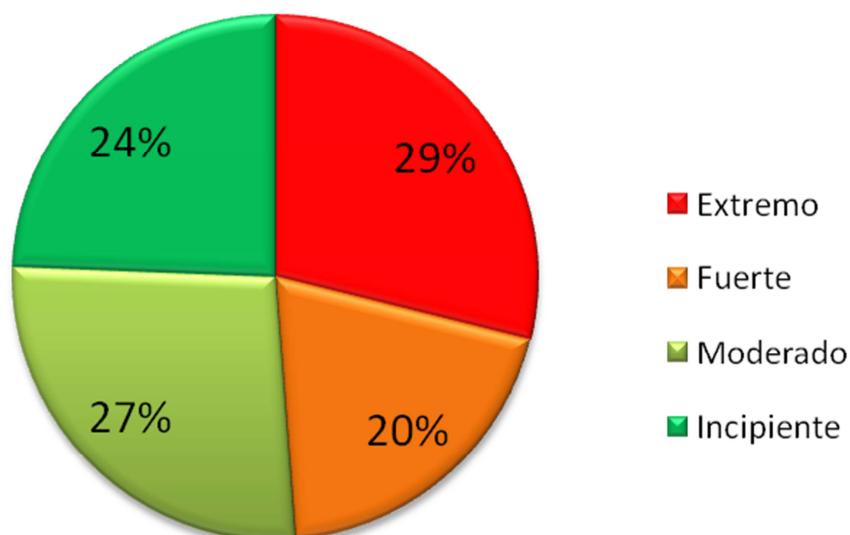


Figura 7.26 Porcentaje del nivel de degradación superficial en la cuenca de la presa Madín

La tasa de degradación se considera como el cambio de cobertura vegetal entre 2000 y 2008. Se reclasifican las capas raster de cobertura vegetal generadas en análisis de NDVI y a través del algebra de mapas se establece la tasa de degradación por unidad hidrográfica (Figura 7.27 a 7.32, Cuadro 7.17).

Cuadro 7.17 Estandarización de rangos de cobertura vegetal para determinar la tasa de degradación

	SUPERFICIE TOTAL (ha)	PUNTOS
Bosque	2,334.69	1
Vegetación inducida	4,280.76	2
Suelo desnudo	3,303.99	3
Agua	72.90	4

### Tasa de degradación UH 1. Tlanepantla Alto

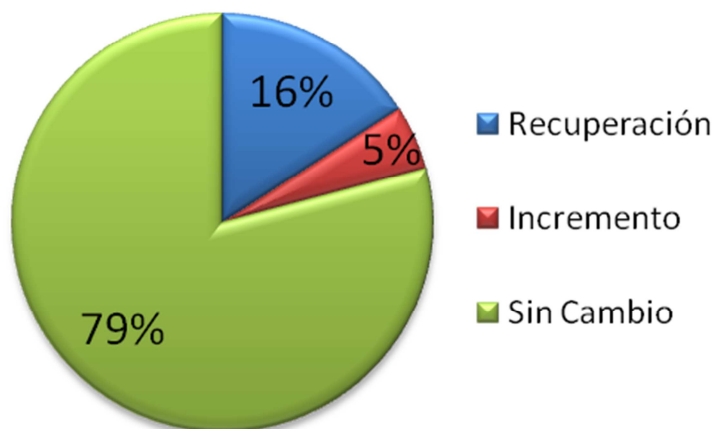


Figura 7.27 Porcentaje de la tasa de degradación superficial en la UH1 Tlanepantla Alto

### Tasa de degradación UH 2. Tlanepantla Medio

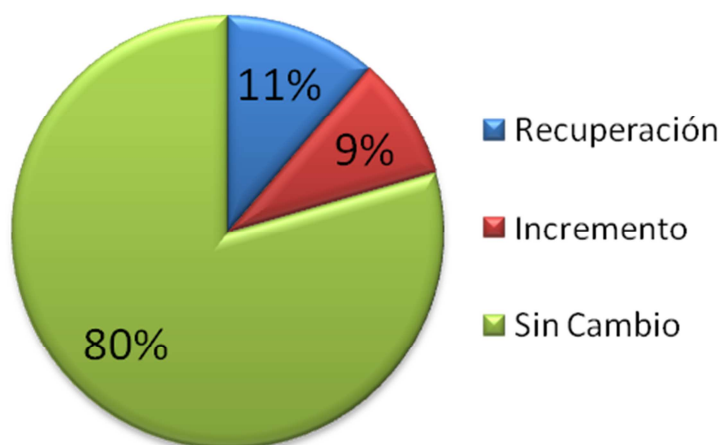


Figura 7.28 Porcentaje de la tasa de degradación superficial en la UH2 Tlanepantla Medio



### Tasa de degradación UH 3. Tlanepantla Bajo

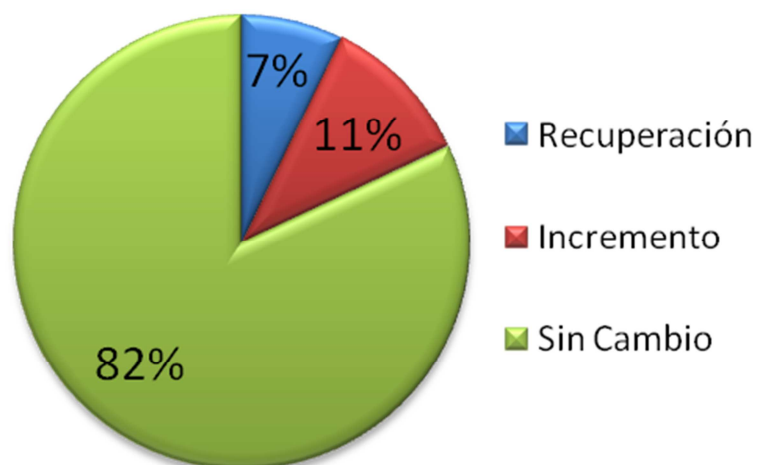


Figura 7.29 Porcentaje de la tasa de degradación superficial en la UH3 Tlanepantla Bajo

### Tasa de degradación UH 4. Arroyo El Muerto

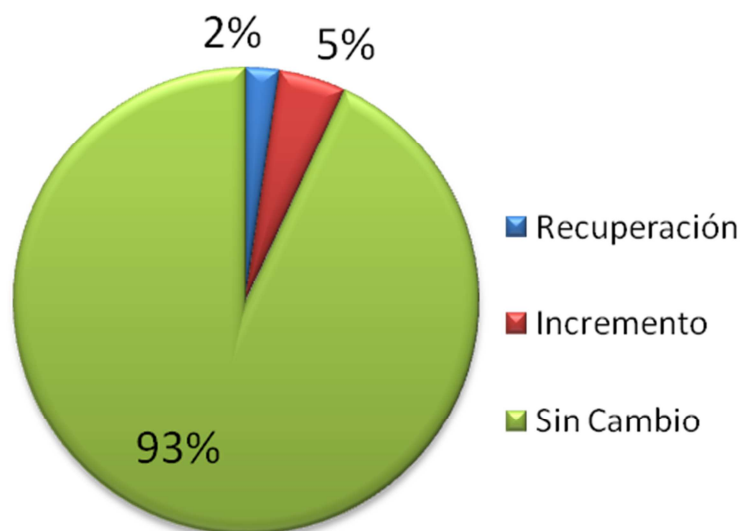


Figura 7.30 Porcentaje de la tasa de degradación superficial en la UH4 Arroyo El Muerto

Tasa de degradación  
UH 5. Arroyo San Juan

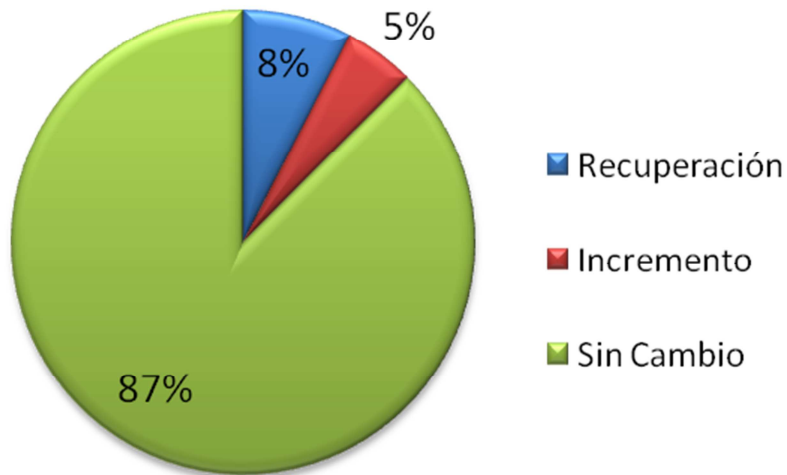


Figura 7.31 Porcentaje de la tasa de degradación superficial en la UH5 Arroyo San Juan

Tasa de degradación  
Microcuenca de la presa Madín

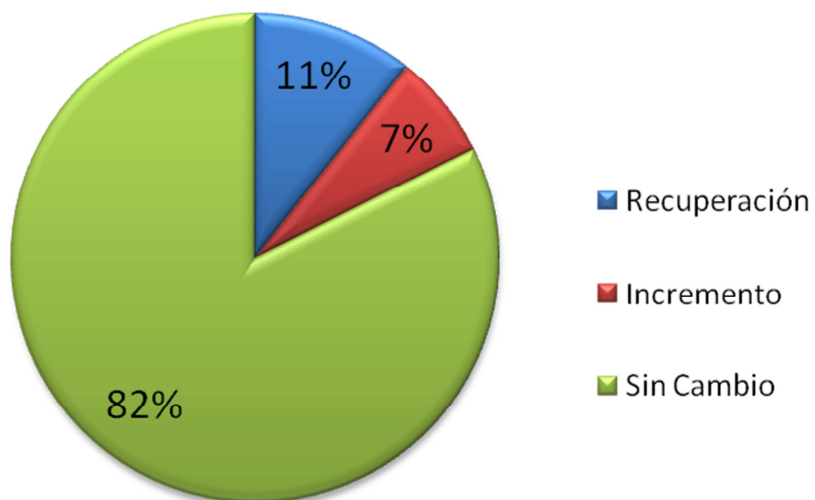


Figura 7.32 Porcentaje de la tasa de degradación superficial en la cuenca de la presa Madín

Durante los recorridos en campo, la recopilación de información, y levantamiento de información geográfica se determinaron las principales fuentes causales de degradación, las cuales se mencionan en el apartado Cambio de Uso de Suelo y Características Socioeconómicas de la Población. Con base en lo anterior la

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

deforestación es la principal causa de la degradación dentro de la cuenca de la presa Madín. Esta deforestación se debe principalmente al cambio de uso de suelo de bosque a urbano, ya que a pesar de que entre el año 2000 al 2008 la tasa de degradación se muestra sin cambio (Figura 7.23), para el año 2009 se tiene registrado un crecimiento de la mancha urbana en más de 550 has para la expansión del corredor Santa Fe-Interlomas-Zona Esmeralda. La segunda causa de degradación es la urbanización, ya que la producción de desechos sólidos y su mal manejo dentro de la cuenca ha provocado, no solamente daños en la salud de la población, sino también disminuyen la calidad de los recursos, esta afectación se encuentra focalizada en el municipio de Jilotzingo y no ha tenido un impacto generalizado en la cuenca.

De la Figura 7.33 a la 7.37 se muestra la distribución espacial de la degradación por unidades hidrográficas conforme a la metodología ASSOD.

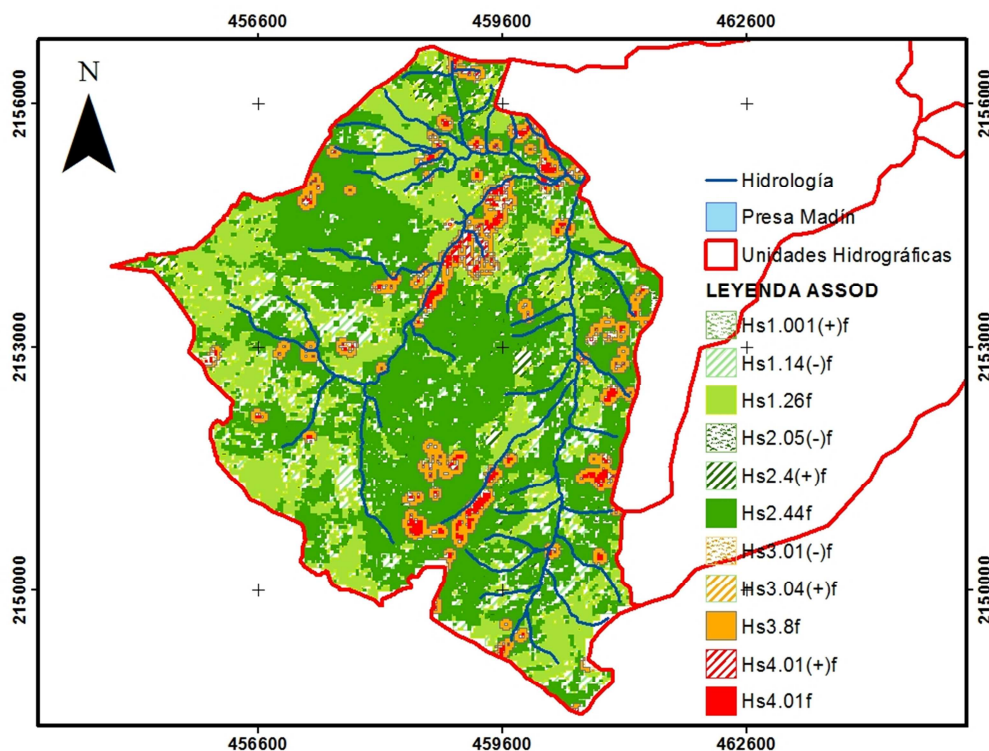


Figura 7.33 Degradación en la UHI Tlalnepantla Alto (Metodología ASSOD)

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

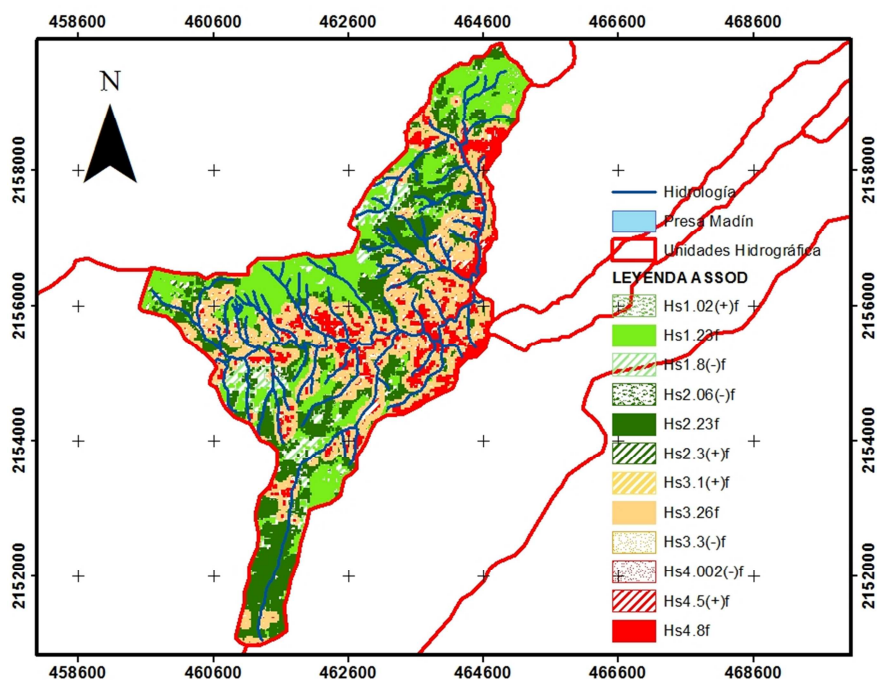


Figura 7.34 Degradación en la UH2 Tlalnepantla Medio (Metodología ASSOD)

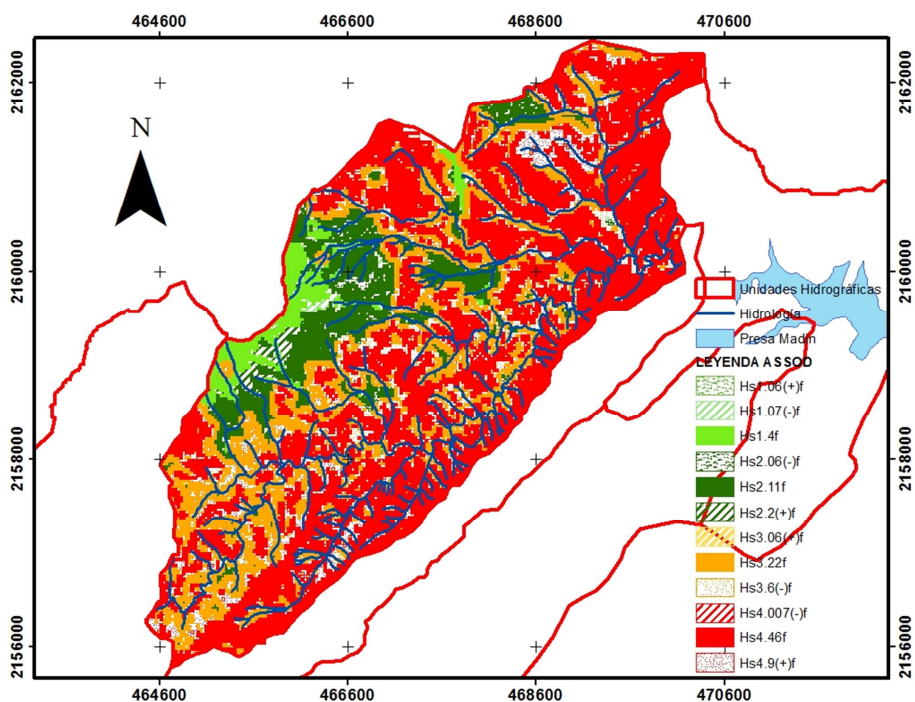


Figura 7.35 Degradación en la UH3 Tlalnepantla Bajo (Metodología ASSOD)

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

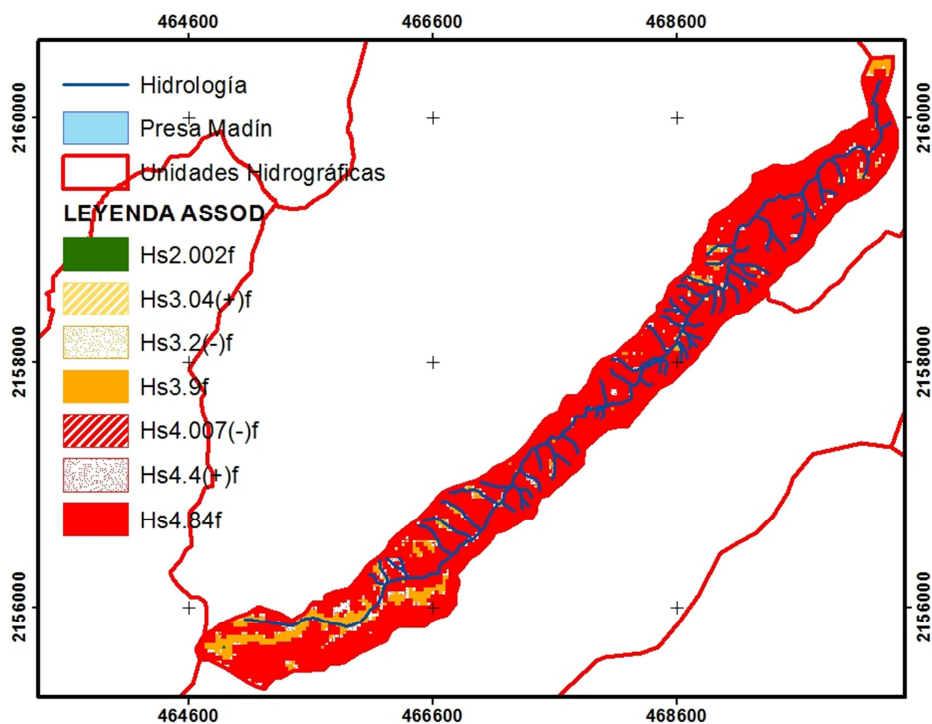


Figura 7.36 Degradación en la UH4 Arroyo El Muerto (Metodología ASSOD)

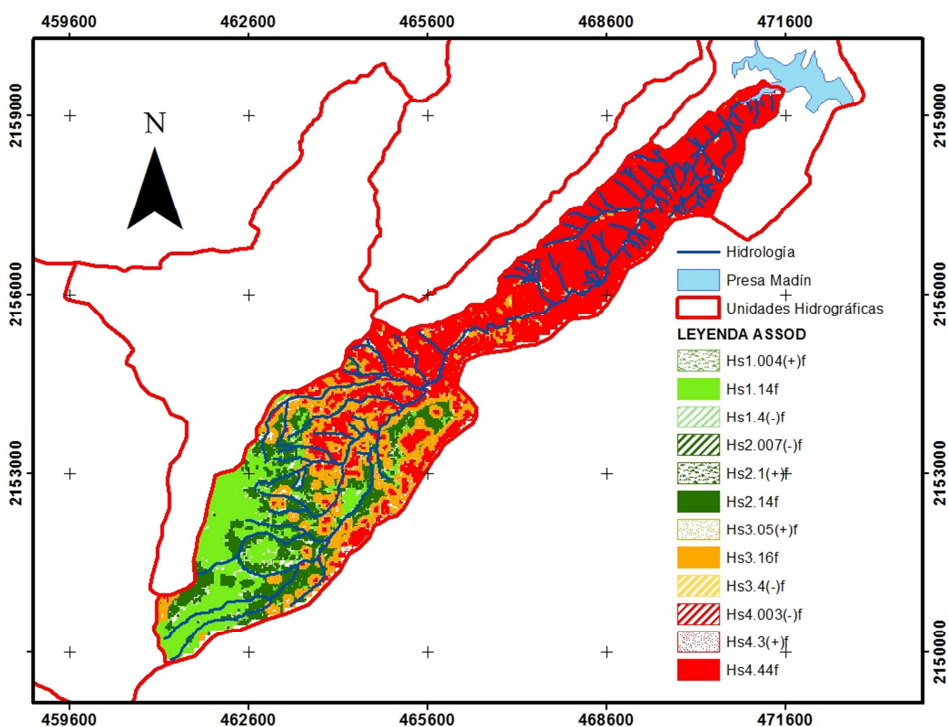


Figura 7.37 Degradación en la UH5 Arroyo San Juan (Metodología ASSOD)

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

El resumen del nivel de degradación y tendencia a la degradación de cada unidad hidrográfica se observa en la Figura 7.38 y 7.39.

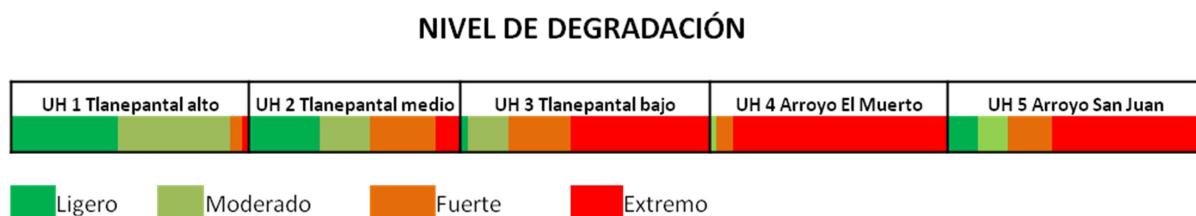


Figura 7.38 Nivel de degradación en la cuenca presa Madín (Metodología ASSDD)

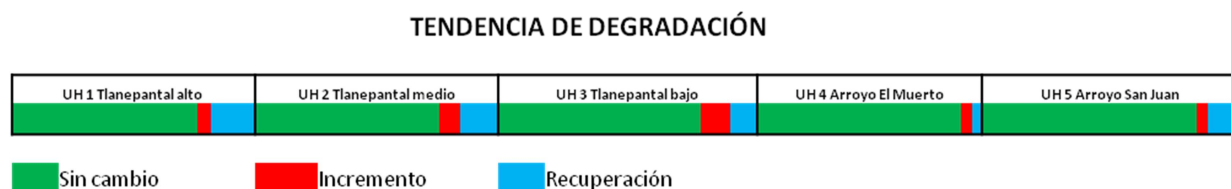


Figura 7.39 Tendencia de degradación en la cuenca presa Madín conforme a la Metodología ASSDD

La unidad hidrográfica que presenta la mayor degradación es la UH 4 Arroyo El Muerto, ya que aproximadamente el 99% de su superficie total se encuentra en un nivel severo de degradación y su tendencia a la recuperación es solo del 1% mayor que la superficie que incrementa en degradación.

La distribución de la degradación conforme a las unidades fisiográficas, como se observa en el Cuadro 7.18. La degradación ligera y moderada se concentra en la zona serrana, mientras que la degradación fuerte y moderada se ubica principalmente en los valles.

**DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN,  
ESTADO DE MÉXICO**

Cuadro 7.18      Distribución porcentual por unidad fisiográfica de la degradación

	<b>DEGRADACIÓN</b>			
	<b>LIGERA</b>	<b>MODERADA</b>	<b>FUERTE</b>	<b>EXTREMA</b>
MESETA	23%	20%	10%	11%
VALLE	14%	22%	46%	50%
SIERRA	63%	57%	43%	39%



## 8 DISCUSIÓN

---

La cuenca de la presa Madín es un aporte importante de agua potable a la Ciudad de México y Área Metropolitana. Su calidad y cantidad se han mermado a través del tiempo, en gran parte por la degradación que ha sufrido la cuenca, además que el recurso se encuentra limitado en el área. Para mejorar dichas condiciones es necesario conocer el área de estudio, tanto en el medio físico como en el social, y determinar con base en ello los fenómenos de mayor afectación.

Uno de los principales factores que afectan la calidad del agua son los sólidos suspendidos producto de la erosión. Como ya se ha mencionado es posible determinar la erosión por distintos métodos, ya sean empíricos, es decir, que no se realizan mediciones de las variables, o directos, en los cuales se especifican campañas de monitoreo en sitio. Este último método resulta demasiado costoso y generalmente se recomienda que las mediciones cumplan un ciclo anual para la caracterización del comportamiento de la variable. Por otro lado los métodos empíricos han sido los más utilizados no solo en México sino en todo el mundo. Los resultados obtenidos por los distintos tipos de métodos son muy variables. Pando (2003) menciona que a través de métodos directos se han estimado valores de erosión para la cuenca alta del río San Marcos, Tamaulipas de 13.5 ton/ha/año mientras que por métodos indirectos utilizando la EUPS la erosión ronda los 492 ton/ha/año. En zonas de Veracruz se han estimado valores de erosión de hasta 568 ton/ha/año con métodos empíricos para zonas donde la pendiente aproximada es de 25%. Sin embargo existen otros trabajos en donde se obtuvieron valores de erosión menores a través de métodos empíricos que por medición directa. En general, la medición directa siempre será lo más recomendable para determinar el comportamiento de una variable, sin embargo esto implica grandes sumas de dinero y aumenta el tiempo de ejecución de un estudio. Para la obtención de resultados más certeros a través de métodos empíricos es de importancia la calidad de las bases de datos que alimentarán el modelo. Por otra parte la EUPS encuentra sus limitaciones en cuanto a su estimación de erosión ya que se basa en la capacidad de las gotas de lluvia de desprender las partículas de suelo y no en la capacidad de carga del escurrimiento para movilizar y sacar del sistema dichas partículas, provocando la degradación del suelo, por lo anterior la EUPS no es capaz de



determinar la deposición de sedimentos ni el transporte de los mismos. En contraste la USPED, al basarse en la capacidad de carga, ayuda a determinar las zonas donde por topografía, dirección de flujo, precipitación, cobertura vegetal y uso de suelo, ocurre una disminución en la velocidad del escurrimiento por cambio de pendiente y por lo tanto una mayor acumulación de sedimentos. Como se puede observar ninguno de los métodos anteriores considera al escurrimiento como una de los fenómenos del ciclo hidrológico que más afectan al suelo. Una de las principales razones de ello es que las bases de datos confiables de medición de gasto, no solamente en México, sino en el mundo, son escasas. Las ventajas de optar por métodos empíricos basados en la precipitación son evidentes en monto y tiempo, además que son los más ampliamente usados en el mundo y por lo tanto existen muchos estudios comparativos de los mismos.

El estudio de la erosión fue el inicio de una serie de consideraciones ambientales sobre el deterioro de la superficie terrestre. En su esencia, dichas investigaciones se enfocan no en las afectaciones del intemperismo naturales del suelo, sino en los efectos del hombre al acelerar o frenar dichos fenómenos y como consecuencia lógica, la determinación de la erosión es la base para los estudios de determinación de degradación.

La determinación del nivel de degradación de la cuenca tiene un factor físico inherente, sin embargo este no solo se determina por los fenómenos naturales, como se muestra en la metodología ASSOD, sino también por el desarrollo social que existe en la cuenca. La importancia de conocer los vínculos de las causas sociales con los físicos ayuda a generar estrategias a corto, mediano y largo plazo, de tal forma que el volumen de agua captado aumente así como su calidad. Es por ello que en este estudio, y a pesar que no es señalado dentro de la metodología ASSOD, se incluyó la caracterización socioeconómica de las unidades hidrográficas para determinar las de mayor afectación y tendencia a la degradación. Los factores

Muchos estudios han relacionado las características hidrográficas de una cuenca con su propensión a eventos extremos, como avenidas máximas o inundaciones. Por lo anterior en el apartado de Descripción de Medio Natural los parámetros de caracterización mostraban una relación de bifurcación, densidad hidrográfica y de drenaje indicativos de una alteración de los recursos naturales predominante en la UH 4 Arroyo El Muerto ya que presenta los más altos valores en los tres parámetros en comparación con las demás unidades hidrográficas. Esta UH se ubica en el municipio de Naucalpan y presenta una mayor tendencia a la urbanización, su índice de pobreza

patrimonial es el más alto de los tres municipios por lo que la presión de la densidad poblacional aumenta. Así mismo más del 50 % de su superficie es afectada por degradación extrema a fuerte, y a pesar que en comparación con el año 2000 y 2008, el porcentaje de superficie que se ha recuperado y la que ha perdido cobertura vegetal es casi igual, esto no implica que presente una tendencia a la recuperación, ni que la implementación de estrategias para recuperación de servicios ecosistémicos se pueda efectuar en dicha UH en el corto y mediano plazo; además sus características hidrográficas la hacen propensa a eventos extremos. Como se observa en la Figura 7.8, la UH 4 Arroyo El Muerto es una zona de deposición de sedimentos por lo que la calidad del agua se ve rápidamente disminuida, y en contraste no existe infraestructura de saneamiento registrada en sus límites.

La segunda unidad con mayor degradación es la UH 3 Tlalnepantla Bajo. Sus valores de densidad hidrográfica y de drenaje son los siguientes más altos después de los reportados para la UH 4 Arroyo El Muerto. En la parte baja de esta unidad hidrográfica se localiza el pueblo Chiluca y el Club Campestre Chiluca, dos de los complejos urbanos con mayores miras de expansión, mientras que la parte alta corresponde al municipio de Jilotzingo, el cual presenta un mayor índice de pobreza alimentaría y de capacidades, y a pesar que muestra un menor índice de pobreza patrimonial, las viviendas de las localidades dentro del municipio son las que reportan la mayor escasez de servicios básicos. En esta UH el porcentaje de superficie que se ha recuperado es del 7% entre el año 2000 y 2008, mientras que la superficie que no ha presentado cambio en su nivel de degradación es del 82%. A pesar que la tasa de recuperación es mayor que en la UH 4 Arroyo El Muerto, de 2%, el hecho que sea la unidad con mayores perspectivas de desarrollo urbano implica que probablemente su tasa de recuperación continúe a la baja mientras que el nivel de degradación aumente. La zona de mayor deposición se ubica al sur de la UH, hacia la colindancia con UH 4 Arroyo El Muerto. Dentro de la UH 3 Tlalnepantla Bajo, la calidad del agua del Río Tlalnepantla se encuentra bastante disminuida ya que a lo largo de su trayecto por la UH 1 Tlalnepantla Alto y UH 2 Tlalnepantla Medio, las descargas domésticas y la contaminación de barrancas por desechos sólidos, ya que solamente el Fraccionamiento Chiluca y el Club Campestre Chiluca cuentan con tubería de drenaje, impiden el aprovechamiento del escurrimiento superficial. Esta UH cuenta con tres plantas de tratamiento operadas por el Club Campestre Chiluca para producir agua únicamente con calidad para el riego de sus áreas verdes. El servicio de abastecimiento de agua es irregular, por la que la población ha generado infraestructura de almacenamiento, como son las cisternas localizadas en el Rancho Espíritu Santo y en el Fraccionamiento Chiluca (500 lt), e infraestructura de abastecimiento, como de los pozos de extracción de agua potable operados por la Asociación de Colonos de

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DE LA PRESA MADÍN, ESTADO DE MÉXICO

---

Chiluca. La afectación del ciclo hidrológico es tangible en ésta UH ya que la recarga de los mantos freáticos es menor a la demanda del recurso, ya que uno de los tres pozos se ha secado y la profundidad a la que se han perforado el primer pozo con respecto al último tiene una diferencia de 115 m de profundidad.

En tercer lugar de degradación se ubica la UH 5 San Juan, que se encuentra en su totalidad dentro del municipio de Naucalpan. Esta UH presenta una recuperación del 8% de la superficie entre el año 2000 y 2008, concentrada en la parte alta de la unidad, probablemente por la inaccesibilidad al área. A pesar que el 87% de su superficie no cambio de nivel de degradación entre el año 2000 al 2008, su cercanía a las grandes zonas urbanizadas del municipio y de las UH 4 Arroyo El Muerto, en la parte baja de la UH, la hacen susceptible a aumentar su degradación en el futuro. La calidad del agua se ve disminuida por la presencia de descargas domésticas y de la granja porcina cercana a la localidad de Santiago Tepatlaxco, directas al Río San Juan; así mismo, al igual que en el caso de la UH 3 Tlalnepantla Bajo y UH 4 Arroyo El Muerto, la deposición de sedimentos se ubica en la parte baja de esta UH. Por lo anterior el uso del escurrimiento superficial no es posible, de hecho en la parte baja de la UH el agua es abastecida por el municipio pero en la parte alta el abastecimiento es directo de los manantiales cercanos. La única infraestructura de saneamiento que existe en la UH es la planta potabilizadora de la presa Madín sin embargo toda el agua que procesa se destina a asentamientos urbanos fuera de la cuenca.

La UH 2 Tlalnepantla Medio ocupa el cuarto lugar de degradación. Cuenta con una población aproximada de 7,231 habitantes los cuales se concentran en localidades cercanas a la carretera Naucalpan-Ixtlahuaca, esta UH concentra una amplia población rural. Se ubica dentro del municipio de Jilotzingo, el cual registra los mayores índices de pobreza alimentaria y de capacidades dentro de la cuenca. Debido a la escasez de actividades económicas en la zona distintas a las recreativas, o la extracción de madera, gran parte de la población económicamente activa se desplaza a otros municipios para su fuente de ingreso. Las malas vías de comunicación obligan a los pobladores a mantenerse cercanos a la principal vía de acceso por lo que ésta UH ha reportado una recuperación en 11% de sus superficie entre el año 2000 al 2008. Dentro de la UH 2 Tlalnepantla Medio no existe alcantarillado público por lo que el Río Tlalnepantla, también conocido a ésta altura como Río San Luis, funciona principalmente como canal a cielo abierto. Otra fuente de contaminación dentro de esta unidad es la presencia de un banco de materiales y del clausurado relleno sanitario CONFINAM S.A. de C.V. y SANIRENT el cual no tiene manejo de sus lixiviados. Recientemente se encuentra en construcción una planta que tratará el agua del Río San Luis y regresará el caudal al mismo; ésta será operada por el municipio. El

municipio no abastece de agua potable a la población, por la principal fuente de abastecimiento son los manantiales y no se tiene registrado el uso de agua de pozos.

Finalmente la UH 1 Tlalnepantla Alto muestra el menor nivel de degradación. Al igual que la UH 2 Tlalnepantla Medio tiene pocas vías de comunicación sobre todo en la parte alta de la unidad donde se concentra el 16% de la superficie que muestra signos de recuperación entre el año 2000 a 2008. Esta zona colinda con la zona protegida Parque Otomí-Mexica. Se ubica dentro del municipio de Jilotzingo y concentra 834 habitantes, los cuales tienen las tasas de pobreza alimentaria y de capacidades más altas de la cuenca. Así como en la UH 2 Tlalnepantla Medio, en esta unidad no existe alcantarillado público y se utilizan los arroyos y al Río Tlalnepantla como canales a cielo abierto, se registra también el uso de fosas sépticas. El agua potable se abastece de manantiales y no se reporta la extracción de agua de pozos.

La superficie de la cuenca de la presa Madín está afectada por degradación extrema en un 29% de su superficie total, fuerte en un 20%, moderada en 27% de su superficie y tiene una degradación ligera en 24% de su área total. En comparación con el año 2000, en 2008 el 82% de su área total no había aumentado o disminuido su nivel de degradación, mientras que el 7% si y el 11% mostraba recuperación. En la parte baja de la cuenca las zonas de recuperación van principalmente de áreas que en el año 2000 eran suelo desnudo a zonas que el 2008 se registran con vegetación inducida, mientras que en la parte alta es de zonas con vegetación inducida a bosques jóvenes. Es importante señalar que en una sucesión biológica de recuperación de la biodiversidad vegetal puede tardar décadas en alcanzar el estado de madurez ecosistémica por lo que a pesar que se muestre una recuperación en la cubierta vegetal de ciertas áreas dentro de la cuenca no implica que los servicios ecosistémicos, estén restablecidos en dichas zonas.

Espacialmente la zona de mayor producción de sedimentos se ubica en la parte alta y media de la cuenca, mientras que en la parte baja se concentran las zonas de deposición de sedimentos aproximadamente a partir de los 2,549 m snm. Los servicios de abastecimiento, alcantarillado y saneamiento del agua son escasos y se concentran en ciertas localidades, principalmente en la parte baja de la cuenca, e incluso en estas zonas no existe una distribución constante y de calidad del recurso. Ninguna de las plantas de tratamiento esta operada por los municipios a reserva de la que se encuentra en construcción en Jilotzingo. Actualmente existen inversiones para el mejoramiento de las vías de comunicación y la construcción de complejos habitacionales dentro de la cuenca, lo cual aumentará la presión a los recursos, sobre

todo porque estos nuevos complejos se localizarán en las zonas que ya presentan un nivel de degradación alto en la parte baja de la cuenca. No existen reportes de actividades o programas de conservación, desazolve, implementación de ecotécnicas o de saneamiento dentro de la cuenca. Tampoco existen estudios sobre la condición actual de la contaminación producto de los lixiviados derivados del relleno sanitario CONFINAM S.A. de C.V. y SANIRENT. De las 13,846 personas que viven dentro de la cuenca el 52% se distribuyen en las UH con influencia del municipio de Naucalpan de Juárez en 17 localidades. Estas localidades tienen características urbanas con una mayor demanda de servicios. El 44% de la población pertenece al municipio de Jilotzingo pero se distribuye únicamente en 6 localidades, principalmente en la parte media y alta de la cuenca. Estas localidades presentan características rurales y carecen de muchos de los servicios básicos como el suministro de agua y gas. Es importante señalar que en su mayoría la población dentro de la cuenca no realiza sus actividades económicas dentro de ella debido a la poca diversidad de sectores económicos desarrollados y se desplazan a diario hacia sus centros laborales ubicados en las zonas urbanas de los municipios de Atizapán de Zaragoza, Naucalpan y el Distrito Federal.

# 9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

## 9.1. CONCLUSIONES

- La erosión actual de la cuenca es de 7.58 ton/ha/año pudiendo incrementarse hasta 166.6 ton/ha/año.
- La deposición actual de la cuenca es de 2.5 ton/ha/año.
- El 82.67% de la superficie total de la cuenca no presenta cambios de uso de suelo entre el año 2000 al 2008, sin embargo en el 2009 se reportaron nuevos fraccionamientos para el desarrollo de unidades habitacionales.
- El 44.89% de la superficie total de la cuenca presenta un grado de degradación que va del Fuerte al Extremo, mientras que el 55.11% tiene una degradación Ligera a Moderada.
- El 88% de la superficie total de la UH4 Arroyo El Muerto presenta un nivel de degradación extremo.
- La UH2 Tlalnepantla Medio y UH1 Tlalnepantla Alto tienen un nivel de degradación extremo menor al 40% de su superficie total.
- En la UH 3 Tlalnepantla Bajo, UH4 Arroyo El Muerto y UH5 Arroyo San Juan existe una tendencia a la deforestación y al aumento de la mancha urbana.

- Las zonas de mayor deposición de sedimentos son la UH3 Tlalnepantla Bajo, UH4 Arroyo El Muerto y UH5 Arroyo San Juan.
- Las descargas domésticas son el principal factor de contaminantes por coliformes fecales de la presa Madín y sus afluentes aportadores.

## **9.2. RECOMENDACIONES**

- Implementar una red de estaciones hidrométricas para tener una estimación correcta del volumen de agua que escurre dentro de la cuenca y con los datos obtenidos es posible generar un balance hidrológico para estimar la disponibilidad del agua en la cuenca.
- Implementar una red de estaciones meteorológicas para el monitoreo de las variables en la parte alta, media y baja de la cuenca.
- Monitoreo de los niveles de contaminación no solo en el vaso de la presa, sino también a lo largo del cauce de los principales ríos aportadores de la cuenca.
- Realizar un estudio de calidad del agua subterránea y suelo ya que existen reportes de basureros sin manejo adecuado que pudieron provocar contaminación por lixiviados.

# 10 BIBLIOGRAFÍA

---

**Aparicio, F.** 1992. Fundamentos de Hidrología Superficial. Primera reimpresión. México. Limusa. 303 p.

**Arias, R.** 1980. El factor R de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo en la cuenca del río Tezcoco. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo. México. 113 p.

**Browning, G.M., R. A. Norton, A.G. McCall.** 1948. Investigation in erosion control and the reclamation of eroded land at the Missouri Valley Loess Conservation Experiment Station. Clarinda. USDA. Tec. Bull. 959.

**Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión.** 2011. Ley de Aguas Nacional. Última reforma DOF 08-06-2012. México. 106 p.

**Campos Aranda, D.F., R. Gómez de Luna.** 1990. Procedimiento sugerido para obtener curvas I-D-Tr a partir de registros pluviométricos y calculados. S.A.R.H. México. 30 p.

**Carabias, J., et al.** 2005. Agua, Medio Ambiente y Sociedad. Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en México. UNAM-Fundación Gonzalo R{io Arronte, I.A.P. México. 219 p.

**Chander, G., B. L. Markham, D.L. Helder.** 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote Sensing of Environment 113 (2009) 893–903 p.

**Colegio de Postgraduados.** 2001-2002. Evaluación de la Degradación del Suelo Causada por el Hombre en la República Mexicana, Escala 1:250,000. SEMARNAT. 76 p.

**Chow, Ven Te.** 1962. Hydrologic Determination of Waterway Areas for the Design of Drainage Structures in Small Drainage Basins. Boletín No. 462. Universidad Illinois.



**Clarke, K. C., et al.** 2002. GIS and Environmental Modeling. Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River.

**Colter, H.** 2010. Las Cuencas Hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización. 1ra. Edición. Pluralia Ediciones e Impresiones S.A. de C. V. México. 22 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1979. Boletín Hidrológico 31: Datos del Valle de México correspondientes al año 1978. CONAGUA. 660 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1980. Boletín Hidrológico 32: Datos del Valle de México correspondientes al año 1979. CONAGUA. 622 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1981. Boletín Hidrológico 33: Datos del Valle de México correspondientes al año 1980. CONAGUA. 650 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1982. Boletín Hidrológico 34: Datos del Valle de México correspondientes al año 1981. CONAGUA. 433 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1983. Boletín Hidrológico 35: Datos del Valle de México correspondientes al año 1982. CONAGUA. 628 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1983,1987. Monitoreo de la calidad del agua de los principales aportadores de la presa Madín. Información digital elaborada por el Laboratorio de Control de Calidad del Agua de la Comisión Nacional del Agua y proporcionada por la Dirección Técnica del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. CONAGUA.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1984. Boletín Hidrológico 36: Datos del Valle de México correspondientes al año 1983. CONAGUA. 433 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1985. Boletín Hidrológico 37: Datos del Valle de México correspondientes al año 1984. CONAGUA. 536 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1986. Boletín Hidrológico 38: Datos del Valle de México correspondientes al año 1985. CONAGUA. 514 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1987. Boletín Hidrológico 39: Datos del Valle de México correspondientes al año 1986. CONAGUA. 573 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1988. Boletín Hidrológico 40: Datos del Valle de México correspondientes al año 1987. CONAGUA. 562 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1989. Boletín Hidrológico 41: Datos del Valle de México correspondientes al año 1988. CONAGUA. 503 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1990. Boletín Hidrológico 42: Datos del Valle de México correspondientes al año 1989. CONAGUA. 466 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1992. Boletín Hidrológico 44: Datos del Valle de México correspondientes al año 1991. CONAGUA. 405 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1993a. Boletín Hidrológico 43: Datos del Valle de México correspondientes al año 1990. CONAGUA. 433 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1993b. Boletín Hidrológico 50: Datos del Valle de México correspondientes al año 1997. CONAGUA. 420 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1994a. Boletín Hidrológico 46: Datos del Valle de México correspondientes al año 1993. CONAGUA. 385 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1994b. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua para su Potabilización”. 7 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1995. Boletín Hidrológico 47: Datos del Valle de México correspondientes al año 1994. CONAGUA. 398 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1996. Boletín Hidrológico 48: Datos del Valle de México correspondientes al año 1995. CONAGUA. 395 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1997. Boletín Hidrológico 49: Datos del Valle de México correspondientes al año 1996. CONAGUA. 464 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 1999. Boletín Hidrológico 51: Datos del Valle de México correspondientes al año 1998. CONAGUA. 453 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 2000. Boletín Hidrológico 52: Datos del Valle de México correspondientes al año 1999. CONAGUA.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 2001. Boletín Hidrológico 53: Datos del Valle de México correspondientes al año 2000. CONAGUA.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 2001-2007. Monitoreo de la calidad del agua de la planta potabilizadora. Información digital elaborada y pro CONAGUA. 2008. Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación a diciembre de 2007. CONAGUA. 259 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 2002. Boletín Hidrológico 54: Datos del Valle de México correspondientes al año 2001. CONAGUA. 503 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 2003. Boletín Hidrológico 55: Datos del Valle de México correspondientes al año 2002. CONAGUA. 593 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 2004. Boletín Hidrológico 56: Datos del Valle de México correspondientes al año 2003. CONAGUA.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 2005. Boletín Hidrológico 57: Datos del Valle de México correspondientes al año 2004. CONAGUA.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 2006. Boletín Hidrológico 58: Datos del Valle de México correspondientes al año 2005. CONAGUA. 566 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 2007. Boletín Hidrológico 59: Datos del Valle de México correspondientes al año 2006. CONAGUA. 600 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 2009a. Análisis Físicoquímicos y Bacteriológicos-RC 2003-2008: Reporte Estadístico. Gerencia de Aguas del Valle de México, Dirección Técnica.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 2009b. Indicadores de Calidad del Agua: Escala de clasificación de calidad del agua DBO 5. 1 p.

**Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).** 2009c. Registro Público de Derechos de Agua (REPDA).  
[http://www.conagua.gob.mx/REPDA/consultarepda.aspx?id=Consulta%20a%20la%20base%20de%20datos%20del%20REPDA|Registro%20P%C3%BAblico%20de%20Derechos%20de%20Agua%20\(REPDA\)|0|104|0|0|0](http://www.conagua.gob.mx/REPDA/consultarepda.aspx?id=Consulta%20a%20la%20base%20de%20datos%20del%20REPDA|Registro%20P%C3%BAblico%20de%20Derechos%20de%20Agua%20(REPDA)|0|104|0|0|0).

**Comisión del Agua del Estado de México.** 2008. Ficha Técnica de Proyectos para Plantas de Tratamiento. 7 p.

**Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL).** 2009. Índice de pobreza a nivel municipal 2000 y 2005.

**Consejo Nacional de Población (CONAPO).** 2005. II Censo de Población y Vivienda 2005 y a la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) 2005, IV Trimestre.

**Consejo Nacional de Población (CONAPO).** 2009. Tendencia poblacional a nivel municipal a 2030.

**Comisión Nacional de Salario Mínimo (CONSAMI).** 2000-2009. Tablas de salario mínimo general. <http://www.conasami.gob.mx/>

**Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).** 2007. Manual de obras de protección, restauración y conservación de suelos forestales. México. 227 p.

**Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).** 1998. Climas (Clasificación de Köppen, modificado por García), Escala 1:1 000 000. [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml? httpcache=yes& xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsl& indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml? httpcache=yes& xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl& indent=no). Fecha de publicación: 11 de mayo de 2001.

**Cook, H.L.** 1936. The nature and controlling variables of the water erosion process. Soil Science Society of America Proceedings. 1. 60-64 p.

**Cortés, T.** 1991. Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. México. 168 p.

**Cruz-Leyva, I. A., J.R. Valdez L., G. Ángeles P., H.M. de los Santos P.** 2010. Modelación espacial de área basal y volumen de madera en bosques manejados de *Pinus patula* y *P. teocote* en el ejido Atopixco, Hidalgo. *Madera y Bosques* 16(3). 75-97 p.

**Figuroa, S. B., A. Amante O., H. G. Cortés T., J. Pimentel L., E.S. Osuna c., J.M. Rodríguez O., F. J. F. Morales.** 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. Secretaría de Agricultura y de Recursos Hidráulicos-Colegio de Postgraduados (CREZAS). México.

**González, R.** 1984. Introducción y evaluación de gramíneas y leguminosas establecidas en áreas degradadas para su uso en conservación de suelos y producción de forraje en sistemas asociados a maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. México. 118 p.

**González de Matuco, A.** 2004. Análisis Morfométrico de la Cuenca y la Red de Drenaje del Río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la A.G.E.* 38 (2004). 311-329.

**H. Ayuntamiento de Atizapán de Zaragoza.** 2006. Plan de Desarrollo Municipal 2006-2009. *Gaceta Número 19.* 90 p.

**H. Ayuntamiento de Jilotzingo.** 2003. Plan de Desarrollo Municipal 2003-2006.

**H. Ayuntamiento de Naucalpan de Juárez.** 2006. Plan de Desarrollo Urbano 2006-2009.

**Instituto Mexicano de Tecnología y Agua.** 1960 a 2007. Extractor rápido de información climatológica (ERIC III).

**Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).** 1982a. Carta Temática 1:250,000 Serie I: Conjunto Hidrología Superficial.

**Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).** 1982b. Diccionario de datos hidrológicos de aguas superficiales escalas 1:250,000 y 1:1 000 000 (Vectoriales). México. 65 p.

**Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).** 1982c. Carta Temática 1:250,000 Serie I: Conjunto Aguas Subterráneas.

**Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).** 1990. XI Censo de Población 1990.

**Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).** 1998. Carta Temática 1:250,000 Serie I: Conjunto Geológico.

**Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).** 2000. XII Censo General de Población y Vivienda 2000.

**Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).** 2001. Carta Temática 1:50,000 Serie I: Conjunto Topográfico.

**Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).** 2002-2006. Carta Temática 1:250,000 Serie II: Conjunto Edafológico.

**Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).** 2004. Carta Temática 1:250,000 Serie III: Conjunto Uso de Suelo y Tipo de Vegetación.

**Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).** 2005. Carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie III, 1:250,000.

**Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).** 2005. II Conteo de Población y Vivienda 2005.

**Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).** 2009. Modelo Digital de Elevación, Escala 1:50,000, Proyección UTM, Datum ITRF92.

**Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).** 2009a. Guía para la interpretación de cartografía, uso el suelo y vegetación: Escala 1:250,000: Serie III. México.

**Jacques, Ch.** 1987. Evaluación de la capacidad erosiva de la lluvia en la cuenca del río Texcoco. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados en Ciencias. Chapingo. México. 94 p.

**Jardí, M.** 1985. Formas de una cuenca de drenaje. Análisis de variables morfométricas que no la definen. Revista Geográfica. España. 19. 41-68 p.

**Langbein, W. B.** 1947. Topographic characteristics of drainage basins: U. S. Geol. Survey Water-Supply Paper 968-C. 125-157 p.

**Lima, W.** 1986. Principios de Hidrología Forestal para el Manejo de Cuencas Hidrográficas. Departamento de Silvicultura. Universidad de Sao Paulo. Piracicaba, Brasil. 242 p.

**Londoño, C.H.** 2001. Cuencas Hidrográficas: Bases Conceptuales-Characterización, Planificación y Administración. Universidad de Tolima. Ibagué. 359 p.

**Mckay, R.** 2008. A GIS Analysis of the Impact of Soil Erosion on Archaeological Visibility on the Island of Antyhythera, Greece. Tren University. Canada.

**Méndez, W., E. Marcucci.** 2006. Análisis morfométrico de la cuenca de la quebrada Curucutí, Estado Vargas, Venezuela. Revista Geográfica Venezolana. Venezuela. 47(1). 29-55 p.

**Meneses, C.** 2009. Estudio de caso sobre la evaluación de la degradación de los bosques. Análisis del índice normalizado de la vegetación (NDVI) para detección de degradación de la cubierta forestal en México 2008-2009. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 28 p.

**Mitasova, H. et al.** 1997. GIS tools for erosion/deposition modelling and multidimensional visualization. Part IV: Process based erosion simulation. Geographic Modelling and Systems Laboratory, University of Illinois. 20 p.

**Mitasova, H. et al.** 1999. Terrain modelling and soil erosion simulation. Annual Report. 32 pp.

**Mitasova, H. et al.** 2001. Terrain modelling and soil erosion simulation: Applications for evaluation and design of conservation strategies. Annual Report. Dept of Marine, Earth and Atmospheric Sciences (MEAS), North Carolina State University (NCSSU) 20 p.

**Monsalve, G.** 1995. Hidrología en la Ingeniería. Primera Edición Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia. 178 p.

**Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).** 1974. Clave para las unidades de suelo de la FAO. <http://www.fao.org/nr/land/suelos/clave-para-las-unidades-de-suelos-de-la-fao-1974/es/>

**Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).** 1979. A provisional methodology for soil degradation assessment. . Roma. <http://books.google.com.mx/books?id=wPGho8UqOQC&pg=PA73&lpg=PA73&dq=Metodolog%C3%ADa+provisional+para+la+evaluaci%C3%B3n+de+la+degradaci%C3%B3n+de+los+suelos+Roma,+Italia&source=bl&ots=pTn320M7w0&sig=gph2QOfjXohaT8ep9GxnSTtc614&hl=es-419&sa=X&ei=OVEhULPDHea68QGe-IHIAQ&sqi=2&ved=0CFEQ6AEwBw#v=onepage&q=Metodolog%C3%ADa%20provisional%20para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20degradaci%C3%B3n%20de%20os%20suelos%20Roma%2C%20Italia&f=false>

**Pando, M., M. Gutiérrez G., A. Maldonado H., J.L. Palacio P., A.E. Estrada C.** 2003. Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 51. 23-36 p.

**Peralta Alba, J. M.** 2009. Agentes Erosivos y Tipos de Erosión. [www.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33251.pdf](http://www.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33251.pdf). Fecha de consulta: 2 mayo 2009.

**Pricope, N.** 2009. Assessment of Spatial Patterns of Sediment Transport and Delivery for Soil and Water Conservation Programs. Journal of Spatial Hydrology 9(1). 44 p.

**Registro Agrario Nacional (RAN).** 2009. <http://www.ran.gob.mx/ran/index.php>.





**Rey, C.** 1979. Estimación de la erodabilidad de los tepetates en la cuenca del río Texcoco en base al factor K. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. México. 145 p.

**Sala, M. & Gay R.** 1981. Algunos datos morfométricos de la cuenca del Isábena. Notes de Geografía Física. No.4. 42-65 p.

**Santacruz de León, G.** 2011. Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso de suelo en la cuenca del río Cohoacán, Chiapa, México. Aqua-LAC. 3(1). 45-54 p.

**Simulador de flujos de agua de cuencas hidrológicas (SIATL).** 2009. [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/SIATL/](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/)

**Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de México (SEDAGRO).** 2009. Programa de Conservación y Manejo del Parque Ecológico, Turístico y Recreativo Zempoala-La Buja, denominado Parque Estatal Otomí-Mexica. Gaceta del Gobierno del Estado de México 64.

**Secretaría de Desarrollo Urbano (SEDUR).** 2006-2009. Planes de desarrollo municipal. [www.edomex.gob.mx](http://www.edomex.gob.mx).

**Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).** 2000. Inventario Nacional de Suelos: Unidades de Suelos Dominantes por Entidad Federativa. 4 p.

**Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).** 2000. Inventario Nacional de Suelos: Unidades de Suelos Dominantes por Uso de Suelo y Tipo de Vegetación. 7 p.

**Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).** 2002. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1:1 000 000. México. 146 p.

**Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)-INE-CONAFOR.** 2007. Reporte sobre “Los efectos de las variaciones climáticas y las actividades humanas en la degradación de tierras en México” Evaluación, experiencia de campo obtenida e integración de prácticas de mitigación y adaptación para la mejora de la calidad de vida. México.

**Smith, D.**1941. Interpretation of soil conservation data for field use. Agr. Eng. 22. 173-175 p.

**Strahler, A.** 1979. Geografía Física. 4ta edición. Editorial Omega. Barcelona. 767 p.

**Tecnología Ambiental y Construcciones S.A. de C.V.** 1997. Estudio de Saneamiento Integral de la Presa Madín, México. CONAGUA. 381 p.

**United States Geological Service (USGS).** 2009a. LandSat 7 ETM+ SLC Gap fill methodology. [http://landsat.usgs.gov/documents/SLC\\_Gap\\_Fill\\_Methodology.pdf](http://landsat.usgs.gov/documents/SLC_Gap_Fill_Methodology.pdf).

**United States Geological Service (USGS).** 2009b. LandSat 7 ETM+ Gap fill method. <http://landsat.usgs.gov/documents/L7SLCGapFilledMethod.pdf>

**Van Lynden, G.W.J.; Oldeman, L.R.** 1997. The assessment of the status of human-induced soil degradation in south and south-east Asia (ASSOD). United Nations Environment Programme (UNEP), Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), Wageningen.

**Viramontes, D. et al.** 2008. Cuantificación del escurrimiento y erosión hídrica en andosoles de la cuenca experimental en Valle de Bravo. Revista de Ingeniería Hidráulica en México (03)07. <http://www.imta.gob.mx/rihm>. Fecha de consulta: 29 de mayo de 2009.

**Wischmeier, W. H.** 1975. Estimating the soil loss equation's cover and management factor for undisturbed areas, in: Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. Agr.Res.Serv.Pub. ARS-S-40. 118-124 p.

**Wischmeier, W. H. & D.D. Smith.** 1965. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture Handbook No. 537.

**Yang, C.T.** 1972. Incipient motion and sediment transport. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. 99:1679-1704 p.

**Zingg, A.W.** 1940. Degree and length of land slope as it affect soil loss in runoff. Agric. Engng. 21. 59-64 p.