

Proyecto de Investigación para la Valoración de Aspectos Ambientales Críticos en el Desarrollo de Infraestructura de Refinación

III. Diagnóstico Ambiental y Socioeconómico

Primera entrega preliminar
de avance sujeta a revisión

Acuerdo de Donativo No. CA-351/2008

Preparado por:
CENTRO MARIO MOLINA
para Estudios Estratégicos Sobre Energía y Medio Ambiente A.C.

Dr. Mario Molina
Presidente

Ing. Carlos Mena Brito
Director ejecutivo

M. en C. Rodolfo Lacy Tamayo
Coordinador de programas y proyectos

Arq. Jorge Vélez Guerrero
Coordinador del Proyecto

Biól. Adolfo Lara Vázquez
Ingeniero de Proyecto

Dr. Oscar Peralta Rosales
Ingeniero de Proyecto

Ing. Diana Noriega Navarrete
Ingeniero de Proyecto

Ing. Zitely Tzompa Sosa
Ingeniero de Proyecto

Ing. Linda Rivapalacio Flores
Ingeniero de Proyecto

Ing. Carlos Galdeano Alexandres
Ingeniero de Proyecto

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
Consultor

Especialistas Ambientales, S.A. de C.V.
Consultor

Biól. Sachiko Chiriguchi Murayama
Consultor



REGIÓN TULA

INDICE

INDICE	1
GRÁFICAS	2
FIGURAS	2
TABLAS	4
LISTADO DE ACRÓNIMOS	5
ANTECEDENTES.....	8
III. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICO	10
Capítulo primero: Tula de Allende	10
1. Delimitación del área de estudio	11
1.1 Sistema Ambiental Regional para el área de Tula, Hidalgo.....	11
1.2 Área de Influencia del Sistema Ambiental Regional	14
2. Descripción del medio físico-natural, biológico y socioeconómico del área de influencia del proyecto.....	17
2.1 Medio físico.....	17
2.1.1 Clima	17
2.1.2 Geología y geomorfología.....	24
2.1.3 Edafología.....	31
2.1.4 Hidrología	33
2.2 Medio biótico.....	38
2.2.1 Vegetación terrestre y/o acuática	38
2.2.2 Fauna terrestre y/o acuática.....	41
2.3 Aspectos socio económicos.....	43
2.3.1 Características sociales.	43
2.3.2 Características económicas	56
2.4 Diagnóstico Ambiental Regional	69
2.4.1 Aire	69
2.4.2 Agua	90

2.4.3 Residuos sólidos.....	125
2.4.4 Suelo	135
2.4.5 Vulnerabilidad	144
3. Descripción de los instrumentos normativos, de gestión y planeación vigentes	145
3.1 Ordenamiento ecológico del territorio.....	145
3.2 Gestión del agua de la Cuenca del Río Tula.....	150
3.3 Áreas Naturales Protegidas	153
3.4 Desarrollo urbano	158
4. Identificación y análisis de los procesos de cambio en el sistema ambiental regional	162
4.1 Estructura y función del sistema ambiental regional.....	162
4.2 Fortalezas, oportunidades debilidades y amenazas del proyecto.....	164

GRÁFICAS

Gráfica 1: Temperatura.....	18
Gráfica 2: Precipitación.....	19
Gráfica 3 Fenómenos meteorológicos	23
Gráfica 4 Tasa de crecimiento poblacional	45
Gráfica 5 Población emigrante a Hidalgo por entidad federativa	47
Gráfica 6 Residentes e Inmigrantes de la Microrregión Tula.....	49
Gráfica 7 Causas de migración de población del estado de Hidalgo.....	50
Gráfica 8 Población que vive en hogares indígenas, y distribución por municipios	50
Gráfica 9 Índice de Desarrollo Humano (IDH) SAR.....	53
Gráfica 10 Características de vivienda comparado a 10 y 50 Km. a nivel municipal	54
Gráfica 11 Indicadores de Pobreza por Ingresos e Índice de Rezago Social	55
Gráfica 12 Comparativo de la remuneración media SAR - Tula	58
Gráfica 13 Empleo por sector (ES) Área de Tula, 2000	63
Gráfica 14 Situación en el empleo (EE) Área de Tula, 2000	64
Gráfica 15 Situación en el empleo (EE) Área de Tula, 2000	65
Gráfica 16. Volumen de extracción en litros.....	92
Gráfica 17. Mercado consumidor de coque de petróleo	127
Gráfica 18. Generación porcentual de residuos sólidos por municipio, 2009	134
Gráfica 19. Año 1995	134
Gráfica 20. Año 2000.....	134
Gráfica 21. Año 2005	135
Gráfica 22. Año 2010.....	135

FIGURAS

Figura 1 Localización.....	10
Figura 2. Secuencia de pasos para delimitar el SAR con UGA´s	12
Figura 3. Delimitación de la zona de influencia.	14
Figura 4 Delimitación del la zona de influencia (2).....	15
Figura 5. Mapa base del Sistema Ambiental Regional	16
Figura 6 Mapa base del Área de Influencia.....	16
Figura 7. Cuenca atmosférica	20

Figura 8. Vientos dominantes	20
Figura 9. Geomorfología	24
Figura 10. Vulcanismo	26
Figura 11. Geología	27
Figura 12. Localización de falla Tula-Mixhuca.....	29
Figura 13. Edafología.....	32
Figura 14. Hidrología	34
Figura 15 Acuífero	35
Figura 16. Características generales del acuífero	37
Figura 17. Vegetación original	39
Figura 18. Vegetación.....	40
Figura 19 SAR y área de influencia de Tula.....	46
Figura 20 Estratificación de municipios receptores de población	48
Figura 21 Delimitación del Área económico funcional de Tula	59
Figura 22 Cadena productiva en el Área Económico-Funcional de Tula	61
Figura 23: Cuencas atmosféricas en el área de estudio.....	70
Figura 24: Temporada seca fría.....	83
Figura 25: Dispersión de SO ₂ en la temporada seca fría*	84
Figura 26: Temporada seca caliente.....	85
Figura 27: Dispersión de SO ₂ en temporada seca caliente.....	86
Figura 28: Temporada húmeda.....	87
Figura 29: Dispersión de SO ₂ en la temporada húmeda.....	88
Figura 30. Usos del agua 2007	90
Figura 31. Hidrología	95
Figura 32. Cuenca hidrológica del Valle de México y Río Tula.....	96
Figura 33. Balance hidrológico de subcuencas	97
Figura 34. Consumo	99
Figura 35. Balance en aguas subterráneas.....	100
Figura 36. Calidad del agua	101
Figura 37. Ubicación de los sitios de monitoreo.....	103
Figura 38. Demanda Bioquímica de Oxígeno, Área de Influencia	108
Figura 39. Índice de la Calidad del Agua, Área de Influencia	117
Figura 40. Índice de la Calidad del Agua, Sistema Ambiental Regional	117
Figura 41. Clasificación del Índice de Calidad del Agua.....	118
Figura 42 Balance de Agua Refinería Miguel Hidalgo	123
Figura 43. Empresa SIMARI	128
Figura 44. Proyecto de relleno sanitario Regional.....	129
Figura 45. Vertedero El Llano	129
Figura 46. Vertedero de Tlaxcoapan.....	130
Figura 47. Vertederos y nuevo relleno sanitario cercanos a la nueva refinería.....	130
Figura 48. Localización de los parques industriales	138
Figura 49. Erosión	142
Figura 50. Degradación de los suelos.....	143
Figura 51 Áreas Naturales Protegidas	154
Figura 52 Sistema Ambiental Regional	163

TABLAS

Tabla 1. Presencia de ciclones tropicales en la región (1970 - 2006)	23
Tabla 2 Susceptibilidad de la región a fenómenos naturales y sociales	31
Tabla 3 Flora en la región	38
Tabla 4 Fauna en la región	38
Tabla 5 Distribución de la Población en SAR Tula	43
Tabla 6 Distribución de la Población por edades del SAR y ciudades principales	44
Tabla 7 Análisis comparativo de las tasas de crecimiento de la población	47
Tabla 8 Población por nivel educativo años de estudios en SAR	51
Tabla 9 Población por nivel educativo, y años de estudios en SAR Tula	52
Tabla 10 Características Económicas del SAR	56
Tabla 11 Las 10 actividades económicas más importantes en SAR – Tula	58
Tabla 12 Tasa de empleo a población	62
Tabla 13 Eslabones presentes en la fase de construcción: Personal ocupado (A)	66
Tabla 14 Eslabones presentes en la fase de construcción: Personal ocupado (B)	66
Tabla 15 Eslabones presentes en la fase de operación: Personal ocupado (A)	67
Tabla 16 Eslabones presentes en la fase de operación: Personal ocupado (B)	67
Tabla 17: Información que requiere las subrutinas del programa AERMOD para calcular la pluma de dispersión	81
Tabla 18. Usos del agua en la región	91
Tabla 19. Suministro de agua para consumo humano en el DR-03	92
Tabla 20. Principales canales de riego	93
Tabla 21. Acabados en los canales del distrito de riego 03	93
Tabla 22. Embalses	94
Tabla 23. Subcuencas	95
Tabla 24. Sitios de Monitoreo	102
Tabla 25. Lectura de Color en los Sitios de Monitoreo 2008	104
Tabla 26. Lectura de Turbiedad en los Sitios de Monitoreo 2008	104
Tabla 27. Límite Máximo Permisible Temperatura, NOM-001-SEMARNAT-1996	105
Tabla 28. Lectura de Temperatura en los Sitios de Monitoreo 2008	105
Tabla 29. Lectura de pH en los Sitios de Monitoreo 2008	106
Tabla 30. Límite Máximo Permisible DBO, NOM-001-SEMARNAT-1996	107
Tabla 31. Lectura de DBO en los Sitios de Monitoreo 2008	107
Tabla 32. Límite Máximo Permisible FOSFORO, NOM-001-SEMARNAT-1996	108
Tabla 33. Lectura de Fosforo en los Sitios de Monitoreo 2008	109
Tabla 34. Lectura de Nitratos en los Sitios de Monitoreo 2008	109
Tabla 35. Lectura de Sólidos Disueltos Totales en los Sitios de Monitoreo 2008	110
Tabla 36. Límite Máximo Permisible SST, NOM-001-SEMARNAT-1996	111
Tabla 37. Lectura de Sólidos Suspendidos Totales en los Sitios de Monitoreo 2008	111
Tabla 38. Límite Máximo Permisible Grasas y Aceites, NOM-001-SEMARNAT-1996	112
Tabla 39. Lectura de Grasas y Aceites en los Sitios de Monitoreo 2008	112
Tabla 40. Lectura de Conductividad en los Sitios de Monitoreo 2008	113
Tabla 41. Límites de conductividad marcada por la FAO	114
Tabla 42. Índice de cada parámetro	115
Tabla 43. Valor de Importancia de cada parámetro	116
Tabla 44: Cálculo de ICA en cada Sitio de Muestreo	116
Tabla 45. Principales contaminantes en el agua para consumo humano	122
Tabla 46. Principales plaguicidas utilizados en el distrito de riego 03	122

Tabla 47. Plantas de tratamiento de agua residual	122
Tabla 48. Balance del agua en la RMH.....	124
Tabla 49 Descarga contaminante. Abril 2002	124
Tabla 50. Residuos CRETIB en la zona del SAR.....	125
Tabla 51. Caracterización porcentual de los residuos sólidos municipales	131
Tabla 52. Población al año 2009 para estimar la generación de residuos.....	132
Tabla 53. Generación de residuos sólidos por municipio, 2009, factor 1.....	132
Tabla 54. Generación de residuos sólidos por municipio, 2009, factor 2.....	133
Tabla 55. Generación promedio de residuos sólidos por municipio, 2009.....	133
Tabla 56. Productividad agrícola en el Mezquital respecto a la media nacional	136
Tabla 57. Municipios comprendidos en el Distrito de Riego 03	136
Tabla 58. Superficies cubiertas, cultivadas y número de usuarios en el DR-03.....	137
Tabla 59 Relación de industrias dentro del S.A.R.	138
Tabla 60. Programas de Ordenamiento Ecológico en Hidalgo	145
Tabla 61. Índice de calidad ambiental.....	146
Tabla 62. Modelo de Ordenamiento Ecológico.....	147
Tabla 63 Unidades de gestión ambiental del POE Tula - Tepeji del Río	149
Tabla 64 Sistema de Áreas Naturales Protegidas federales	153
Tabla 65 Áreas Naturales Protegidas estatales	155
Tabla 66 Áreas Naturales Protegidas municipales.....	156
Tabla 67 Zonas Protectoras Forestales	156
Tabla 68. Cobertura del Plan Maestro	159
Tabla 69 Localidades próximas al predio de la nueva refinería.....	160

LISTADO DE ACRÓNIMOS

AI	Área de Influencia
ANP	Área Natural Protegida
BS₁KW	Clima semiseco subtipo templado con lluvias en verano
CdCO	Carbonato de calcio
CEPAL	Comisión Económica para América Latina
COEDE	Consejo Estatal de Ecología del Gobierno del Estado de Hidalgo
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CIEMAD	Centro Interdisciplinario de Investigación y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo del IPN
CINVESTAV	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN
CMM	Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos Sobre Energía y Medio Ambiente A.C.
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CONAZA	Comisión Nacional de las Zonas Áridas
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales protegidas

DEE	Dirección Estatal de Empleo de Hidalgo
DGCOEDE	Dirección General de la Comisión Estatal de Ecología de Hidalgo
DOF	Diario Oficial de la Federación
DR-03	Distrito de riego 03 Tula
DR-100	Distrito de riego 100 Alfajayucan
IMECA	Índice Metropolitano de Calidad del Aire
INAH	Instituto Nacional de Antropología e Historia
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
IPN	Instituto Politécnico Nacional
LGEEPA	Ley general de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
Mm³	Millones de metros cúbicos
MM	Millones
msnm	Metros sobre el nivel del mar
µg/m³	Microgramos por metro cúbico
NMP	Número más probable
NNE	Nor- noreste
NNO	Nor-noroeste
NO_x	Óxido de nitrógeno
NO₂	Bióxido de nitrógeno
NOM (NOM's)	Norma(s) Oficial(es) Mexicana(s)
NTK	Nitrógeno, fósforo y potasio
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PCB	Bifenilos policlorados
PE	Parque Estatal
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PM₁₀	Partículas menores a 10 micrómetros
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
POE (POEs)	Programa(s) de Ordenamiento Ecológico del Territorio
PST	Partículas suspendidas totales
RE	Reserva ecológica privada certificada
SAAM	Sustancia activa al azul de metileno
SAR	Sistema Ambiental Regional
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes del Gobierno del Estado de Hidalgo
SDR	Secretaría de Desarrollo Regional del Gobierno del Estado de Hidalgo

SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIC	Secretaría de Industria y Comercio del Estado de Hidalgo
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
SO₂	Dióxido de azufre
SSE	Sur sureste
SST	Sólidos suspendidos totales
STD	Sólidos totales disueltos
TPH	Hidrocarburos totales de petróleo
Ts	Roca ígnea extrusiva
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UAH	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
ZPE	Zona de Protección Ecológica
ZPECP	Zona de Protección Ecológica de los Centros de población

ANTECEDENTES

Como consecuencia del anuncio que en marzo de 2008 hiciera al pueblo de México el Jefe de Gobierno Mexicano para construir una nueva refinería en el país, en el mes de enero de 2009 Pemex Refinación le solicitó al Centro Mario Molina su colaboración para realizar un “Proyecto de investigación para la valoración de aspectos ambientales críticos en el desarrollo de infraestructura de refinación”; ambas partes acordaron desarrollar el Estudio en cuatro etapas sucesivas; en la elaboración de las dos primeras colaboró con el CMM, la empresa Especialistas Ambientales y en las dos etapas subsecuentes, en sus componentes socioeconómica y sociopolítica, el PNUD:

Etapa I. Desarrollo de una metodología integral de selección de sitios,

Etapa II. Aplicación metodológica de prueba,

Etapa III. Diagnóstico Ambiental y socioeconómico y,

Etapa IV. Definición de factores de viabilidad objetiva.

La primera etapa, que corresponde a la elaboración de una “*Metodología integral para la selección de sitios posibles para la instalación de infraestructura de refinación*”, fue concluida y entregada a Pemex Refinación en el mes de marzo de 2009.

La aplicación de esta metodología a ocho sitios posibles señalados por Pemex Refinación para la construcción de la nueva refinería, fue realizada y entregada en el mes siguiente, abril de 2009: Lázaro Cárdenas, Michoacán; Manzanillo, Colima; Minatitlán, Veracruz; Paraiso, Tabasco; Salamanca, Guanajuato; Salina Cruz, Oaxaca; Tula, Hidalgo y, Tuxpan, Veracruz.

La tercera etapa corresponde al diagnóstico, que inicio en el mes de abril y terminó en el mes de octubre; se desarrolló en dos periodos: el primero, en el plazo de cien días que Pemex Refinación estableció para definir el sitio de construcción de la Refinería Bicentenario: Salamanca, Guanajuato o Tula, Hidalgo; el segundo, posterior a esta fecha, se abocó al diagnóstico del sitio seleccionado en Tula. Durante el primer periodo, el CMM desarrolló los estudios de caracterización ambiental y el PNUD, de caracterización socioeconómica y sociopolítica, considerando para ello los polígonos proporcionados por Pemex Refinación con los sitios probables de ubicación de la nueva refinería. Durante este periodo, se trabajaron los siguientes productos:

- La caracterización ambiental y socioeconómica de los sitios posibles de instalación de una nueva planta de refinación en Salina Cruz, Oaxaca, Tuxpan, Veracruz y Salamanca, Guanajuato.
- La elaboración de una metodología para construir un Sistema Ambiental Regional (SAR), base para los estudios requeridos por la Autoridad en los manifiestos de impacto ambiental,
- El desarrollo de los SAR con sus respectivos Sistemas de Información Geográfica, para los sitios previamente establecidos por PEMEX Refinación, en Salamanca, Guanajuato; Tuxpan, Veracruz; y, Salina Cruz, Oaxaca.
- La elaboración de tres estudios de caracterización y diagnóstico generales para los sitios posibles de nueva infraestructura de refinación en Tuxpan, Veracruz; Salina Cruz, Oaxaca; y, Salamanca, Guanajuato, con mayor detalle en este último.

- La tipificación del entorno socioeconómico en las cuatro microrregiones y áreas de influencia de sitios potenciales preseleccionados para la construcción de la Nueva Refinería.
- La caracterización, diagnóstico y evaluación socioeconómica y sociopolítica de los cuatro sitios potenciales preseleccionados para la construcción de la Nueva Refinería.
- La integración de los sistemas de información económica y social en los cuatro sitios preseleccionados para la construcción de la Nueva Refinería.
- El diseño y construcción de un sistema de indicadores socioeconómicos en el área de influencia del proyecto de la Nueva Refinería en Tula, Hidalgo.

Al concluir el mes de julio de 2009 y cumplir el Gobierno del Estado de Hidalgo con los requisitos impuestos por el Gobierno Federal, Petróleos Mexicanos decidió construir la nueva refinería Bicentenario en la región de Tula Hidalgo, con un costo estimado de nueve mil millones de dólares y 300 mil barriles diarios de gasolina untra ligera a procesar.

Durante los siguientes cuatro meses, tanto el PNUD como el CMM continuaron los trabajos de diagnóstico en la Región de Tula, concluyendo los relativos a la región de Salamanca, mismos que fueron entregados en su oportunidad a Pemex Refinación.

A partir de esta etapa, en la que el Gobierno del Estado de Hidalgo hizo entrega a Pemex Refinación de los terrenos adquiridos para la Refinería Bicentenario, los principales productos generados fueron los siguientes:

- El diseño y construcción de un sistema de indicadores socioeconómicos en el área de influencia del proyecto de la Nueva Refinería Bicentenario.
- La construcción de un modelo de la derrama económica y social que generará la refinería Bicentenario.
- La realización del balance hidrológico en el SAR de Tula, Hidalgo, requerido para estructurar las recomendaciones para la Refinería Bicentenario.
- El diseño de la posible Cuenca Atmosférica que se verá potencialmente impactada con la infraestructura de refinación en Tula, Hidalgo.
- La construcción de modelos de difusión atmosférica de contaminantes en la cuenca atmosférica de Tula, Hidalgo.
- La construcción de escenarios ambientales derivados de propuestas de diseño alternativas para la Refinería Bicentenario.
- La construcción de modelos de derrama económica y social que cuantifican en diferentes escenarios los efectos que generará la refinería.
- El estudio de vocación de las localidades en el entorno del proyecto de la Nueva Refinería Bicentenario.
- El estudio de caracterización y diagnóstico ambiental específico para el sitio de la nueva infraestructura de refinación en Tula, Hidalgo.

También, bajo la coordinación de Pemex Refinación, el CMM participó en reuniones técnicas con diversas autoridades de la paraestatal, CFE, CONAGUA, Instituto Mexicano del Petróleo y Gobierno del Estado de Hidalgo, destacando por su relevancia las siguientes:

- Se participó en el Grupo de Trabajo interno constituido por Pemex Refinación y el Instituto Mexicano del Petróleo, para la definición del proyecto de Nueva Refinería.
- Se incorporó al grupo de trabajo constituido por Pemex Refinación para la integración de la Estrategia de Desarrollo Comunitario Sustentable para la Nueva Refinería de PEMEX.
- Con la Coordinación de Desarrollo Comunitario Sustentable de Pemex Refinación, se participó en el grupo de trabajo conformado por el Gobierno del Estado de Hidalgo para la ejecución del Plan Maestro para el Desarrollo Sustentable de la región de Tula.

El producto resultante de los trabajos realizados se presenta a continuación:

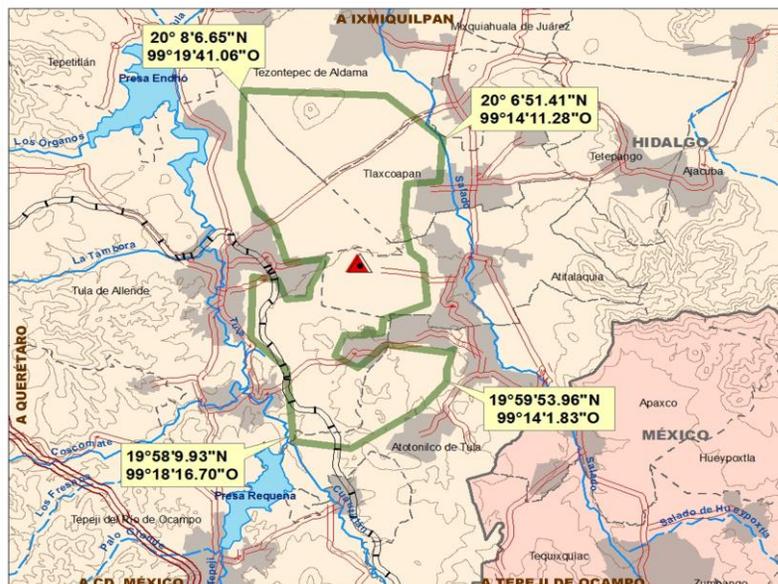
III. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICO

Capítulo primero: Tula de Allende

El área de interés definida por Petróleos Mexicanos corresponde a un polígono irregular de aproximadamente 10 Km de ancho por 18.5 Km de largo, orientado de norte a sur y que se localiza en el área que comprende una parte de los Municipios de Tula de Allende, Tezontepec de Aldama, Tlaxcoapan, Atitalaquia y Atotonilco de Tula, quedando delimitado por los ríos Tula, al poniente y salado, al oriente, con las siguientes coordenadas geográficas:

Al norte:	20° 8' 6.65" latitud norte	Al sur:	19° 58' 9.93" latitud norte
Al este:	99° 14' 1.83" longitud oeste	Al oeste:	99° 19' 41.06" longitud oeste

Figura 1 Localización



El acceso a la zona es a través de la carretera federal No. 85 (México-Laredo), que une a los poblados Arenal, Actopan, Caxuxi, Lagunilla, Patria Nueva, Yolotepec e Ixmiquilpan. La carretera México-Querétaro, por su salida a C.F.E.-Tula, conduce a Tula, Tlahuelilpan, Mixquiahuala y Progreso, uniéndose a la anterior en Ixmiquilpan.

1. Delimitación del área de estudio

1.1 Sistema Ambiental Regional para el área de Tula, Hidalgo.

La región de estudio comprende el medio en donde los fenómenos naturales y sociales ocupan un espacio amplio de manera continua en el contexto del sitio seleccionado para la nueva refinería Bicentenario; para la definición del Sistema Ambiental Regional (SAR) fue necesario definir un pedazo de esa realidad que constituyera en si mismo el Sistema y analizarlo por medio del estudio de sus procesos y elementos que lo conforman. Así, se describió su estructura dentro de la región sustentado en el análisis de diversos temas tanto del medio físico como socioeconómico; al resultado de este análisis se le denominó: Sistema Ambiental Regional.

El Sistema Ambiental Regional es un elemento relevante dentro de las manifestaciones de impacto ambiental, que constituye el contexto en donde se plantea llevar a cabo un proyecto de obra. Las guías de la SEMARNAT para las manifestaciones de impacto ambiental a nivel regional mencionan criterios para delimitar el SAR dentro de un territorio y proponen una serie de temas para describir sus características naturales y sociales; las guías señalan que debe elaborarse un diagnóstico y un pronóstico del comportamiento del SAR con escenarios a futuro; sin embargo, estas guías carecen de una definición explícita de lo que es un Sistema Ambiental Regional; no obstante esta ausencia, se entiende que su delimitación remite a un área con características naturales y socioeconómicas homogéneas del territorio, cuya permanencia depende de la conservación de las interacciones de mutua dependencia.

La representación del medio ambiente en derredor del sitio propuesto para la construcción de infraestructura de refinación de hidrocarburos que represente un Sistema Ambiental Regional es una labor compleja, dado que los factores naturales y sociales que pueden ser considerados son innumerables.

Un primer planteamiento para esta representación fue acotar el universo de estudio, tanto espacial como temporal, con criterios objetivos de delimitación. Sin embargo, en términos estrictos, cada fenómeno que se analiza del medio ambiente tiene su propio universo de acción; esto se puede ejemplificar si consideramos que una pequeña proporción de un contaminante del agua se puede difundir en cientos de kilómetros río abajo del sitio de su descarga y las emisiones contaminantes del aire se dispersarán por los vientos varias decenas de kilómetros. De igual manera, pero en un área menor, el ruido tendrá una dispersión más reducida y las zonas de riesgo por explosiones y sustancia tóxicas pueden estar cercanas al sitio seleccionado para la infraestructura petrolera de refinación o en los márgenes de estructuras lineales como los son los ductos.

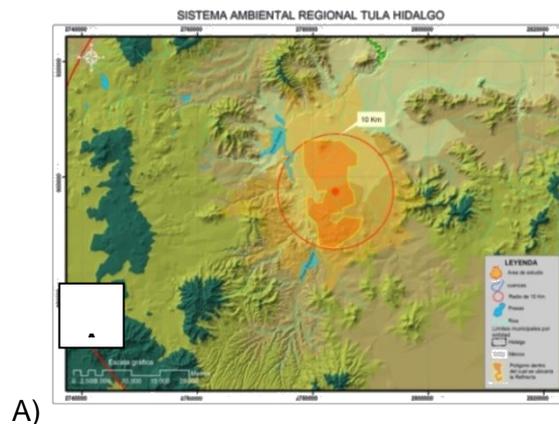
Así, los fenómenos mencionados tienen un ámbito particular de acción, difícil de definir a priori, pero con base en la experiencia de haber abordado otros proyectos semejantes y el análisis de la información disponible sobre el sitio de probable ubicación de infraestructura de refinación petrolera, se estableció la delimitación de dos universos espaciales de análisis: el primero fue el Sistema Ambiental Regional y el segundo, su área de influencia. En el sistema Ambiental Regional se abordaron los fenómenos más directos, vinculados a la implantación del proyecto y para la zona de influencia se trataron otros fenómenos de amplia dispersión, cuyo análisis requiere de un espacio mayor. En estos dos universos se ubicaron cada uno de los factores a considerar en el análisis de la información y cuando alguno de estos factores lo trascendió, se trató como una salida o intercambio con otro sistema o sistemas del entorno inmediato.

Para poder definir el Sistema Ambiental Regional y su área de influencia fue necesario definir un punto de origen para establecerlo como base de su delimitación. Al respecto, PEMEX proporcionó al Centro Mario Molina un polígono para la región de Tula, Hgo, dentro del cual se buscaría el sitio más conveniente para la infraestructura de refinación de hidrocarburos, el punto de origen para las definiciones de estas áreas se propuso en el centro del dicho polígono (a manera de su centro de gravedad).

Después de haber realizado la anterior, para la definición del Sistema Ambiental Regional, se trazó un círculo con un radio de 10 km desde el punto de origen, pues se estimó que dentro de esta distancia estaría el ámbito de los procesos ambientales más vinculados a la obras de infraestructura de refinación y también porque en esta área quedó contenido el polígono proporcionado por PEMEX donde se desarrollaría la búsqueda del sitio para la instalación de la infraestructura de refinación. Posteriormente, como esta área de estudio cuenta con el Programa de Ordenamiento Ecológico denominado Tula-Tepeji, el cual fue publicado por el gobierno del Estado de Hidalgo el 10 de junio de 2002, las Unidades de Gestión Ambiental (UGA's) de dicho programa se tomaron en cuenta para precisar más la delimitación del Sistema Ambiental Regional. Las unidades ambientales se sobrepusieron en un mapa al círculo de diez kilómetros y todas aquellas que estuvieron dentro o que tuvieron contacto con dicho círculo constituyeron los nuevos límites del Sistema Ambiental Regional de Tula. Por último, el polígono definido se comparó con los límites de los municipios de la región y se incluyeron aquellos que no ampliaran mucho la zona y fueran relevantes, tal fue el caso de los municipios de Tepeji del Río en Hidalgo. Lo anterior se consideró necesario dado que la información de muchos de los aspectos sociales y ambientales está sólo en el nivel municipal.

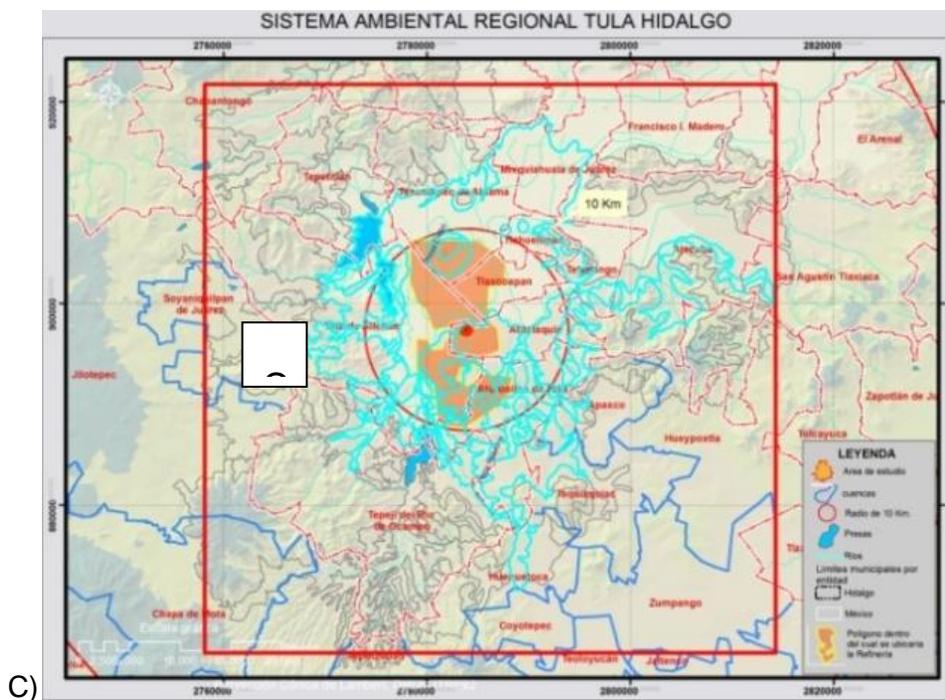
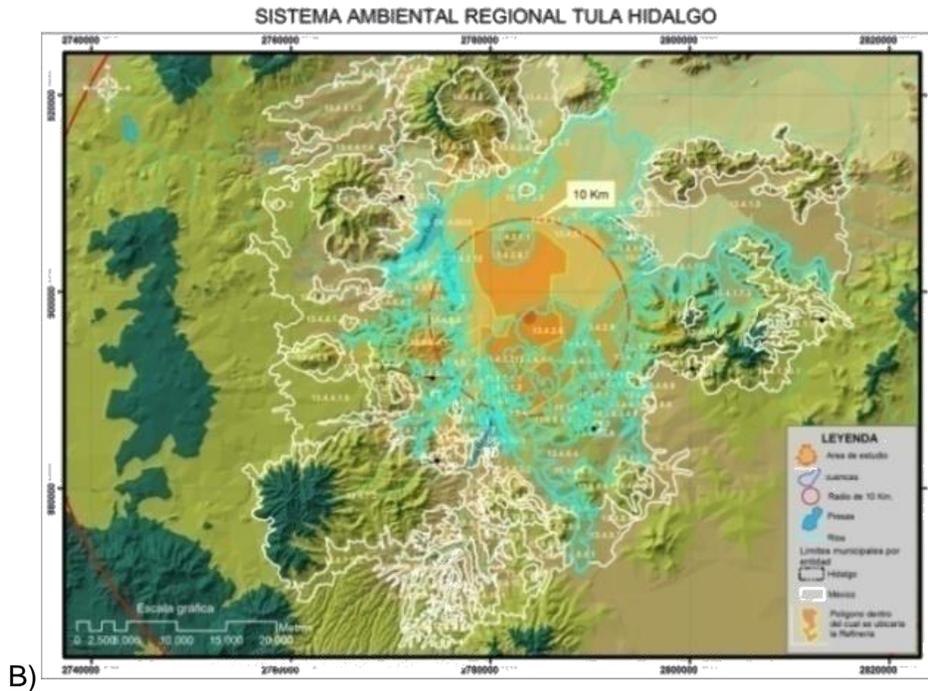
Si bien la zona definida para el Sistema Ambiental Regional puede ser un polígono irregular, el área a considerar en la representación cartográfica está delimitada por un rectángulo que contiene a este polígono.

Figura 2. Secuencia de pasos para delimitar el SAR con UGA's



La Figura 2. Secuencia de pasos para delimitar el SAR con UGA's. A muestra al centro el punto de origen, el polígono propuesto por PEMEX donde se buscará la ubicación de la infraestructura de refinación de hidrocarburos y el trazo de un círculo de 10 km; en la Figura 2. Secuencia de pasos para delimitar el SAR con UGA's B se muestra la sobreposición de las unidades ambientales del ordenamiento ecológico de la región de Tula-Tepeji, donde se marcó con un color diferente a las que tocan el círculo rojo que tiene un radio de 10 km; la Figura 2. Secuencia de pasos para delimitar el SAR con

UGA's.C muestra los límites municipales con una línea gris con puntos rojos para el Estado de Hidalgo y una línea azul para el Estado de México, en esta última figura un cuadro de color rojo delimita la extensión del mapa base en este sistema ambiental definido para la región de Tula.



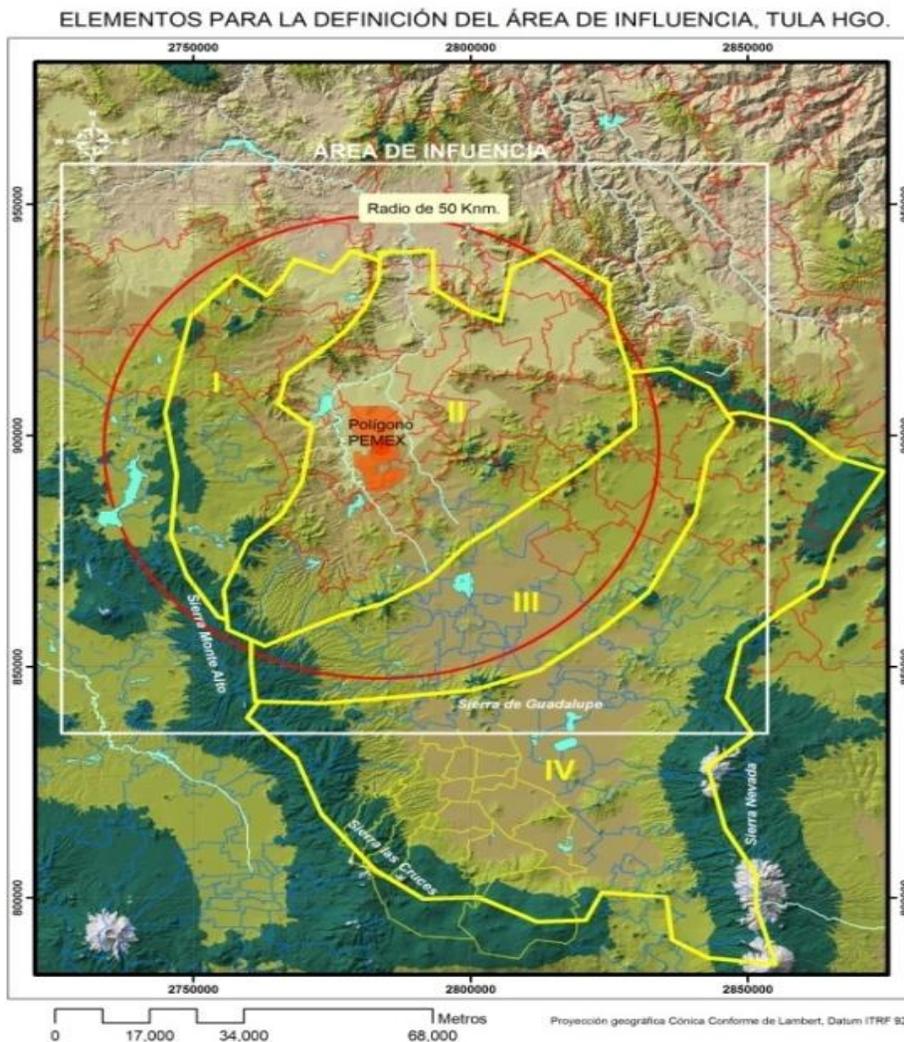
A: trazo de círculo con radio de 10 Km. B: sobreposición de unidades ambientales del Ordenamiento Ecológico. C. comparación con los límites municipales y delimitación del área que contiene el plano base.

1.2 Área de Influencia del Sistema Ambiental Regional

Para la delimitación del área de influencia se trazó un círculo de radio de 50 km, considerando el punto de origen, pues se estimó, con base en la experiencia, que en esta zona se podría dispersar la contaminación atmosférica de la nueva refinería. Después se consideró la extensión de las cuencas atmosféricas en el área con base en el relieve, manejando un modelo de elevación del terreno. Cabe mencionar que las cuencas atmosféricas definidas para el trabajo realizado fueron una versión preliminar, pero suficiente para establecerlas como otro criterio en la definición del “Área de Influencia del Sistema Ambiental Regional de Tula”.

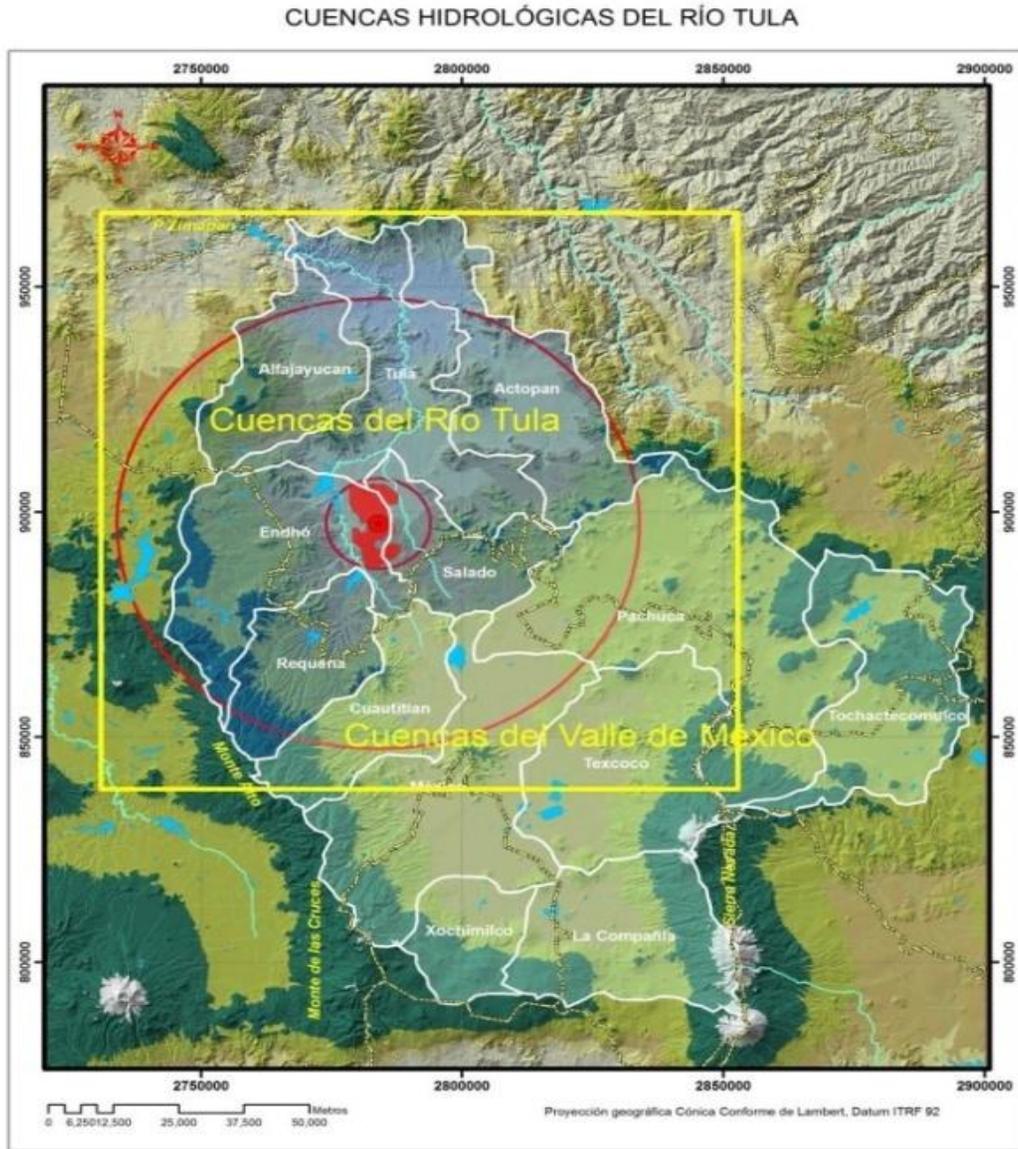
Posteriormente, para precisar aún más el área de influencia, se tomaron en cuenta las cuencas hidrológicas delimitadas por la Comisión Nacional del Agua, de tal manera que fueron consideradas sólo aquellas que coincidían de alguna manera con el círculo trazado, cuyo radio fue de 50 km.

Figura 3. Delimitación de la zona de influencia.



Trazo preliminar basado en las cuencas atmosféricas.

Figura 4 Delimitación del la zona de influencia (2)



Trazo final basado en las cuencas hidrológicas.

La Figura 3. Delimitación de la zona de influencia contiene una representación de modelo de elevación del terreno con las cuencas atmosféricas definidas, las cuencas y el círculo de 50 km. Así mismo la Figura 4 Delimitación del la zona de influencia (2) representa las cuencas hidrológicas consideradas en la definición del área de influencia y el cuadro amarillo sobre ella fue la zona considerada para la elaboración del plano base de esta zona.

Por último, las Figura 5. Mapa base del Sistema Ambiental Regional Figura 6 Mapa base del Área de Influencia representan los mapas base del Sistema Ambiental Regional para

la zona de Tula y para su Área de Influencia, definidos con el procedimiento y criterios aquí descritos.

Figura 5. Mapa base del Sistema Ambiental Regional

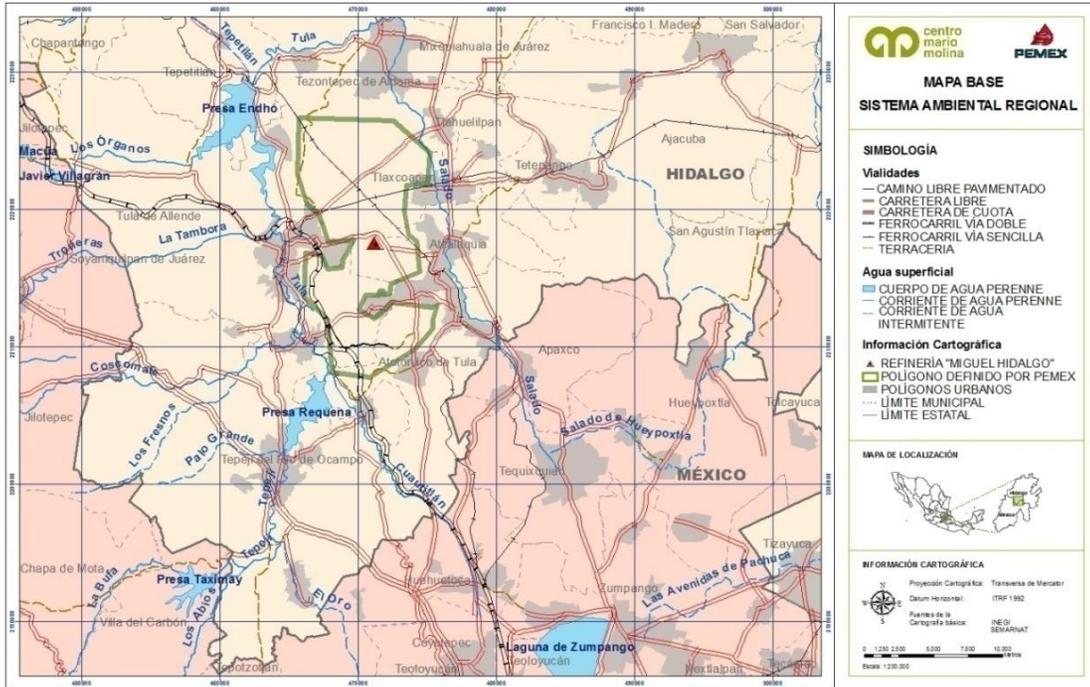
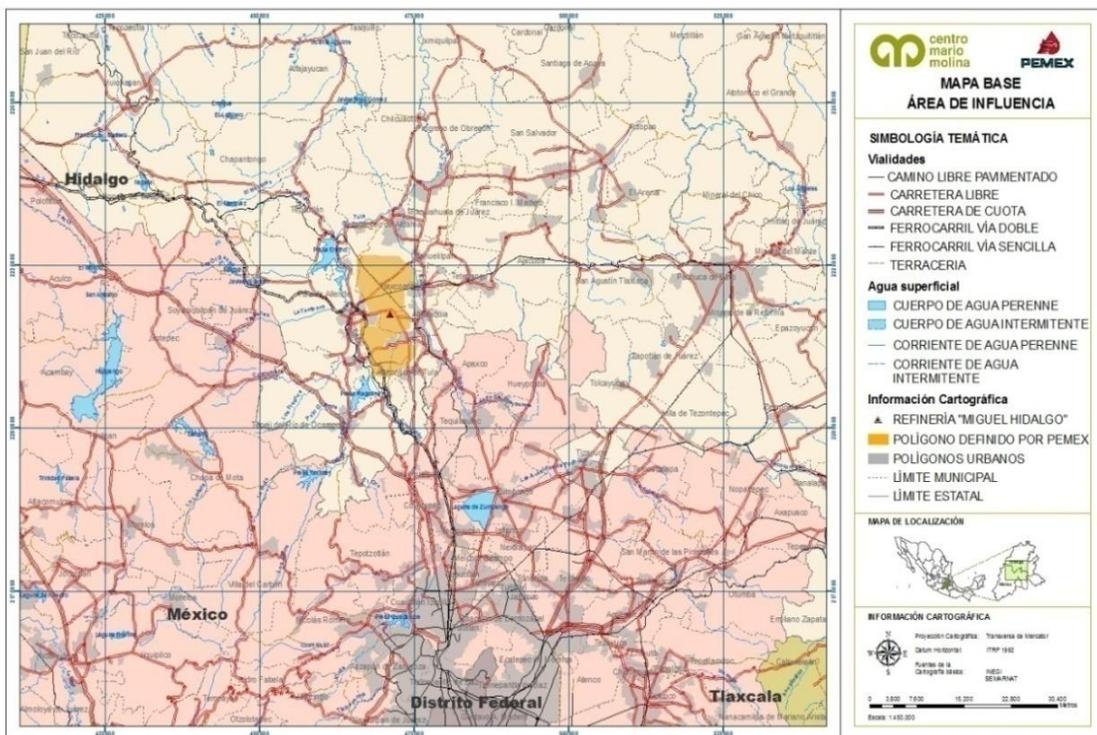


Figura 6 Mapa base del Área de Influencia



2. Descripción del medio físico-natural, biológico y socioeconómico del área de influencia del proyecto.

2.1 Medio físico

El área de estudio se caracteriza por corresponder a una zona con relieve semiplano, comprendida entre dos microcuencas principales: la del Río Tula, hacia el poniente y la del Río Salado, al oriente; este último río está catalogado por el INEGI como canal (y que de acuerdo con algunos autores corresponde a un agrietamiento natural), debido a que forma parte de las obras de infraestructura de desfogue de las aguas residuales provenientes del área metropolitana del Distrito Federal.

Esta zona se caracteriza por contener un corredor de lomeríos bajos de material volcánico y calcáreo de llanuras inferior a los 2.000 msnm. Fuera de ciertas prominencias dentro de dicho corredor, el valle queda prácticamente encerrado, desde todos lados, por sistemas de sierras, mesetas y lomeríos, casi todos de origen volcánico, que exceden los 2.000 m.

La porción norte del polígono estudiado corresponde a una topoforma plana con terrenos dedicados a la agricultura de riego y hacia el sur, a partir de la Refinería de Tula - localizada en la parte central del polígono-, la topografía se vuelve más abrupta, con terrenos escarpados asociados con terrazas en forma de escalones sucesivos, que son utilizados como cultivos de temporal asociados con pastizales, vegetación de matorral xerófilo, selva baja y asentamientos humanos. Estos últimos presentan la principal tendencia de crecimiento en la zona. De acuerdo con información generada por el Consejo Estatal de Ecología del Gobierno del Estado de Hidalgo, el área de estudio está zonificada dentro de la región ecogeográfica denominada Valle del Mezquital.

2.1.1 Clima

● Tipo

El clima que presenta la región de estudio es clasificado como BS1KW semiseco del subtipo templado con lluvias en verano, de acuerdo con la clasificación de Köppen.

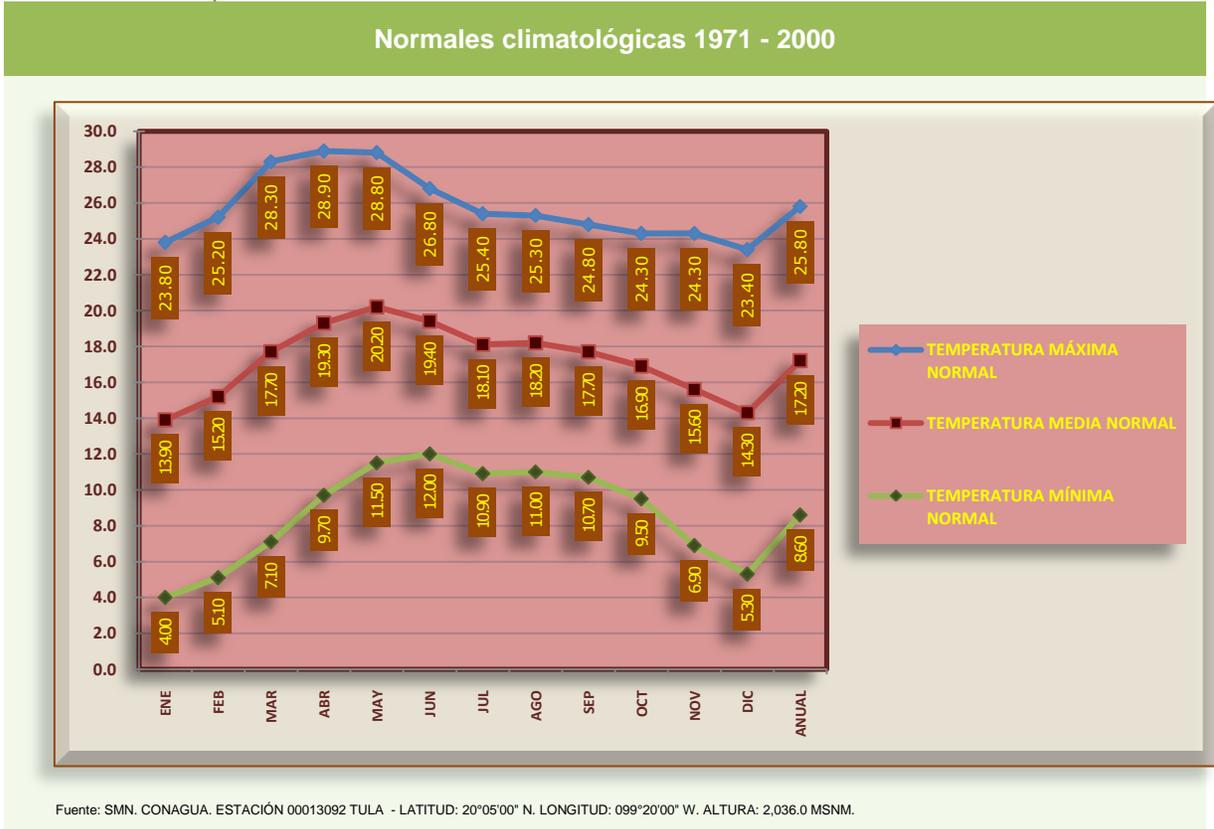
● Temperatura y precipitación promedio mensual, anual y extremas

Basado en la información generada por el Servicio Meteorológico Nacional¹ en la estación Tula, más próxima al sitio de estudio, la temperatura media anual que registró la zona en el periodo de 1971 a 2000 fue de 17.2°C, la temperatura máxima normal fue de 28.8°C, en el mes de mayo y la temperatura mínima normal de 4.0°C, en el mes de enero.

Por su parte, el Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región Tula - Tepeji señala que al analizar información meteorológica proporcionada por la CONAGUA se observaron variaciones de temperaturas y en evaporación en el periodo de 1951 a 1999, en las estaciones Tepeji, El Salto, Tezontepec, Tula de Allende, Mixquiahuala, El Progreso y El Banco, con un incremento en la temperatura de medio y hasta tres grados, que el Programa supone se debe a una reducción de la cobertura vegetal y a la ampliación de la frontera agrícola.

¹ Fuente: http://smn.conagua.gob.mx/productos/normales/estacion/catalogos/cat_hgo.html

Gráfica 1: Temperatura



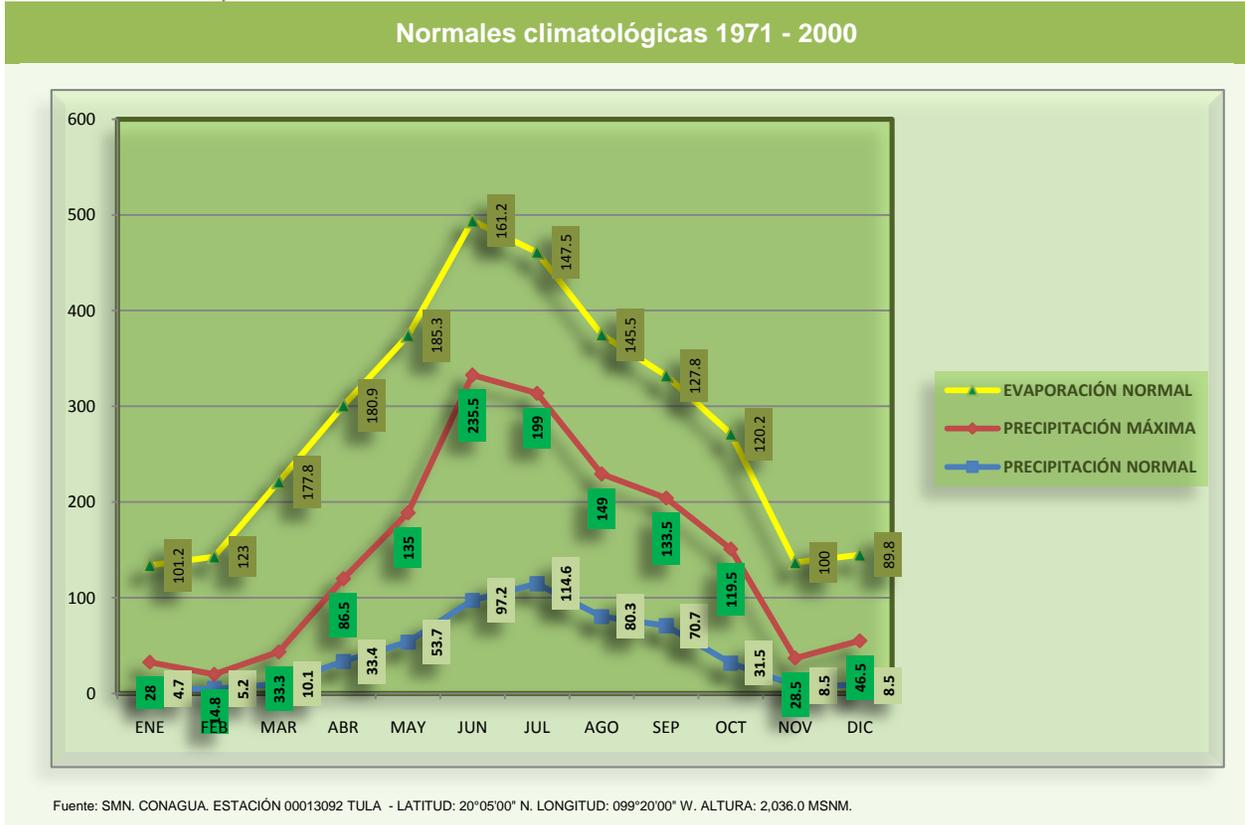
Precipitación

La precipitación normal reportada por el SMN para el mismo periodo de 30 años fue de 518.4 mm, inferior a los 1,660.2 mm registrados de evaporación, lo que ubica a la región de estudio en una clasificación de semiseco.

Evaporación

La evaporación media anual presente en la zona estudiada es mayor en la parte localizada al sur, cuyo rango se encuentra entre los 500 y los 900 mm, que en la parte ubicada al norte, cuyo rango de evaporación está entre los 100 y los 500 mm promedio al año.

Gráfica 2: Precipitación



Cuenca Atmosférica

Para poder determinar la dispersión de contaminantes en una zona, se requiere conocer las características de la cuenca atmosférica en la cual se ubica. Según Magaña², una cuenca atmosférica tiene un espesor uniforme de capa límite en toda su extensión y está delimitada por elevaciones montañosas o atributos naturales. Además, sus características de vientos dominantes en superficie tienden a ser similares; sin embargo, en algunos casos hay zonas dentro de la cuenca con un bajo nivel de ventilación o de estancamiento de flujo, las cuales afectan sus características meteorológicas de superficie.

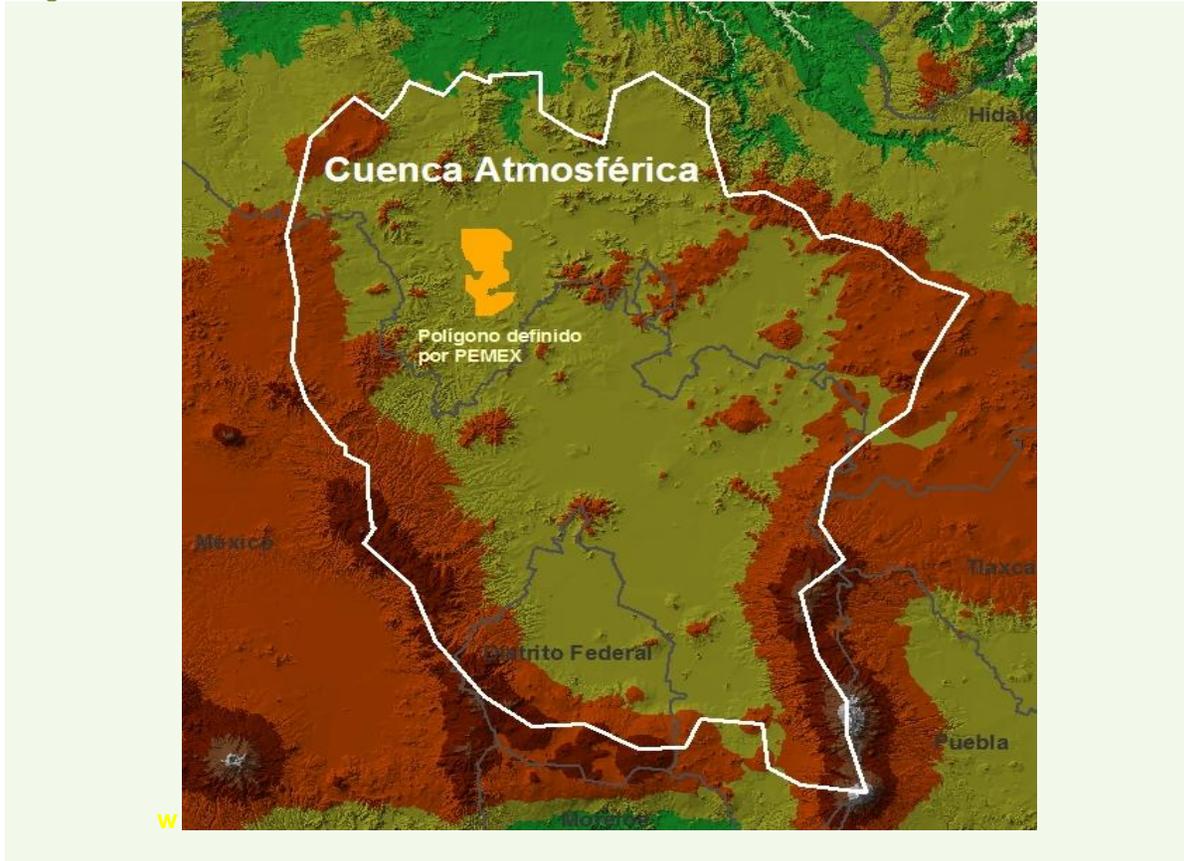
La cuenca simplifica el uso de algunos datos meteorológicos requeridos para modelar la dispersión de contaminantes de Tula al resto de la cuenca, porque se considera que tiene características uniformes en toda su extensión. La extensión de la cuenca definida en este proyecto está contenida en una de mayor extensión definida por Magaña.

La cuenca sobre el área de estudio abarca una superficie de 12,730 km² y está delimitada de la siguiente manera:

- Extremo sureste: municipio de Atlautla, Estado de México.
- Extremo noreste: municipio de Singuilucan, Estado de Hidalgo.
- Extremo noroeste: municipio de Chapantongo, Estado de Hidalgo.
- Extremo suroeste: delegación Tlalpan, Distrito Federal.

² V. Magaña y E. Caetano, *Identificación de cuencas atmosféricas en México*, INE, septiembre 2007.

Figura 7. Cuenca atmosférica



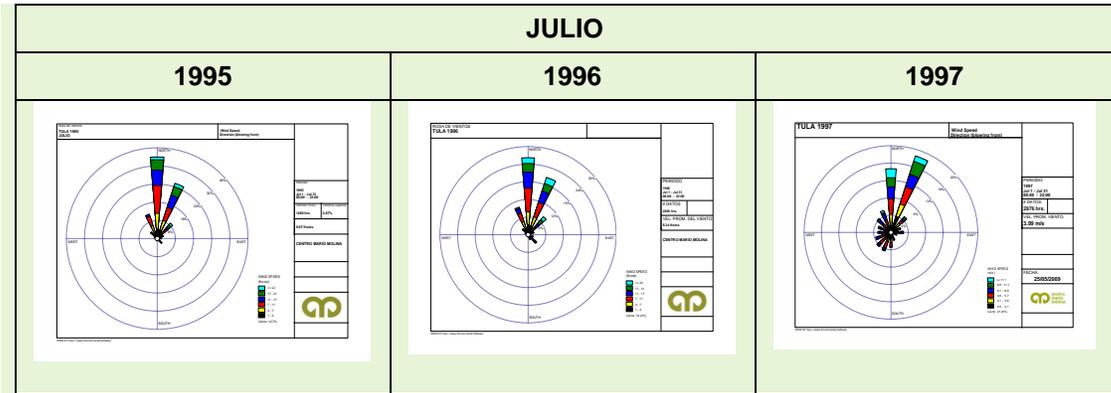
Fuente: Centro Mario Molina

● Vientos dominantes (dirección y velocidad) mensual y anual

La precipitación pluvial guarda una estrecha dependencia con la acción de los vientos de tipo cálido húmedo que proceden del Golfo de México y que al chocar con la ladera de la Sierra Madre Oriental, situada más al oriente de la región de estudio, se enfrían y precipitan sobre la Sierra Madre Oriental, descargando su mayor volumen en esa región montañosa, y cuando entran a la región de estudio se resecan.

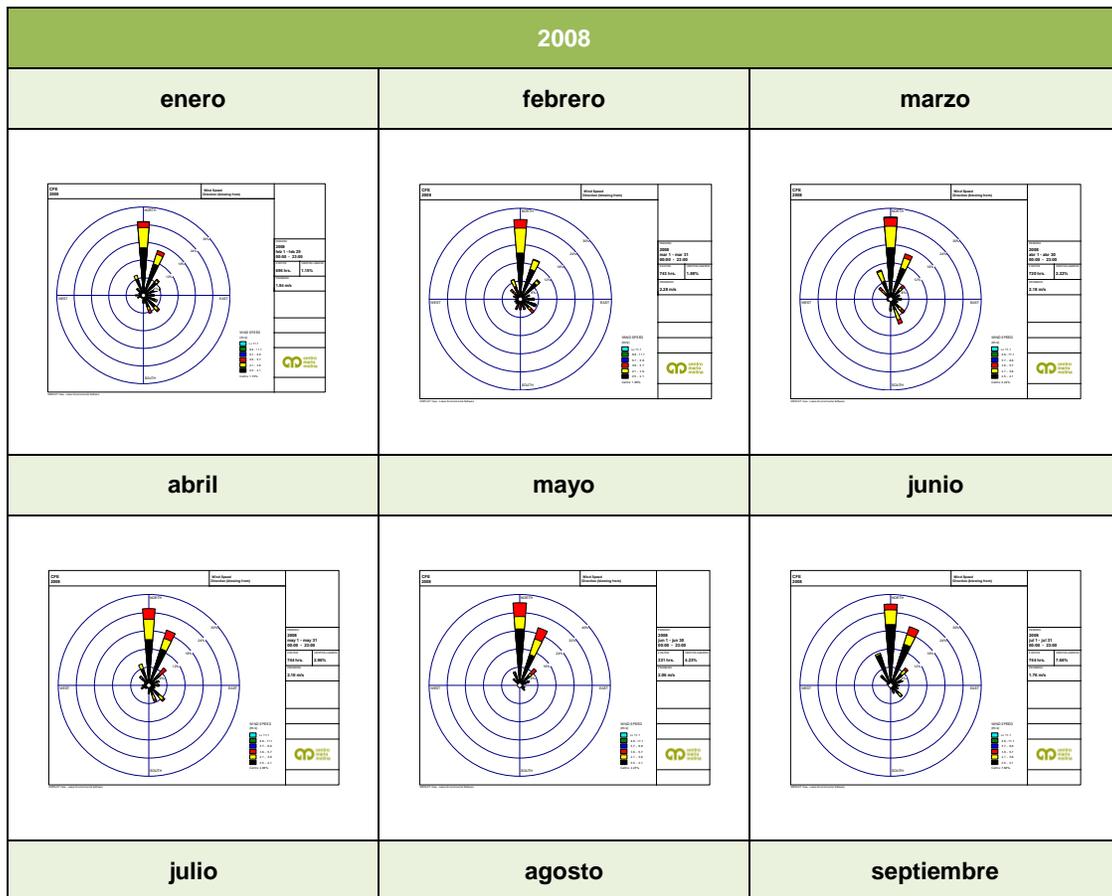
Figura 8. Vientos dominantes

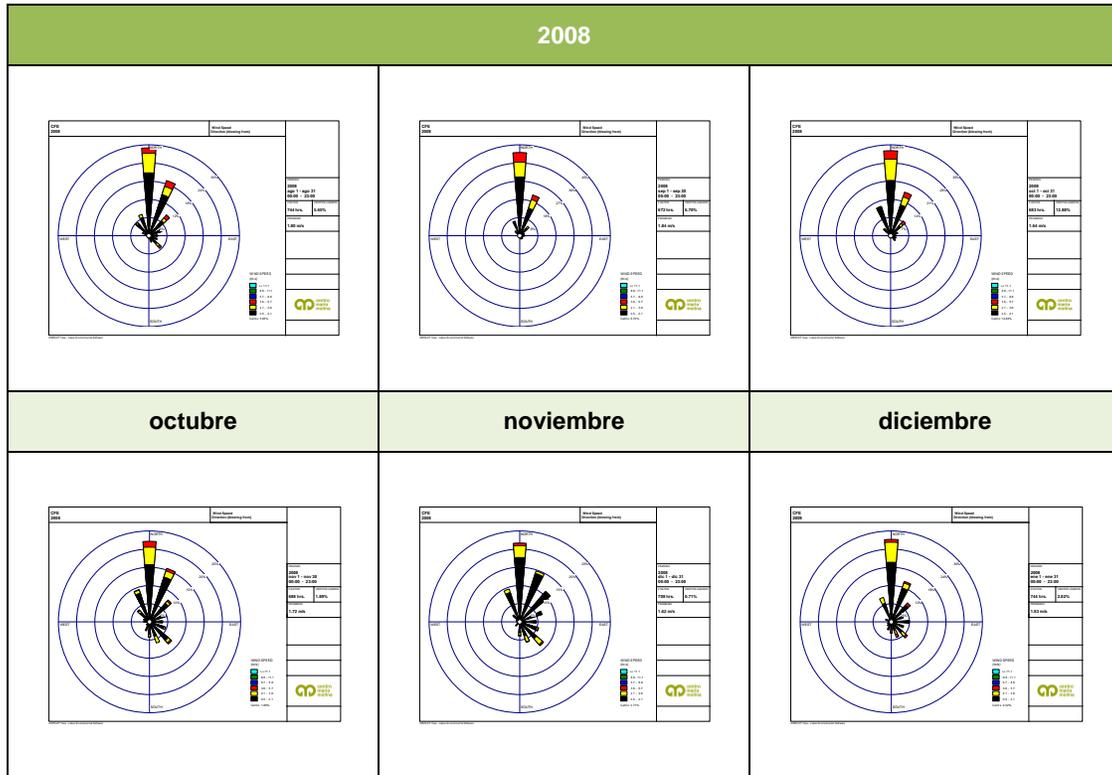




Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

Para poder determinar un patrón de vientos, se solicitaron datos meteorológicos a la Comisión Federal de Electricidad de su estación automática de monitoreo ubicada en la Termoeléctrica “Francisco Pérez Ríos”, en Tula, Hidalgo. Con los datos de velocidad y dirección del viento, de los años 1995, 1996 y 1997, se elaboraron rosas de viento donde se observa una tendencia clara de vientos predominantes dirección Norte-Sur, misma que se corresponde con el comportamiento mensual observado en el 2008.





Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

- Fenómenos meteorológicos

Según reporta la CONAGUA, la zona de estudio no presenta riesgos potenciales de contingencias mayores que pueda ocasionar la presencia de fenómenos meteorológicos, siendo éstos de baja intensidad.

De conformidad con los datos reportados por el SMN³, la ocurrencia del mayor número de días al mes con presencia de tormentas eléctricas, lluvia y niebla se da entre los meses de mayo y junio, asimismo, en los treinta años reportados no se tiene registro en esta estación de la presencia de granizo.

No obstante lo anterior, el estudio citado⁴ reporta que en el municipio de Tula de Allende se presenta este fenómeno con una frecuencia de 2 a 4 días al año y de unas 2 en el resto de las entidades geopolíticas de la región, situación que por su magnitud puede ser considerada como moderada, considerando que se tienen reportes de inundaciones ocurridas en la zona urbana provocadas por el desbordamiento del río Tula (julio del 2008⁵).

“En la estación de invierno, cuando la temperatura desciende a 0°C, en el área montañosa, hacia el oeste, se presenta la helada negra que es la que afecta a las plantas. Este fenómeno se localiza en varias franjas con las frecuencias siguientes:

En la franja este, que une los poblados San José Piedra Gorda y El Refugio existen heladas de 60 a 80 días por año.

³ Fuente: http://smn.conagua.gob.mx/productos/normales/estacion/catalogos/cat_hgo.html

⁴ Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región Tula – Tepeji. Junio 2002

⁵ <http://www.milenio.com/node/44557>; <http://www.diarioimagen.net/especiales/2008/100708/w9.pdf>

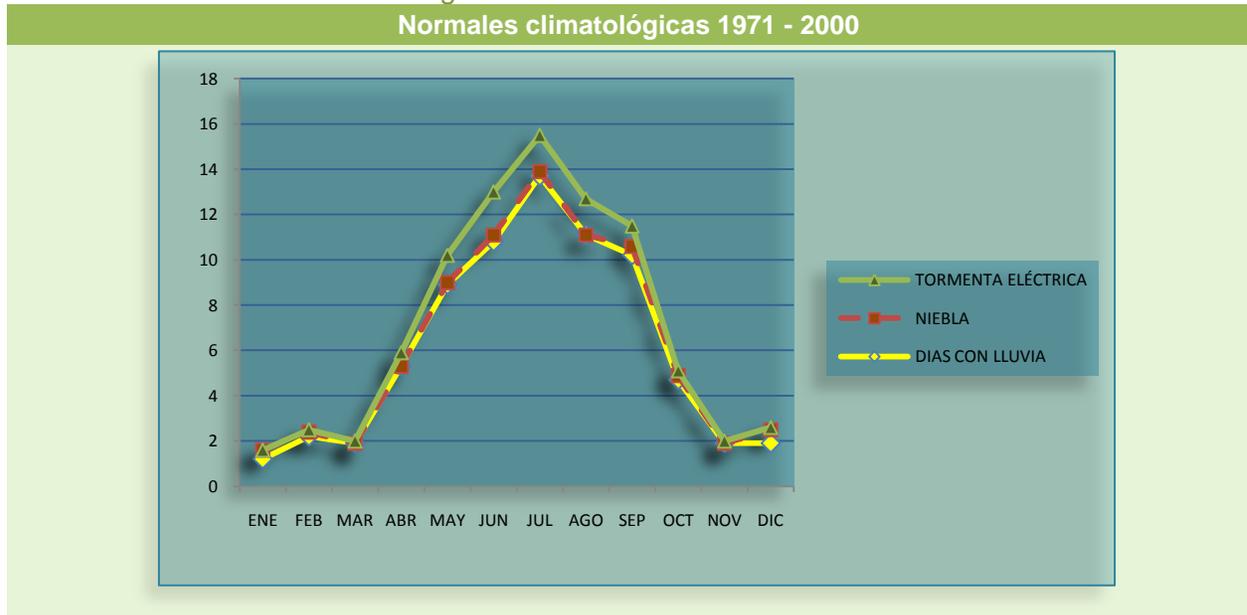
En la franja paralela a la anterior que une a Santa María Quelites y Atotonilco de Tula, hay heladas de 40 a 60 días al año.

Entre el poblado de la Viga, Tula de Allende y Tlahuelilpan las heladas se dan con la misma frecuencia anterior.

En la franja que une a los poblados siguientes: Tinajas, Tepeji del Río de Ocampo y Tlaxcoapan las heladas son de 20 a 40 días al año.

Otra zona con igual rango es el área alrededor de la presa Endhó, que comprende los siguientes poblados: Tezontepec de Aldama, Santa Ana Ahuehuepan, Michimaloya, la Joya y Xithi.”

Gráfica 3 Fenómenos meteorológicos



Fuente: SMN. CONAGUA. ESTACIÓN 00013092 TULA - LATITUD: 20°05'00" N. LONGITUD: 099°20'00" W. ALTURA: 2,036.0 MSNM.

- Huracanes y tormentas tropicales

Tabla 1. Presencia de ciclones tropicales en la región (1970 - 2006)⁶

Año	Origen	Nombre	Categoría	Periodo	Día Impacto	Velocidad Máxima
1999	ATLÁNTICO	DT2	DEPRESIÓN TROPICAL	2-3 JUL	3 JUL	55
1995	ATLÁNTICO	DT6	DEPRESIÓN TROPICAL	5-7 AGO	7 AGO	55
1993	ATLÁNTICO	GERT	TORMENTA TROPICAL (119 A 153 Km/h)	14-21 SEP	18 SEP (20SEP)	65 (148)
1990	ATLÁNTICO	DIANA	TORMENTA TROPICAL (154 A 177 Km/h)	4-8 AGO	5 AGO (7AGO)	110 (158)
1989	PACÍFICO	COSME	HURACÁN 119 A 153 Km/h	18-23 JUN	21 JUN	140
1988	ATLÁNTICO	DEBBY	HURACÁN 119 A 153 Km/h	31 AGO-8 SEP	2 SEP	120

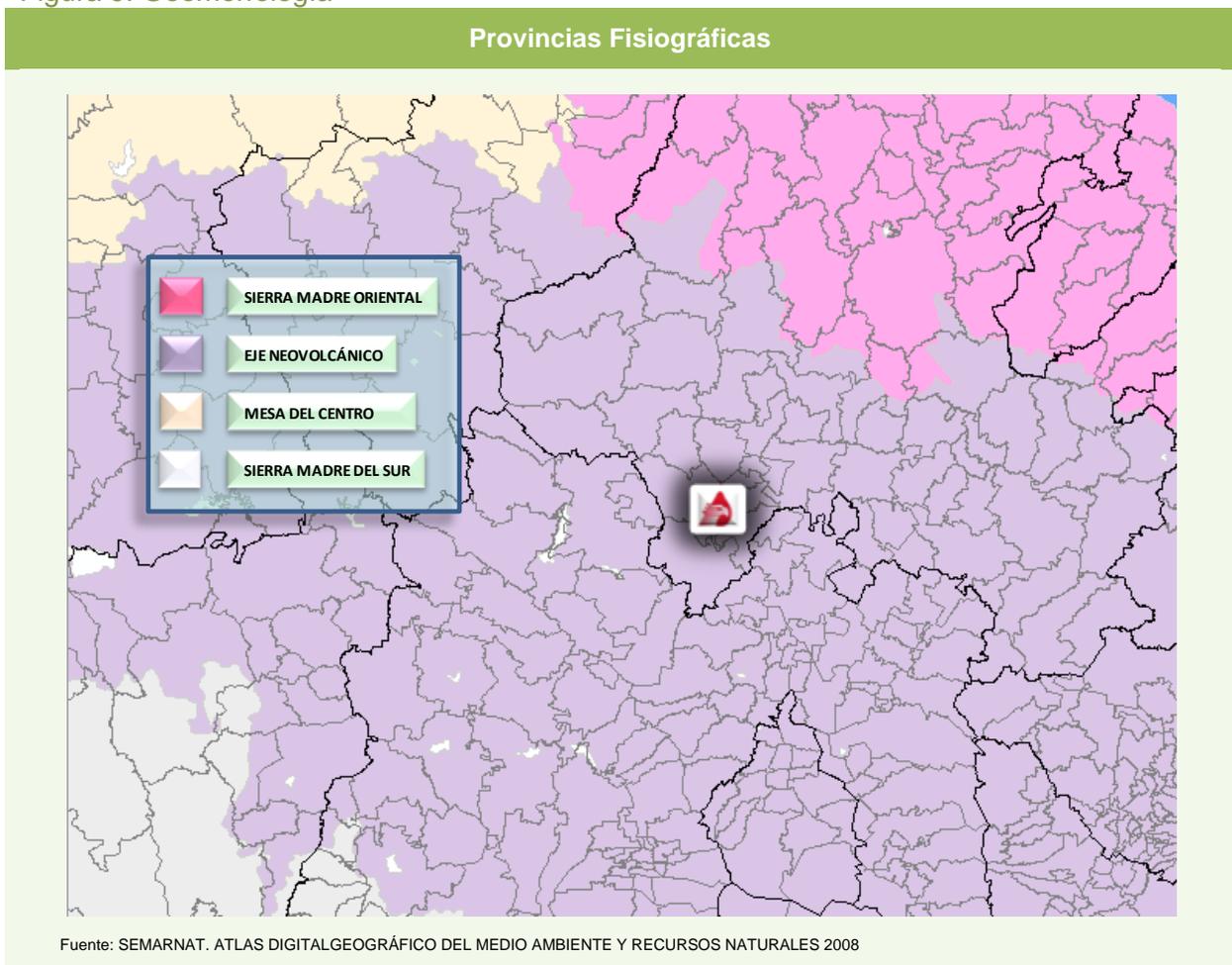
⁶ <http://smn.conagua.gob.mx/>

Debido a que el Estado de Hidalgo está asentado en una cuenca protegida por grandes elevaciones orográficas, el área de estudio no está expuesta a la presencia de huracanes intensos y la ocurrencia de ellos es baja, ubicado en un lugar 21 en presencia respecto a los demás estados, situación que desde esta perspectiva hace viable la instalación de la nueva refinería en el sitio.

2.1.2 Geología y geomorfología

La altiplanicie Mexicana domina gran parte del país y está dividida en dos zonas: altiplanicie septentrional y meridional, limitada en sus flancos este y oeste por dos cadenas montañosas que descienden de manera abrupta hasta estrechas llanuras costeras: la sierra Madre occidental al oeste y la sierra Madre oriental al este.

Figura 9. Geomorfología



Ambas sierras son interceptadas al sur por el eje o cordillera Neovolcánica Transversal, faja formada por montañas volcánicas que atraviesa el país de este a oeste por su parte central y que encierra por el sur la altiplanicie Mexicana; este eje contiene los picos más altos de la República. Al sur de la cordillera Neovolcánica se localiza la sierra Madre del Sur, la sierra Madre de Chiapas y la sierra Madre de Oaxaca. Al este, un brusco

descendimiento concluye en el istmo de Tehuantepec, parte más estrecha de México, que se encuentra entre el sur del golfo de México y el golfo de Tehuantepec.

La región de estudio se localiza en este eje neovolcánico, también conocido como “Franja Neovolcánica Transversal Mexicana”, “Meseta Neovolcánica” (Raíz, 1959) o, “Faja Volcánica Transmexicana” (Mooser, 1975), caracterizada por su origen netamente volcánico y por su orientación este – oeste respecto a la fosa de Acapulco. Presenta una altitud promedio de 2000 msnm.

Esta provincia cubre una porción del estado, sobre todo en el sur, y está constituida predominantemente por rocas volcánicas terciarias y cuaternarias (brechas, tobas y derrames riolíticos, intermedios y basálticos), de composición y textura variada, las cuales forman en conjunto un extenso y grueso paquete que en algunas localidades, como Pachuca, alcanza varios miles de metros de espesor.

Este conjunto ha sido superpuesto a las rocas sedimentarias mesozoicas por los fenómenos de vulcanismo. De estas últimas se encuentran algunos afloramientos que sobresalen en forma de cerros aislados en medio del dominio de las rocas ígneas, como en las localidades de Tula de Allende y Atotonilco de Tula, donde afloran cerros de caliza que tienen un uso industrial.

La morfología de esta provincia es variada, se presentan diversos tipos de estructuras volcánicas bien conservadas, como son: conos cineríticos, volcanes compuestos, volcanes escudo y calderas, además de extensos flujos piroclásticos y derrames lávicos basálticos, que tienen forma de mesetas y planicies sobre las que se han originado algunos lagos, debido al cierre de las cuencas. De este tipo de fenómenos quedan huellas en el lago de Tecocomulco.

La interacción entre el clima y la composición litológica de las rocas volcánicas se hace más evidente en las zonas húmedas, donde afloran extensos derrames de rocas basálticas que han sido alteradas profundamente por el intemperismo fisicoquímico y han desarrollado suelos residuales, de color rojizo, que indican una fuerte oxidación de minerales férricos contenidos en las rocas ígneas y en el agua.

El Valle del Mezquital se encuentra dentro de dos provincias fisiográficas:

- Sierra Madre Oriental y
- Eje neovolcánico (95% del Valle) se subdivide en dos subprovincias: Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo y Lagos y Volcanes de Anáhuac

Dentro de la subprovincia de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo se encuentra el valle del Mezquital que presenta un corredor, inferior a los 2.000 msnm, de lomeríos bajos de material volcánico y llanuras. Aparte de ciertas prominencias dentro de dicho corredor, queda prácticamente encerrado, desde todos lados, por sistemas de sierras, mesetas y lomeríos, casi todos de origen volcánico, que exceden los 2.000 m de altitud.

Esta subprovincia, formada en su mayor parte por sierras y llanuras, sustenta un mosaico edáfico más o menos homogéneo; sobre las sierras dominan los suelos someros y en las llanuras son generalmente profundos.

● Geología Estructural

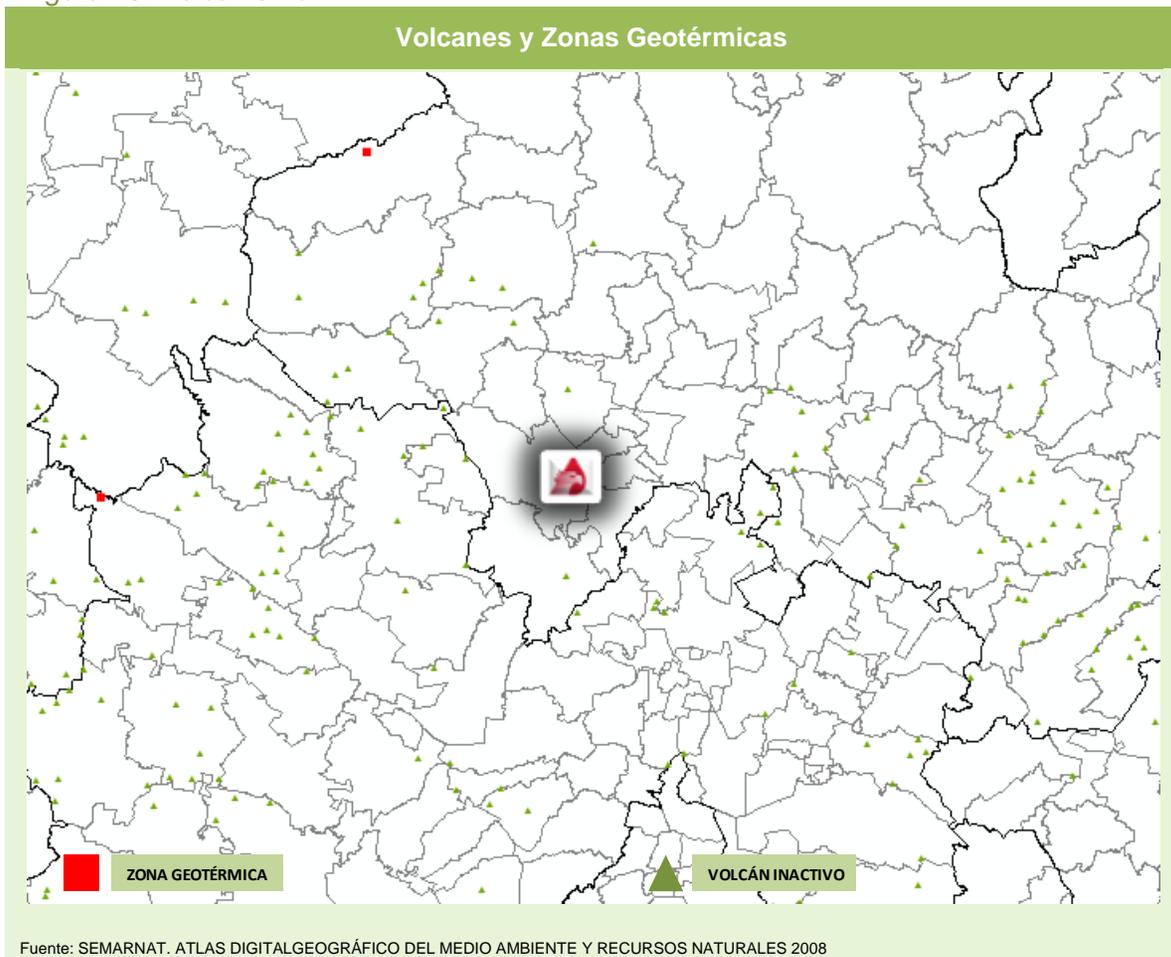
En el Eje Neovolcánico el relieve estructural original está íntimamente relacionado con una intensa actividad volcánica, iniciada a principios del Terciario y desarrollada durante el Pleistoceno Inferior. El conjunto de estructuras que caracterizan al relieve de esta provincia evolucionaron sobre una paleogeografía; constituida por sedimentos

mesozoicos plegados, los cuales correspondían a la Sierra Madre Oriental. La evolución de los fenómenos volcánicos propició las condiciones para la formación de cuencas endorreicas (cerradas, con drenaje interno), que posteriormente fueron rellenadas con aportes de materiales volcanoclásticos, los cuales tienen características litológicas de rocas volcánicas depositadas en un medio lacustre y aparecen estratificados. Algunas estructuras como la Caldera de el Astillero, cerca de Huichapan, son rasgos destruccionales del fenómeno de vulcanismo.

El área estudiada es parte de una planicie de morfología construccional, someramente fragmentada, en donde sobresalen cerros prominentes que corresponden a gran número de aparatos volcánicos inactivos. Se observan grados diversos de erosión en dichos volcanes y en otras prominencias de la misma naturaleza.

Junto con estos cerros se encuentran llanuras y cuencas formadas en gran parte por tobas arenosas y piroclásticas de la formación Tarango, rocas ligeras de consistencia porosa formadas por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños expelidos por los respiraderos durante una erupción volcánica, constituida en algunas porciones por rellenos aluviales y que de manera local llegan a formar sedimentos lacustres con cenizas volcánicas de grano fino o grueso.

Figura 10. Vulcanismo



En el caso del área en donde se localiza el proyecto en estudio, Las bajas pendientes del valle están compuestas principalmente de materiales clásticos con calizas lacustres, ceniza volcánica y derrames de lava⁷. Estos depósitos son asociados al Pleistoceno, sin embargo, en otros trabajos se les asocia con la edad Plioceno.

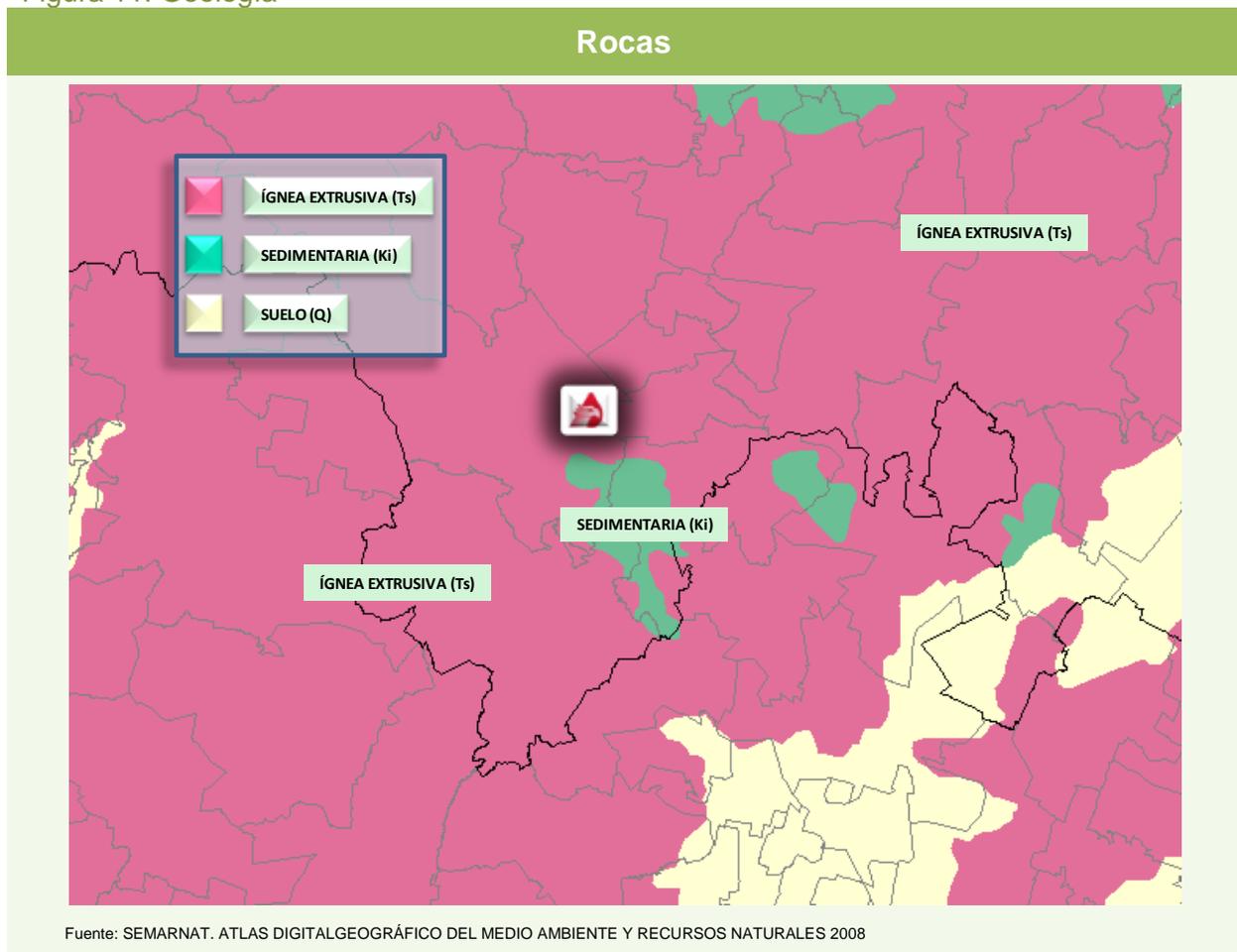
Las montañas al sur del valle están compuestas principalmente por derrames de lava del Holoceno al Reciente (clasificadas también como Plioceno). Esta secuencia está compuesta de arenas y arcillas con grava, lentes de ceniza volcánica, caliza lacustre y derrames de lava.

● Geología Económica

En esta provincia destacan por su producción los minerales no metálicos, que tienen una producción sobresaliente en territorio hidalguense. Son famosas por su producción las minas de caolín en Apulco y Agua Blanca, que llegan a aportar más del 50% de la producción nacional.

La caliza tiene un amplio uso en diferentes formas, así es notable la aplicación que de este material se hace en las plantas de Cementos Tolteca y Cementos Cruz Azul, que tiene grandes instalaciones en Tula de Allende y Atotonilco de Tula.

Figura 11. Geología



⁷ CONAGUA. Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica de la Gerencia de Aguas Subterráneas. DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO VALLE DEL MEZQUITAL, ESTADO DE HIDALGO. Abril de 2002.

Los procesos geomorfológicos han modificado el relieve estructural original de las provincias de Hidalgo; a diferentes escalas los deslizamientos de masas rocosas provocados por el fracturamiento y la fuerza de gravedad han derruido los grandes pliegues de fallas de la Sierra Madre Oriental y las estructuras volcánicas de la provincia del Eje Neovolcánico.

En la formación de la corteza terrestre se encuentran rocas ígneas de tipo extrusivo (Ts) - cenozoico: 60 millones de años- mezcladas con rocas sedimentarias, en donde predominan los basaltos, andesitas, arcillas y calizas, razón por la que la geografía económica clasifica la zona como región de minerales no metálicos, donde son explotados yacimientos de calizas dolomíticas, en reservas asociadas con sílice, caolín, calcita, arcilla, yeso y cuarzo, utilizados para la fabricación de cemento y cal y como agregados pétreos en la construcción.

Actualmente en Tula existen dos empresas cementeras (Cruz Azul en Hacienda de Jasso y Tolteca en San Marcos) y dos empresas caleras (Beltrán y Aculco); adicionalmente, el Municipio de Atitalaquia dispone de cuatro lotes de sustancias calizas concesionados para su explotación, con una superficie declarada de 41.97 Ha. En el Municipio de Atotonilco de Tula se tiene declarada para explotación comercial una superficie de 235.91 Ha, destacando entre sus empresas otra planta de Tolteca así como una calera, La Polar.

Como conclusión del estudio de las características físicas que presentan las grandes topoformas descritas en la región de estudio, se puede inferir que si bien la región no presenta restricciones geográficas que puedan resultar relevantes para limitar la realización del proyecto de edificación de la nueva refinería, si es recomendable su localización en las partes bajas de la llanura asociadas al entorno industrial que comprende la zona en que se localiza la actual refinería Miguel Hidalgo, que presenta un relieve sinuoso e improductivo, de tal forma que las partes fértiles y destinadas para la producción agrícola se conserven y protejan, buscando un sano equilibrio del proyecto con la vocación de uso del territorio.

● Características del relieve

El área que comprende el Área de Influencia del Sistema Ambiental Regional constituye un corredor inferior a los 2,000 msnm, de lomeríos bajos de material volcánico y llanuras, con la presencia de algunos montículos dentro del mismo. El corredor se encuentra prácticamente encerrado, desde todos lados, por un sistema de valles, sierras, mesetas, llanuras y lomeríos, casi todos de origen volcánico, que exceden los 2,000 msnm. El predio en donde se construirá la refinería presenta dos topoformas diferentes: el norte está constituido por una llanura, superficie plana de tierra, resultado de la erosión o de la deposición de materiales y, la parte localizada al sur, por un lomerío, elevación de tierra de altura pequeña y prolongada.

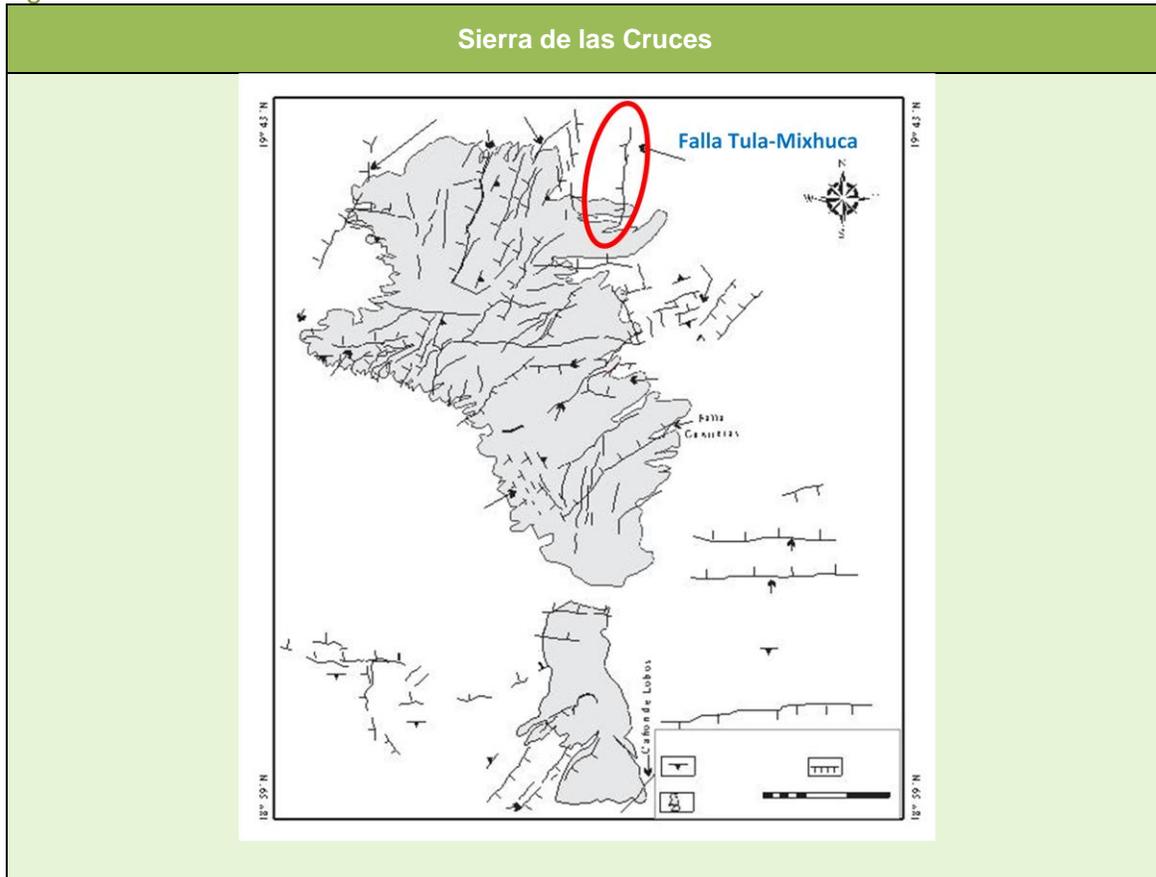
En la región más austral se encuentra la Sierra de Tepetzotlán y un poco más al sureste la Sierra de Guadalupe; hacia la parte este de la cuenca encontramos la serranía de Pachuca, con la Sierra Mineral El Monte y Mineral El Chico. Al norte se localiza el cerro Grande y próximo al mismo, el cerro Moctezuma; un poco más hacia el noroeste, el cerro La Estancia y hacia el oeste la sierra Las Cruces.

● Presencia de fallas y fracturamientos

El área de estudio en su porción oeste forma parte de la Sierra de Las Cruces, alineamiento del denominado Cinturón Volcánico Transmexicano, entre las cuencas de

México y Toluca. El sector norte de la Sierra, que considera el área estudiada, presenta resaltes topográficos generales por debajo de los 3,600 m y sólo en pequeñas cimas se alcanzan los 3,600 m, como en el Cerro La Paloma (3,720), Las Navajas (3,710), Nepeni (3,770) y Las Cruces (3,660). Está constituido por los volcanes La Bufa, "Rehilete" (Mooser, 1992), Iturbide y La Catedral, que en conjunto con otras estructuras presentan una orientación N40°W. En imágenes de satélite y fotografías aéreas se logra identificar importantes colapsos de los edificios volcánicos hacia el SE y una alineación de domos al NW. El emplazamiento de abanicos piroclásticos y lahares varía ampliamente, pero presentan su distribución hacia el NE y E, donde están influenciados de manera importante por estructuras volcánicas antiguas, así como por un control estructural como la caldera de Atizapan (Mooser, 1992), la Sierra de La Muerta (Jacobo-Albarrán, 1985), la Sierra de Guadalupe (García-Palomo et al., 2006b; Servicio Geológico Metropolitano, 2005 y, la Fosa Tula-Mixhuca (Alaniz-Álvarez y Nieto-Samaniego, 2005; García-Palomo y Guerrero- Orozco, 2006).

Figura 12. Localización de falla Tula-Mixhuca



“Una de las fallas importantes que pertenecen a este sistema geológico es la denominada falla Tula-Mixhuca (Mooser, 1992; Alaniz-Álvarez y Nieto-Samaniego, 2005; García-Palomo y Guerrero-Orozco, 2006) (Figura 12. Localización de falla Tula-Mixhuca). Esta es una amplia zona de deformación con dirección N-S a NNO-SSE localizada entre la ciudad de Tula, Estado de Hidalgo, y la porción sur de la cuenca de México, con una longitud aproximada de 80 km y un ancho de 30 km. Se define de acuerdo con la presencia, sobre los planos de falla, de brechas de hasta 3 metros de espesor, harina de falla, estrías verticales con escalones incongruentes en forma de media luna y estructuras RM (Petit,

1987), estructuras sigmoidales de diferente tamaño, separación de horizontes guía, truncamiento y alineación de estructuras volcánicas, basculamiento de capas y fuerte fracturamiento⁸.

Las fallas constituyen discontinuidades en las que un bloque se ha deslizado respecto a otro y las fracturas son superficies a lo largo de las cuales una roca o mineral se ha roto. (Superficies a lo largo de las cuales el material ha perdido cohesión). Las fracturas se distinguen por el movimiento relativo que ha ocurrido a lo largo de ellas durante su formación. En el plano de Geología anexo al estudio se señalan las fracturas presentes en el SAR.

- Susceptibilidad de la zona a: sismicidad, deslizamientos, derrumbes, inundaciones, otros movimientos de tierra o roca y posible actividad volcánica

- Sismicidad

El Programa Estatal de Protección Civil 2005-2011 en lo relativo a esta materia señala que, aún cuando el Estado de Hidalgo se encuentra entre las zonas de baja y mediana sismicidad, la región de estudio reciente la propagación de ondas provenientes de sismos independientes, sin que éstos generen alteraciones intensas. Asimismo, señala que otro factor que genera actividad sísmica son las fallas activas locales que con relativa frecuencia favorece la ocurrencia de microsismos, dada esta condición y con la finalidad de monitorear esta actividad se instaló una estación sismográfica en el municipio de San Salvador, que forma parte de la Red Nacional de Monitoreo Sísmico, misma que está localizada fuera del área de estudio, hacia la parte centro del estado y próxima a la ciudad de Actopan.

- Deslizamientos

No obstante que el Programa Estatal de Protección Civil refiere este problema hacia la parte de sierra localizada al noreste del estado y fuera del área de estudio, éste reviste regular importancia en la Región de Tula, si consideramos que una parte importante del área está conformada por suelos de origen kárstico que pueden ser inestables si pierden su vegetación original, mismos que están siendo aprovechados como bancos de préstamo de materiales o bien, que debido al cambio de uso del suelo son desprovistos de su vegetación natural, particular importancia habrá que tener en las áreas que presentan escalones con fuertes pendientes en el terreno.

- Hundimientos

Según reporta el Programa de Protección civil del Estado de Hidalgo 2005 - 2011, las regiones del estado en donde se presentan estos problemas se localizan al oriente y fuera del área de estudio: la capital del estado, así como los municipios de Mineral del Monte y Mineral de la Reforma, en donde debido a los 500 años de explotación minera, se ha propiciado que exista el potencial peligro de hundimientos.

- Vulcanismo

El programa de Protección Civil no reporta la presencia de algún fenómeno de esta naturaleza dentro del estado, sin embargo, su localización dentro del eje neovolcánico hace presente la vulnerabilidad de la región a estos eventos.

⁸ Armando García Palomo y otros. EL ARREGLO MORFOESTRUCTURAL DE LA SIERRA DE LAS CRUCES, MÉXICO CENTRAL, en Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, año/vol. 25, número 001 Universidad Nacional Autónoma de México.

- Inundaciones

El Estado de Hidalgo no se encuentra comprendido en la zona de mayor incidencia de ciclones tropicales, pero se ve afectado prácticamente todos los años por las intensas precipitaciones provocadas por la incidencia de los mismos. A raíz de los cambios climatológicos que se suscitan en todo el mundo, los fenómenos hidrometeorológicos que impactan en el territorio estatal, cada vez son de mayor intensidad y causan graves problemas a la población, según indica el Programa Estatal de Protección Civil.

Tabla 2 Susceptibilidad de la región a fenómenos naturales y sociales

EVENTO	AÑO/Nº DE EVENTOS					
	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Hidrometeorológico	27	13	29	38	52	44
Geológico	101	21	37	58	21	11
Químico	132	140	136	156	276	94
Sanitario	163	118	40	74	53	37
Socio/organizativo	16	19	9	7	11	8
Total	439	311	251	333	413	194

Fuente: Programa Estatal de Protección Civil 2005 - 2011

Uno de los fenómenos hidrometeorológicos más catastróficos reportado en los últimos cuarenta años, fue la Depresión Tropical No. 11 del sur del Golfo de México, que se registró el día 4 de octubre de 1999; originó intensas precipitaciones pluviales que afectaron a 60 municipios en el Estado; ocasionó en 33 de éstos daños mayores por inundaciones a consecuencia de desbordamiento de ríos, deslaves y derrumbes; predominaron los daños en los municipios de Metztlán, Tulancingo, Acatlán, Huehuetla y San Bartolo Tutotepec. En estos municipios fue necesaria la instalación de 31 albergues para atender a 5,250 personas afectadas.

2.1.3 Edafología

Los suelos constituyen la capa o conjunto de capas del terreno procedentes de la transformación de una roca madre subyacente o preexistente; formados a consecuencia de la actuación del complejo de factores en que figura e interviene la vida; sirve de sustrato a plantas, animales y al hombre; posee características de fertilidad, debido al proceso de meteorización y descomposición de rocas durante un tiempo geológico determinado. Se considera suelo agrícola cuando sus características permiten su explotación agro silvo pastoril.

● Tipos de suelos:

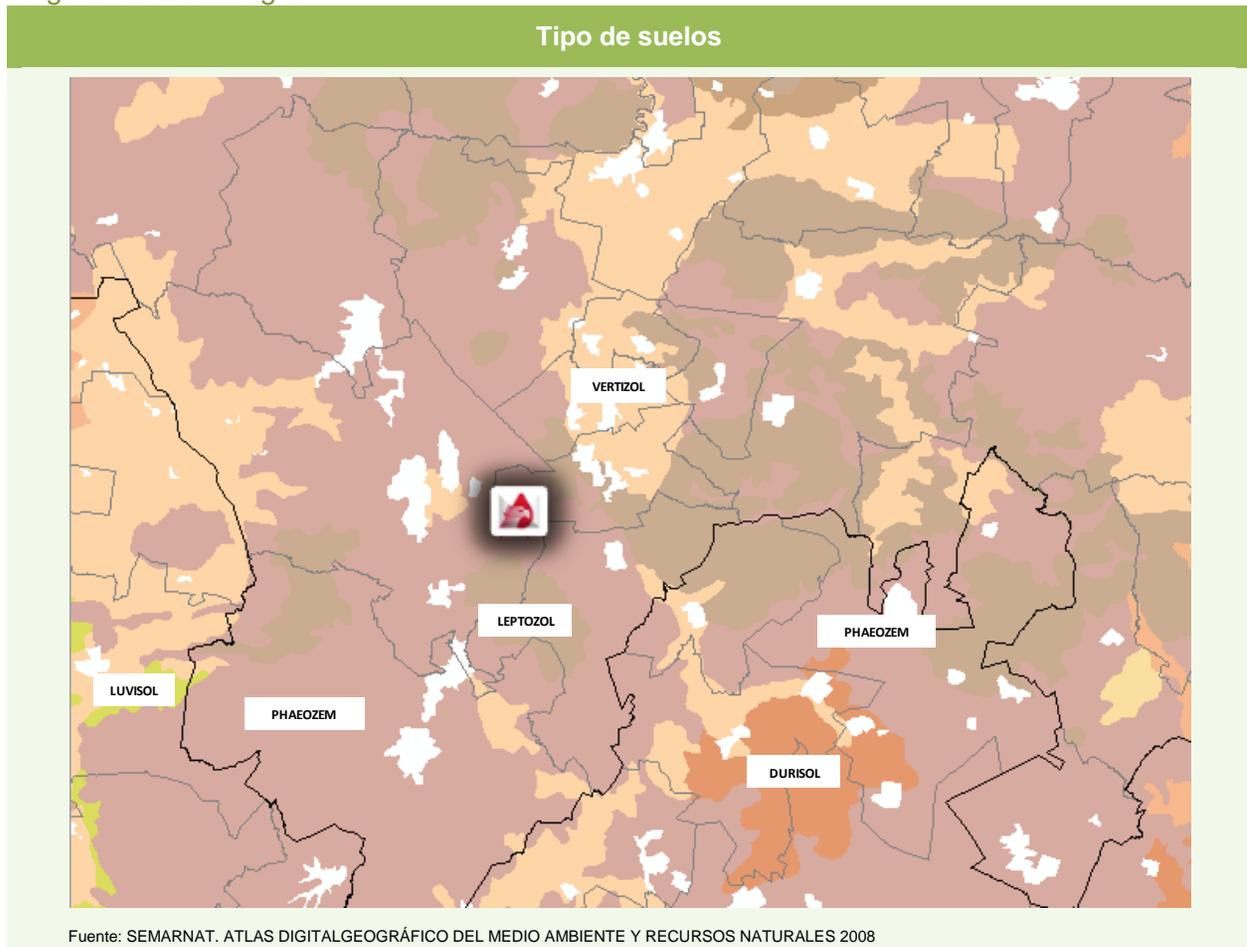
Con base en la clasificación del Sistema Referencial Mundial del Recurso Suelo (Reporte No. 84; FAO, ISRIC, ISSS; 1998), adaptado por el INEGI para México, una parte importante del territorio nacional está dominada por suelos del tipo Leptosol (28.3%) y Phaeozem (11.7%)⁹. Las unidades de suelos que predominan en el área de estudio son Phaeozem y, en menor medida Leptozoles y Vertizoles. También en el área de influencia de la región se localizan suelos tipo Luvisol y Durisol.

⁹ SEMARNAT. Atlas Digital Geográfico del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2008

Los suelos en la región, en general se caracterizan por ser secos, propios de climas templados, provistos de una escasa cubierta vegetal; la mesobiota abundante se reduce a algunos meses del año. El problema principal que presentan estos suelos someros es su vulnerabilidad a la desertización, producto de la erosión hídrica y eólica, incluso ocasionada por la actividad de deforestación y alta actividad ganadera (CONAZA, 1999). Con excepción del Leptezol, que puede ser destinado a pastoreo, por su fertilidad, los demás tipos de suelos son aptos para las labores de cultivo, por su alto contenido de humus¹⁰.

La subprovincia de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, que comprende al Valle del Mezquital, está formada en su mayor parte por sierras y llanuras; sustenta un mosaico edáfico más o menos homogéneo; sobre las sierras dominan los suelos someros y en las llanuras sus suelos son generalmente profundos, que son aprovechados para sostener una importante actividad agrícola de riego en los Distritos 03 (Tula) y 100 (Alfajayucan).

Figura 13. Edafología



- Feozem (Phaeozem).

Suelos muy fértiles y aptos para el cultivo, aunque sumamente proclives a la erosión eólica e hídrica; son profundos y ricos en materia orgánica; se desarrollan sobre todo en climas templados y húmedos, por lo que se encuentran recubriendo el Eje Neovolcánico

¹⁰ Impacto regional de la Refinería Miguel Hidalgo, en Tula de Allende, Hidalgo. Ángel Ángeles Nava. CIEMAD. Diciembre 2002.

Transversal y porciones de la Sierra madre Occidental. Este tipo de suelo está presente en la zona agrícola de los distritos de riego 03 y 100 pertenecientes al Valle del Mezquital

- Litosol (Leptosol).

Son suelos someros, pedregosos, poco desarrollados, que se encuentran en una gran diversidad de climas, aunque son particularmente comunes en regiones montañosas; estos suelos tienen una capa superficial rica en materia orgánica que les confiere un mayor potencial de aprovechamiento agrícola; en muchos otros casos, su poca profundidad y alta cantidad de rocas, los hace difíciles de trabajar e incluso el calcio que contienen puede llegar a inmovilizar los nutrientes minerales.

- Vertisol.

Están clasificados como suelos de baja evolución, condicionados por el material originario. Son suelos considerados de baja productividad agrícola para los sistemas de producción tradicionales debido a su bajo contenido de fósforo; contienen más del 30% de arcilla en todos sus horizontes; en varias épocas del año muestran grietas ó fisuras y ocasionalmente presentan micro relieves rítmicos de altibajos comúnmente denominados gilgai; hecho que constituye el aspecto externo del movimiento en masa debido a la contracción y expansión del material arcilloso, facetas de presión y estructura masiva, que indican el poco desarrollo del suelo.

2.1.4 Hidrología

● Hidrología superficial

El área de estudio se localiza en la región hidrológica No. 26, denominada Río Pánuco (Alto Pánuco); corresponde a la Vertiente oriental o del Golfo; tiene como uno de sus principales afluentes a este río, que aguas arriba se denomina Río Moctezuma; a esta cuenca pertenece el Valle de México.

- Cuenca del río Moctezuma.

Ocupa una superficie dentro del Estado de Hidalgo de 19, 793.60 km²; tiene como corriente principal al río Moctezuma, que se origina en el cerro La Bufa, Estado de México, a 3,800 m.s.n.m. En su inicio se denomina San Jerónimo. El río Moctezuma recibe los aportes de la cuenca y zona lacustre más importante del país, en el Valle de México, en la Meseta de Anáhuac; sirve como canal de desagüe para el drenaje profundo de la ciudad de México.

La cuenca alta del Río Moctezuma se abastece de los aportes de los ríos Tula y Salado. Subcuencas que delimitan el área de estudio; este último clasificado como canal por el INEGI. Esta cuenca reviste gran importancia tanto por su extensa superficie y la cantidad de afluentes que alimentan sus corrientes principales, como por los distritos de riego que se ubican en ella, de los cuales destaca el de Tula que, después de los del norte de la República, es uno de los más importantes del país.

- Subcuenca del río Tula.¹¹

La subcuenca del Río Tula tiene una superficie de 2129 km² y 330 km, de longitud; nace en la Sierra la Catedral en el Estado de México, en el parteaguas de la Cuenca del Río Lerma, bajo el nombre del Río San Jerónimo; al llegar a la presa Taximay cambia su

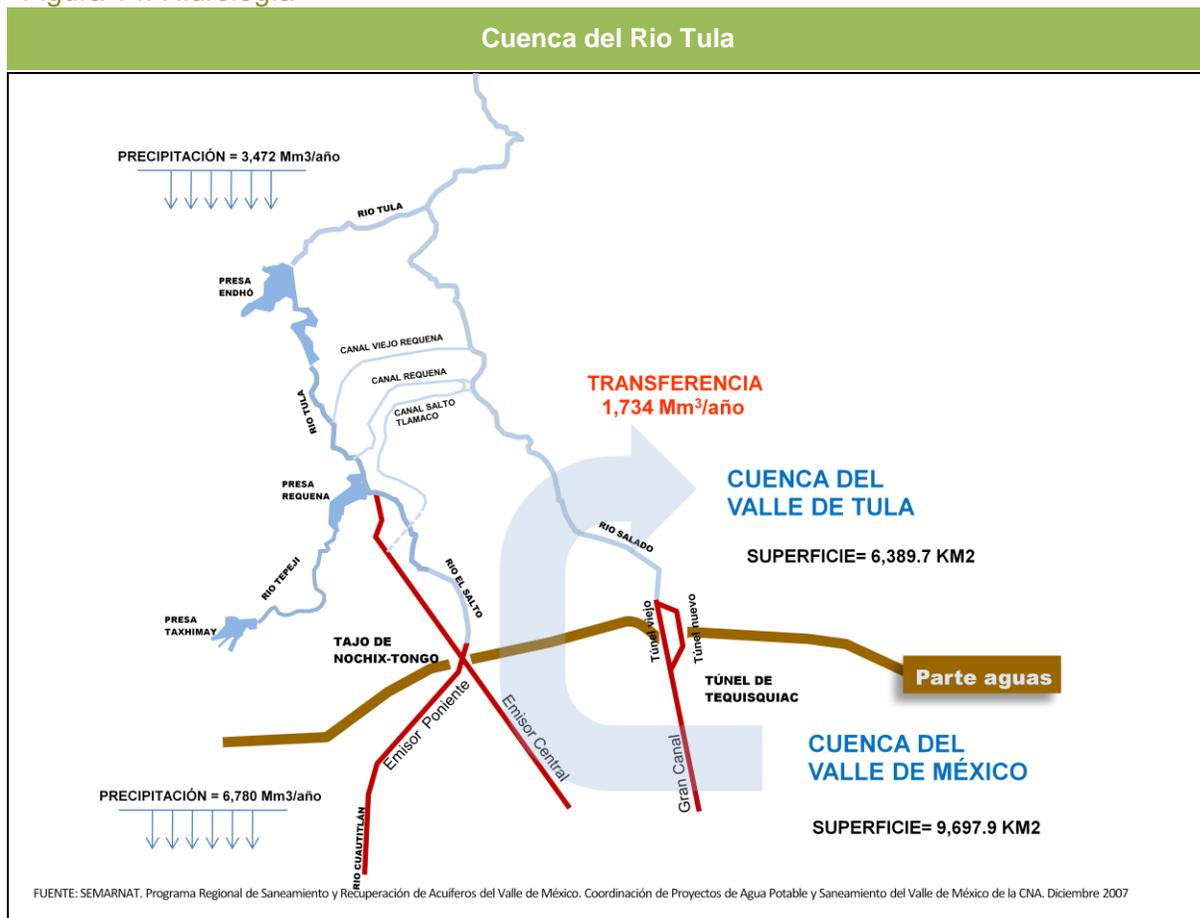
¹¹ Ob cit. Ordenamiento Ecológico

dirección al N-NE y su nombre por el de Río Tepeji; aguas abajo lo intercepta la presa Requena para controlar sus descargas; en este punto cambia su nombre al de Río Tula; en las inmediaciones de la Cd. de Tula el río descarga sus aguas a la presa Endhó y toma una dirección N-NE hasta llegar a Mixquiahuala de Juárez, donde tiene un recorrido irregular; pasa por Tezontepec de Aldama y continúa hacia el norte por el Valle del Mezquital; las aguas de esta corriente riegan el Distrito No. 03. En la región el Río Tula es la corriente fluvial principal.

A este río principal llegan las corrientes: Las Rosas, Manzanillas, El Sabino, Hacienda Vieja, Las Palmas, Tepetitlán, San Lorenzo, La Matanza y El Salado, mismas que a pesar de presentar niveles altos de contaminación se utilizan en parcelas de riego y abrevaderos.

El distrito de riego de Tula está ubicado en la porción suroeste del Estado y se abastece de los ríos San Luis, Tepeji, El Salto y Tula; así como de los volúmenes almacenados por las presas Taxhimay, del estado de México, Requena y Endhó, de Hidalgo. Además, una considerable cantidad de hectáreas son irrigadas por grandes volúmenes de aguas negras provenientes del Valle de México. Sin embargo, existen grandes pérdidas de agua, debido a las filtraciones por falta de revestimiento y cuidado de los canales¹².

Figura 14. Hidrología



¹² INEGI. <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=geo&e=13>

- Subcuenca del río Salado.

El río Salado se origina en el Cerro El Epazote con el nombre de arroyo Tenguedó, cerca de la población de Hueyboxtla, toma este nombre hasta llegar a la confluencia con el túnel Tequixquiac, en donde cambia su nombre por el de Río Salado; en este punto recibe aportaciones de aguas negras provenientes del Gran Canal de Desagüe de la Ciudad de México; parte de estas aguas se derivan hasta el Distrito de Riego 03, pasando por los poblados de Tequixquiac, Apaxco, Atotonilco de Tula, entre las poblaciones de Cardonal y Atitalaquia, así como, por el punto medio de Doxhey y Tlaxcoapan; aproximadamente a un kilómetro de Tlahuelilpan y hacia el norte de Tezontepec de Aldama se une al río Tula. Los arroyos Hueyboxtla, La Noria y El Zarco son tributarios de esta corriente perenne.

A partir de los aportes que recibe este río provenientes del Gran Canal de Desagüe y del Dren General del Valle de México, este río funge como un sistema con dos canales principales de derivación: canal Juandhó y canal Dendhó, el primero de estos está construido en tierra y el segundo se encuentra parcialmente revestido, desde el inicio hasta el poblado de Mixquiahuala; parte de esta agua sirve para generar energía eléctrica en la termoeléctrica Juandhó. Un efluente de este río es el Río Chicvasco; los escurrimientos superficiales que se originan dentro de la cuenca hidrográfica son captados por el Río Chicvasco y conducidos fuera del área.

● Hidrología subterránea

El área de estudio se encuentra localizada dentro del acuífero denominado Valle de Mezquital, acuífero clasificado por la CONAGUA con disponibilidad de agua subterránea, publicado en el Diario Oficial de la Federación.

La recarga del acuífero se debe a la infiltración directa del agua pluvial sobre las unidades geológicas permeables, principalmente la que se infiltra a lo largo de las corrientes de los ríos y arroyos existentes. La zona de captación más importante se localiza en la estibación de la Sierra en las partes altas del Valle del Mezquital, donde los materiales son más permeables y facilitan la penetración del agua; otra forma de recarga del acuífero es la inducida, se produce principalmente por infiltración de los excedentes del agua de riego en el Distrito de Riego 03; también la recarga se da por infiltración de los escurrimientos superficiales de los ríos Tula y Salado en la porción sur, y por el arroyo Chicvasco y Río Actopan en la porción noreste, entre otros.

En un estudio elaborado por la CONAGUA se encontró lo siguiente¹³: *“Las principales unidades hidrogeológicas detectadas en este acuífero son: Aluvión y Materiales clásticos, Derrames de lava del Terciario y Calizas del Cretácico Superior; los derrames de lava constituyen la unidad acuífera más importante y es la principal fuente de agua subterránea; tiene un espesor variable, debido a que presenta una permeabilidad de media a alta por fracturamiento.*

¹³ Susana Gutiérrez Ángeles y otros. Aplicación de un Modelo Hidrogeoquímico en el Valle del Mezquital, Hidalgo. CONAGUA, Gerencia Regional de Aguas del Valle de México, Gerencia Técnica. Sin fecha.

Figura 15 Acuífero

Valle del Mezquital

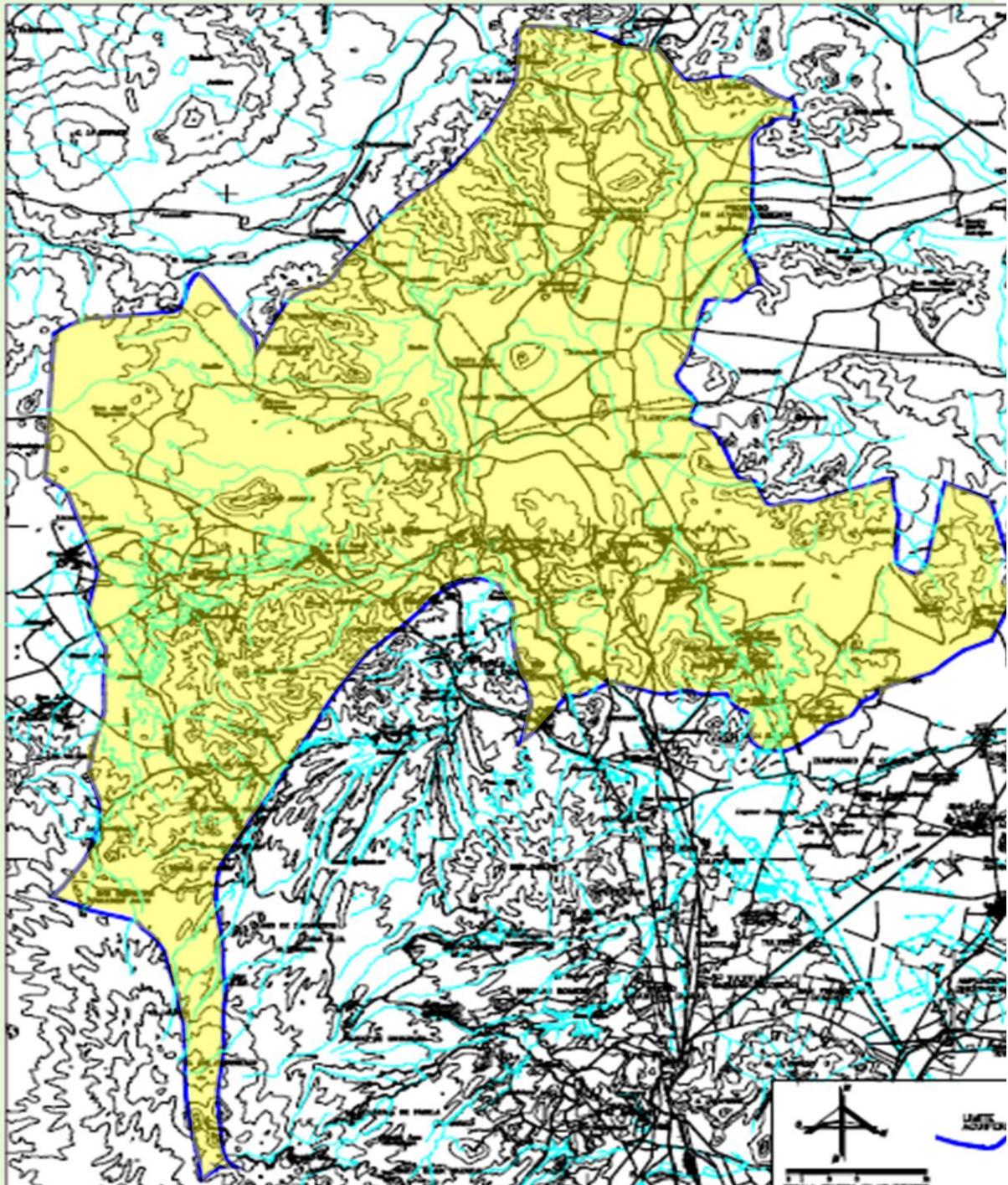
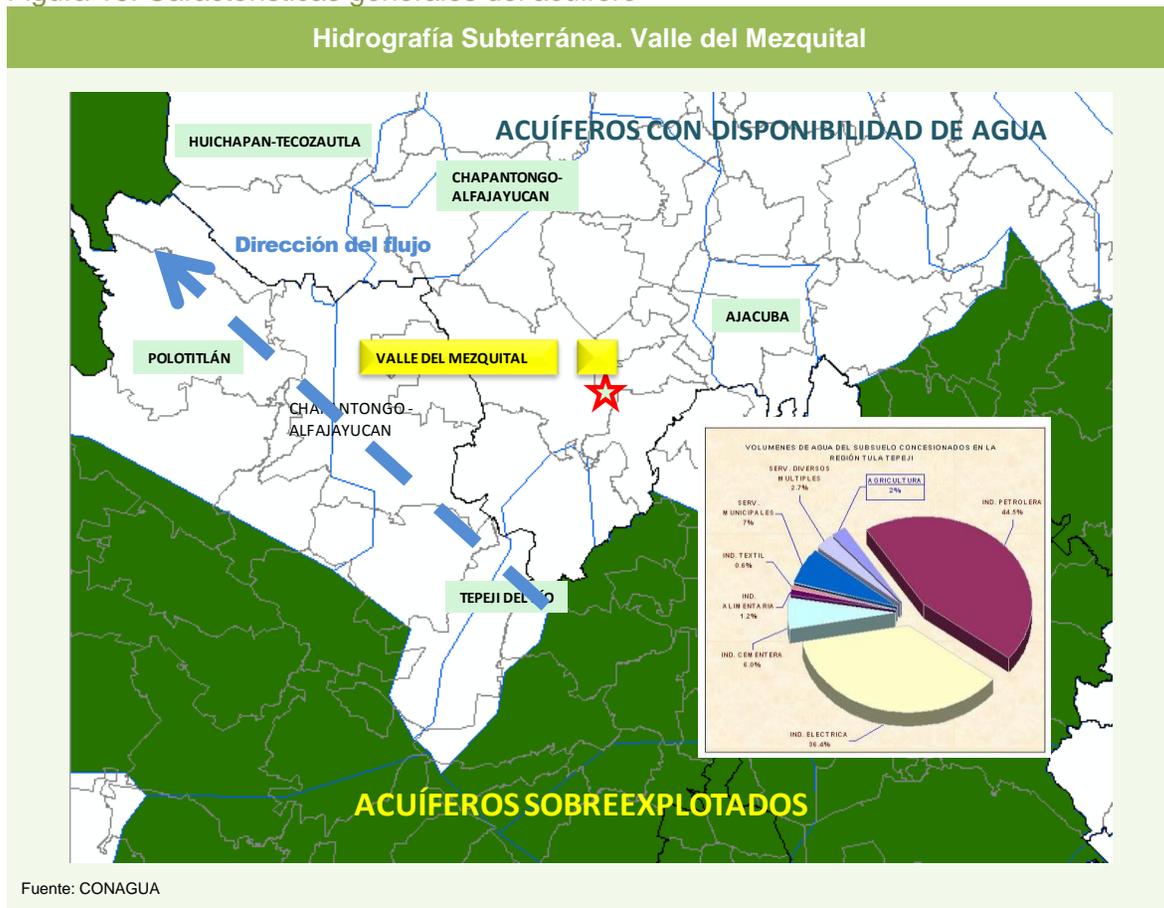


Figura 16. Características generales del acuífero



Según un censo realizado en 1992, en el área de estudio se identificó un total de 380 aprovechamientos de agua subterránea, 289 pozos, 66 norias, 227 manantiales y 3 galerías. La profundidad total de las norias varió de 3 a 40 m en la zona de Tula; en general las norias se ubicaron en las márgenes de los ríos Tula y Salado, así como en algunos arroyos tributarios.

La profundidad de los pozos varió de 50 a 450 m en la zona de Tula, mientras que en Actopan los pozos alcanzan una profundidad de 90 a 180 metros. El agua subterránea se utilizó principalmente, para uso industrial en un 32.5%, para uso agrícola en un 25% y para uso doméstico en un 16.94 %.

En la zona de Tula-Actopan, entre el poblado de Atotonilco y el de Atitalaquia, se presentan las profundidades más someras, que varían entre 12 y 18 metros; al oriente del estrechamiento Actopan-Atotonilco la profundidad del nivel alcanza los 90 metros. En los alrededores de la presa Requena, la profundidad varía de 20 a 40 m en Tepeji del Río y la presa Endhó respectivamente; en la porción de Mixquiahuala y Progreso de Obregón la profundidad del nivel estático es de 60 metros; en la parte sur del Valle de Actopan la profundidad del nivel estático varía de 10 a 70 m en la zona de San Salvador y en los alrededores del Arenal respectivamente; en San Salvador se encuentran pozos brotantes.

La dirección preferencial del flujo subterráneo en la zona de la presa Requena y Endhó es de SE-NW; esta dirección se obtuvo con base en planos de elevación del nivel estático de los años 1982 y 1994⁹.

2.2 Medio biótico

En el Estado de Hidalgo existe una diversidad florística y faunística sobresaliente, representada por 3,706 especies de flora y 675 especies de fauna. Todas estas especies están abrigadas en 14 tipos de vegetación localizados en tres regiones ecológicas: región árida, región templada y región tropical.

Tabla 3 Flora en la región

Grupo	Especies Totales	Dentro de la NOM	Endémicas
Plantas	3145	37	16
Musgos	297	0	0
Hongos	186	11	0
Helechos	78	6	0

Fuente: Consejo Estatal de Ecología. Gobierno del Estado de Hidalgo.

Tabla 4 Fauna en la región

Grupo	Especies Totales	Dentro de la NOM	Endémicas
Anfibios y reptiles	136	65	43
Aves	226	31	8
Mamíferos	125	19	12
Peces y crustáceos	41	3	3
Otros	147	-	-

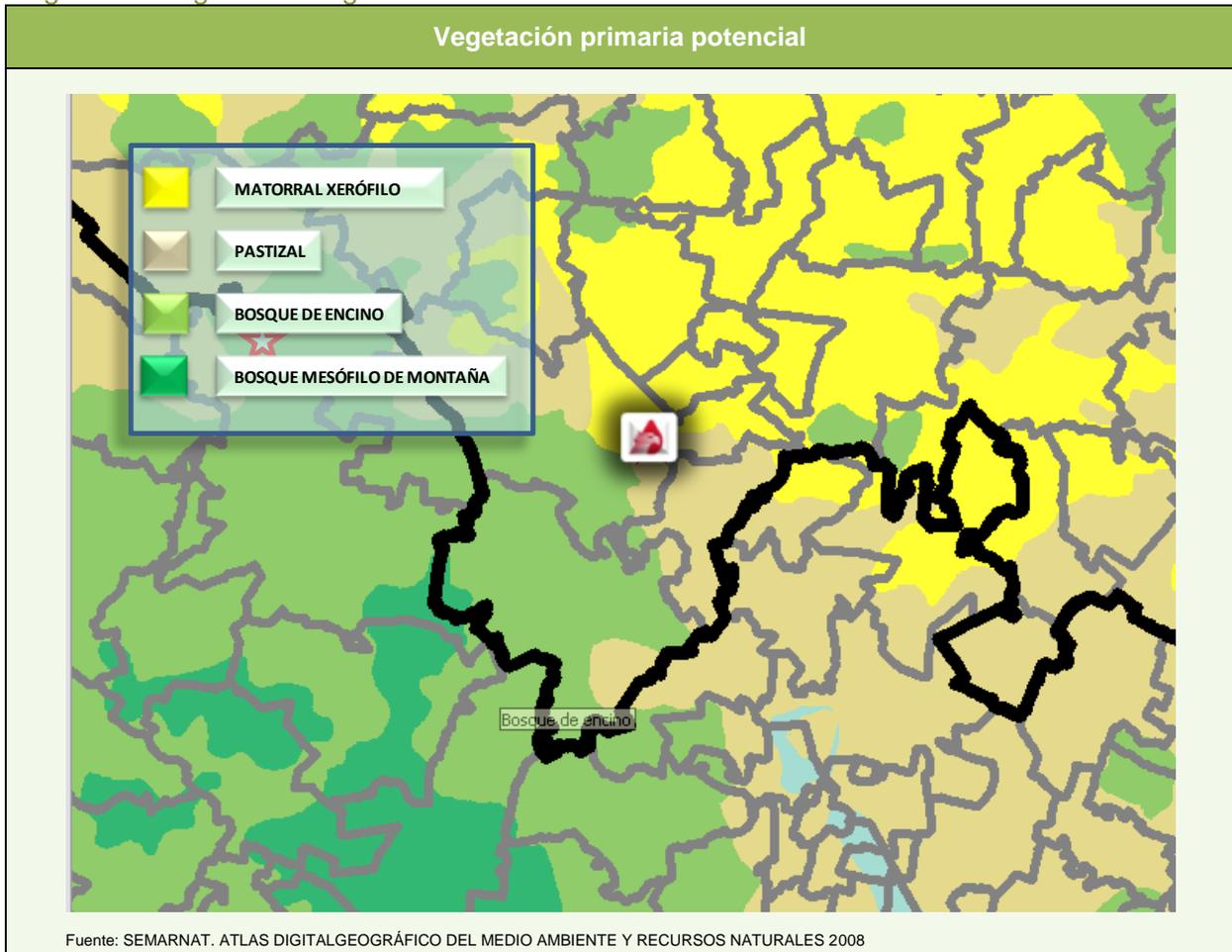
Fuente: Consejo Estatal de Ecología. Gobierno del Estado de Hidalgo.

2.2.1 Vegetación terrestre y/o acuática

Se tiene conocimiento de cambios importantes registrados en el tipo de la vegetación predominante en el área de estudio; existen registros de especies propias de climas templados, no obstante, la vegetación que caracteriza a la zona es considerada desértica o semi desértica, con variaciones notables en su composición, determinadas por sus distintos perfiles de distribución y de acuerdo a condicionantes de tipo físico: pendiente, grados diferenciales de exposición solar, estructura geológica y edáfica del terreno; y factores antrópicos: uso del suelo y presión que se ejerce sobre el recurso. Según señala un estudio elaborado por CONAGUA, en el Estado de Hidalgo están presentes 13 tipos de vegetación¹⁴; el área estudiada está regionalizada dentro del sistema denominado matorral desértico xerófilo.

¹⁴ Estadísticas del Agua en México, 2006, CONAGUA Capítulo 2. Contexto geográfico y socioeconómico

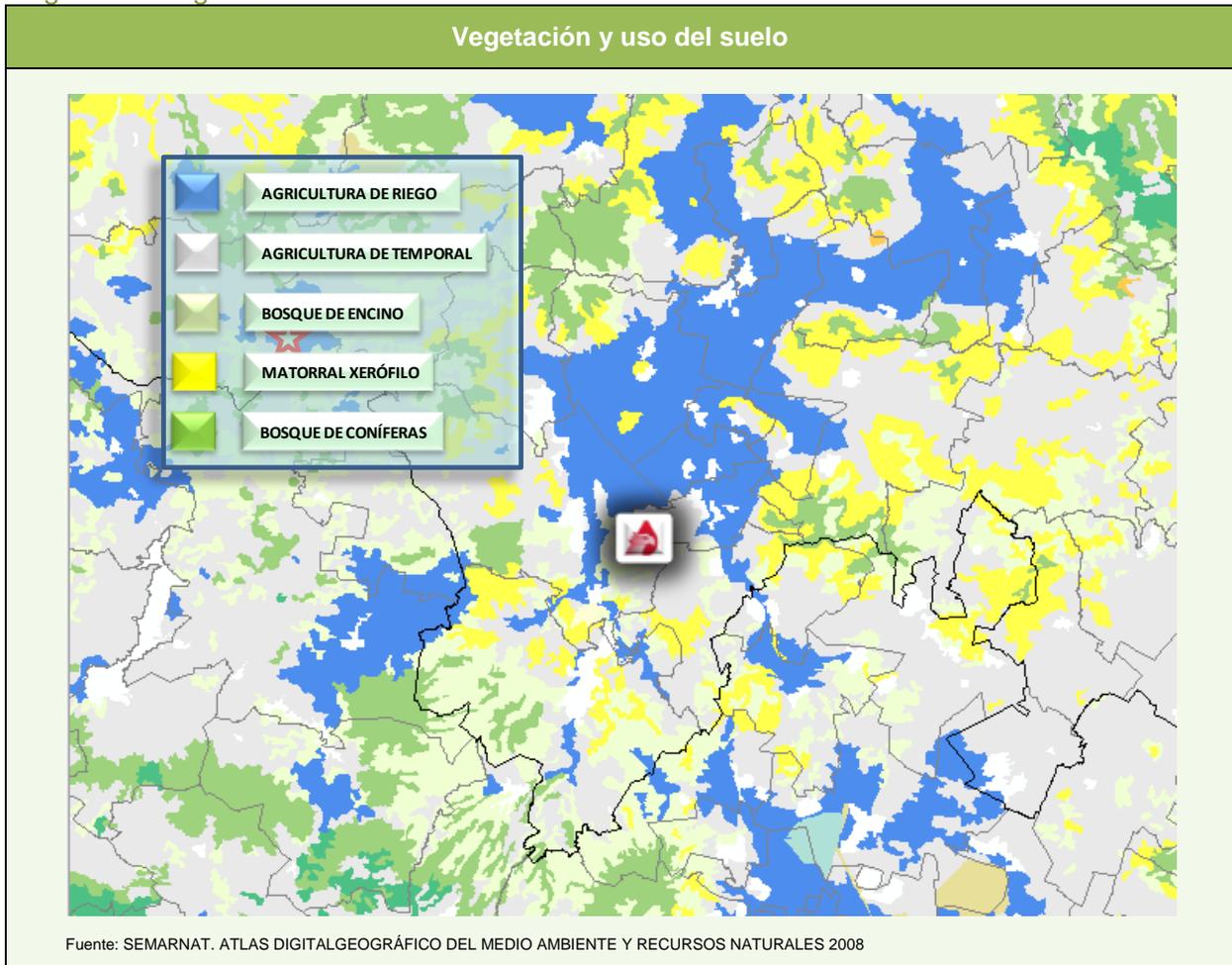
Figura 17. Vegetación original



La vegetación en la zona está condicionada por la baja precipitación pluvial, fenómeno asociado a una alta insolación y a un perfil edáfico de tipo arenoso arcilloso en su mayor parte, con alta pedregosidad que impide el desarrollo de una vegetación variada, dando como resultado una baja diversidad de especies con un estrato vegetativo representado principalmente por matorral xerófilo dominante asociado con bosque tropical caducifolio (selva baja caducifolia); en las partes altas localizadas al poniente y fuera del área estudiada, la vegetación está representada por bosque templado de pino y encino. En las zonas de lomerío suave y llanuras extensas predominan asociaciones de matorrales espinosos, chaparrales, matorral subtropical o matorral espinoso de tipo tamaulipeco.

La parte localizada al sur del polígono de estudio definido por Pemex corresponde a un terreno sinuoso con algunos afloramientos de calizas; en él se observa un estrato vegetativo alterado, donde predomina la sustitución de especies vegetales primarias por secundarias; situación aparejada con la fragmentación de ecosistemas, consecuencia del cambio en el uso del suelo, debido principalmente por la ampliación de la frontera agrícola, la explotación de material pétreo, así como, la extracción de especies propias del sotobosque.

Figura 18. Vegetación



Todavía en algunos montículos conservados se pueden encontrar áreas bien delimitadas conformando relictos de vegetación de encino rodeadas de zonas de cultivos, uso que predomina en esta zona; las zonas mejor conservadas quedan más al sur, fuera del área estudiada. En las márgenes de los ríos Tula y Salado se presencia vegetación de galería de tipo arbóreo y arbustivo, con especies como el ahuehuete, el eucalipto, el fresno y el sauce, asociados con matorral submontano; la vegetación del valle del Mezquital está formada por huizache, ahuehuete, nogal, biznaga, pirul, nopales, cardón, garambullo y otras plantas de clima seco.

En la parte localizada al norte y noreste del polígono de estudio, la vegetación primaria de matorral xerófilo ya ha sido sustituida en su totalidad por agricultura tecnificada con infraestructura de riego, con cultivos de hortalizas, especies y legumbres (alfalfa, maíz, trigo, avena, frijol, jitomate, chile y betabel), existiendo restricciones -aunque se cultiva- para lechuga, col, cilantro, rábano, zanahoria, espinaca y perejil¹⁵

Esta zona de extensas llanuras está compuesta de pastizales, en donde entre las especies que destacan están el creosote, también llamada gobernadora o hediondilla, y el hojasén o yerba del hule, especie característica que se encuentra más esparcida, aunque

¹⁵ Prieto-García F. y otros. Caracterización físico química y extracción secuencial de metales y elementos trazas en suelos de la región Actopan-Ixmiquilpan del Distrito de Riego 03, Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Diciembre 2005

puede llegar a cubrir áreas extensas bajo determinadas condiciones de humedad y suelo. Otras plantas comunes son arbustos, como el chamizo o costilla de vaca, la mariola o guayule y el mezquite dulce. De igual forma existen plantas suculentas, como una variedad de pequeñas a medianas cactáceas, como la cholla, yucas o palmitas, y agaves tales como la lechugilla, característica de este desierto. También son comunes, la navajita negra y el toboso común o zacate galleta.

La riqueza de especies de grupos de flora seleccionados reportada por CONABIO 1998, para esta zona, es de 43 especies del grupo *Quercus*, 27 especies del grupo *Agavaceae*, 26 especies del grupo de las *Comelinaceae*, 336 especies del grupo de las *Compositae*, 88 especies del grupo de las *Gramineae* y 40 especies del grupo de las *Lamiaceae*. Mientras que la riqueza de especies registradas de vertebrados es: 22 especies de anfibios, 44 especies de reptiles, 236 de aves y 97 especies de mamíferos¹⁶.

El uso de las especies vegetales de la región es muy diverso, tanto para consumo humano como para forraje de animales domésticos:

- Algunas especies sirven para la alimentación humana como el caso del nopal.
- Otras como agostadero para ganado ovino, bovino, mular o caballar.
- También como combustible para cocinar, como es el caso del mezquite, el huizache, maguey, etc.
- Algunas especies representativas del matorral desértico rosetófilo, como el ágave, lechuguilla y el maguey, son aprovechadas para extraer el aguamiel y producir bebidas como el pulque.
- De estas mismas especies se aprovechan las hojas carnosas para obtener fibras duras (ixtle), que son utilizadas en la fabricación de cordeles, costales, morrales, etc.
- Otras especies tienen un uso medicinal local en malestares comunes en la región como resfriados, cansancio, úlceras y problemas gastrointestinales.

2.2.2 Fauna terrestre y/o acuática

El estado de Hidalgo es poseedor de por lo menos 31 variedades de serpientes, 13 especies de patos, 6 de palomas, 4 de codornices y gorriones, 3 de halcones, 3 de zorrillos y 2 de tortugas. Existen también nutrias, águila real americana, mono araña, jabalí de collar, faisán, oso hormiguero y la zorra gris.

Por las características propias de la región de estudio, en la zona desértica caracterizada por contener muy poca cobertura vegetal conformada por matorrales y pastizales, las especies animales que viven son el conejo del desierto, ratón de cactus, liebre, zorro, correcominos, serpiente de cascabel, coyote, lobo gris mexicano, gato montés y venado bura; todas estas especies están altamente adaptadas a la región.

Respecto a las especies en cautiverio, en el Estado de Hidalgo, las aves canoras son las más apreciadas, por su trino y además porque tienen la habilidad de imitar sonidos. Estas características las hace sumamente atractivas y es muy común que se les encuentre en cautiverio en casas o en hoteles de lujo. Entre ellas se encuentra el ceniztli, el jilguero, la calandria, el gorrión rojo y el huitlacoche. La captura de este último está prohibida porque registran alguna categoría de riesgo; su venta al público oscila entre 200 hasta los

¹⁶ www.conabio.gob.mx

mil pesos; estas aves no se reproducen en cautiverio, además, según los expertos, más de tres cuartas partes de los ejemplares capturados mueren antes de llegar a su destino, por las condiciones de captura, transportación y venta inapropiadas; en su destino final, no logran adaptarse al cautiverio y terminan por morir, sea por enfermedad o stress al ser privados de su hábitat natural.

Entre los lugares del Estado donde se registra mayor actividad de captura de especies protegidas está el Valle del Mezquital; es mayor la depredación en municipios como Tulancingo, Actopan y Atotonilco el Grande; la amenaza es mas alta por la captura de polluelos con todo y nido, con la idea de que tienen así más posibilidades de desarrollarse en cautiverio.

En menor escala se ha detectado la captura y caza de especies mayores: jabalí, siervo rojo, tlacuache, coyote, el cacomixtle, el halcón llamahielo y el águila pescadora. Algunas especies autóctonas ya han sido extinguidas, tales como el águila real *Aquila chryseetos*, el lobo *Canis lupus* y el berrendo *Antilocarpa americana*, entre otras.

La gastronomía del Valle del Mezquital es muestra de la cantidad y variedad de la fauna endémica de la región: ardilla, conejo, zorrillo, armadillo, rata de campo, serpiente, chincolote, shagues, escamoles, gusano de maguey, tlacuache, codorniz, pato, chinicuil, chapulines, mojarra, carpa, entre otros.

2.3 Aspectos socio económicos

2.3.1 Características sociales.

● Distribución de la población.

El Sistema Ambiental Regional (SAR) de Tula de Allende se compone de diez municipios localizados en un radio de 10 kilómetros, con centro en el polígono definido por Pemex; ocho pertenecientes al Estado de Hidalgo (Tula de Allende, Tepeji del Río, Atotonilco de Tula, Atitalaquia, Tlaxcoapan, Ajacuba, Tetepango y Tlahuelilpan) y dos al Estado de México (Apaxco y Tequixquiac); cuentan con una población estimada al año 2005 de 337,072 personas (ver Tabla 5 Distribución de la Población en SAR Tula), distribuidos en 208 localidades. Destacan por su concentración poblacional los municipios de Tula de Allende, con una población de 93,296 y Tepeji del Río, con 69,755 habitantes; entre ambos concentran poco más del 48% de la población total del SAR, lo que los convierte en los centros poblacionales más importantes.

En cuanto a la composición de la población por sexo, el 48.8% de la población total son hombres, mientras 51.2% son mujeres. A nivel municipal esta conformación tiende a mantenerse.

Tabla 5 Distribución de la Población en SAR Tula

Clave	Nombre	Posición	Población	%	Población masculina	% de la población	Población femenina	% de la población
13076	Tula de Allende	1	93,296	27.7	45,252	48.5	48,044	51.5
13063	Tepeji del Río de Ocampo	2	69,755	20.7	33,947	48.7	35,808	51.3
15096	Tequixquiac	3	31,080	9.2	15,277	49.2	15,803	50.8
13013	Atotonilco de Tula	4	26,500	7.9	13,004	49.1	13,496	50.9
15010	Apaxco	5	25,738	7.6	12,692	49.3	13,046	50.7
13010	Atitalaquia	6	24,749	7.3	12,208	49.3	12,541	50.7
13074	Tlaxcoapan	7	24,734	7.3	12,034	48.7	12,700	51.3
13005	Ajacuba	8	16,111	4.8	7,744	48.1	8,367	51.9
13070	Tlahuelilpan	9	15,412	4.6	7,529	48.9	7,883	51.1
13065	Tetepango	10	9,697	2.9	4,764	49.1	4,933	50.9
			337,072	100	164,451	48.8	172,621	51.2

Fuente: Elaboración PNUD con base a INEGI, Censo de Población 2005

- Distribución por edades.

De acuerdo al Censo de Población correspondiente al 2005, 61.7% de la población del SAR-TULA tiene una edad comprendida entre los 15 y 59 años, 40.8% se halla comprendida en el intervalo de 0 a 14 años y solamente 7.5% de la población tiene 60 años y más (ver tabla siguiente).

El grupo de edad de 15 a 59 años, representa la población que comúnmente está en edad de trabajar. Para el caso del SAR-Tula, este grupo cuenta con 205,257 personas, que potencialmente pueden abastecer las necesidades de empleo de la región, incluidas las necesidades de mano de obra de la construcción y operación de la refinería; los municipios de Tula de Allende y Tepeji del Río comprenden la mayor concentración poblacional en edad de trabajar, con 58,329 y 42,019 personas respectivamente, que equivale al 49% de la población entre 15 a 59 años.

A partir de la distribución poblacional por edades se calcula el índice de dependencia económica (IDE), que mide la capacidad que tiene la población con posibilidad de recibir ingresos —15-59 años— para sostener económicamente a la población sin posibilidad de obtener ingresos —0 a 14 y 60 años y más—. El índice manifiesta por cada 100 personas con posibilidad de ingreso, cuantas tienen una dependencia económica.

El IDE en el SAR-Tula muestra que por cada 100 personas 62 tienen una dependencia económica. En el caso de Tula de Allende se observa una proporción menor, ya que por cada 100 personas 58 son dependientes.

En Tepeji del Río la distribución de la población por edades es muy similar a la estructura del SAR, pero con una diferencia importante: tiene en proporción mayor población menor y poca población adulta mayor, por lo que el IDE es ligeramente mayor, sin embargo, en el mediano plazo, la incorporación paulatina de la población infantil a la población en edad de trabajar, irá provocando que su IDE vaya disminuyendo (ver tabla).

Tabla 6 Distribución de la Población por edades del SAR y ciudades principales

Cortes de edad	SAR	Tula de Allende	Tepeji del Río	SAR	Tula de Allende	Tepeji del Río
Población de 0 a 4 años	33,175	8,470	7,063	10.0%	9.2%	10.3%
Población de 5 años	6,796	1,711	1,471	2.0%	1.9%	2.1%
Población de 6 a 14 años	62,503	16,360	13,208	18.8%	17.7%	19.3%
Población de 15 a 59 años	205,257	58,329	42,019	61.7%	63.2%	61.4%
Población de 60 años y más	25,059	7,388	4,677	7.5%	8.0%	6.8%
Población total	332,790	92,258	68,438	100%	100%	100%
Índice de dependencia económica	62	58	63			

Fuente: Elaboración PNUD con base a INEGI, Censo de Población 2005

Nota: El índice de dependencia económica se mide como la relación de la población menor (0 hasta 14 años) y mayor (60 años y más edad), entre la población en edad de trabajar (de 15 hasta 59 años).

- Dinámicas poblacionales.

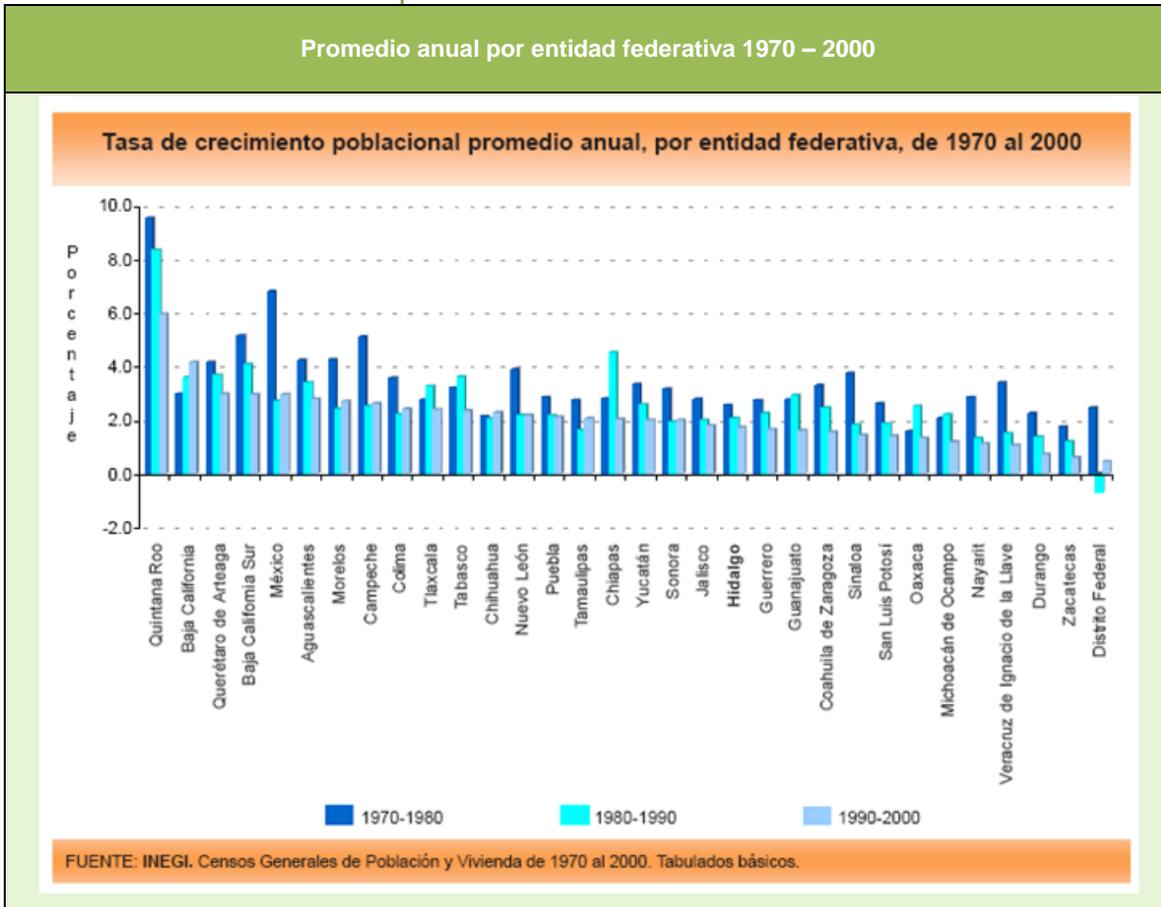
En términos generales el estado de Hidalgo ha presentado una disminución importante en sus tasas de crecimiento. El crecimiento de la población en el estado ha sido menor que el nacional en las últimas tres décadas.

Para el periodo 1990-2000 Hidalgo continuó reduciendo su ritmo de crecimiento, con una tasa de 1.7%, que lo sitúa en el lugar número veinte en el país (ver Gráfica 4 Tasa de crecimiento poblacional).

La dinámica poblacional regional registró para el periodo 2000 a 2005 un incremento del 6.6%, cifra por arriba de la registrada en la entidad y a nivel nacional; sugiere que los municipios que integran la región por su importancia económica han venido operando como centros de atracción poblacional, principalmente Tula y Tepeji del Río.

Respecto al género, destaca que la población femenina regional registra un incremento del 7.1%, muy por arriba de la observada por la población masculina, que se situó en 6.0%.

Gráfica 4 Tasa de crecimiento poblacional



Fuente: INEGI, Censos Generales de Población y Vivienda 1970-2000

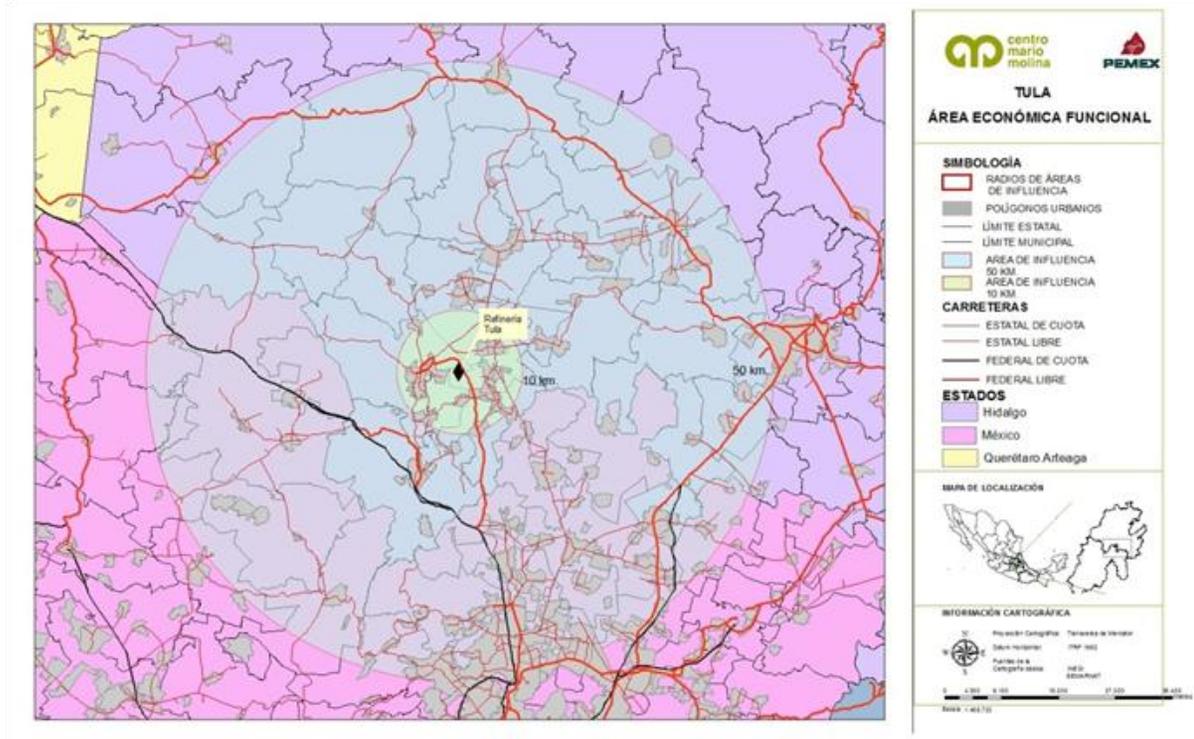
A nivel de grupo de edad las dinámicas poblacionales arrojan datos muy interesantes:

- La población comprendida entre 0 a 14 años muestra una disminución del 2.9% para el quinquenio 2000-2005, esta caída es ligeramente superior para la población masculina,

que alcanzó un valor de - 3.0%; este comportamiento indica que en términos relativos, la población más joven comienza a perder importancia en el conjunto de la población total, lo cual corresponde a las actuales tendencias demográficas, donde los niños comienzan a representar una menor participación en la población total.

- La población de 15 a 59 años registra un incremento en el periodo 2000-2005 del orden del 10.3%, 9.9% en la población masculina, y 10.6% en la femenina; Este comportamiento empata con el comportamiento demográfico nacional, donde el estrato de la población en edad de trabajar representa el componente más dinámico.

Figura 19 SAR y área de influencia de Tula.



- En la región, las mujeres comienzan a representar una proporción cada vez mayor de la población en edad de trabajar, por lo que es necesario crear oportunidades laborales que den cabida a una creciente población femenina, para contribuir a una equidad de género en el campo laboral.
- El aumento de la población que potencialmente puede laborar implica importantes consideraciones sobre el mercado de trabajo: se incrementa la disponibilidad de fuerza de trabajo de la región y aumenta la demanda de trabajo por parte de la población en edad de laborar.
- La población de 60 años y más registra el incremento más importante, con una variación del 15.1% para el total de la población, 12.3% para la población masculina, y 17.8% en la femenina; esta mayor contribución de población adulta en la región traerá retos en materia de política social para atender necesidades específicas para una población que tiende a envejecer rápidamente.

Tabla 7 Análisis comparativo de las tasas de crecimiento de la población

Porcentajes de población por rangos de edad y sexo en el SAR			
Intervalos por Edades	Población Total 2000-2005	Población Masculina 2000-2005	Población Femenina 2000-2005
0 - 14 años	-2.9%	-3.0%	-2.9%
15 - 59 años	10.3%	9.9%	10.6%
60 años y más	15.1%	12.3%	17.8%
Total regional	6.6%	6.0%	7.1%
Hidalgo	5%	4%	6%
Nacional	5.9%	5.5%	6.2%

Fuente: Elaboración PNUD con base a INEGI, Censo de Población 2005

● Migración

Ante un régimen demográfico donde prácticamente todas las entidades del país han disminuido sus niveles de fecundidad y mortalidad, la migración es uno de los componentes más importantes que afectan el tamaño, composición y distribución espacial de la población.

Gráfica 5 Población emigrante a Hidalgo por entidad federativa



Fuente: INEGI, Censos Generales de Población y Vivienda 1970-2000

- Saldo neto migratorio reciente

De acuerdo con información del XII Censo General de Población y Vivienda 2000, Hidalgo se ubicó como una entidad receptora de población, cambiando su esquema migratorio

que tradicionalmente se había caracterizado por ser de tipo expulsor. Las entidades de procedencia son: México y Distrito Federal, con 35.0 y 30.7%, respectivamente; seguidos por otros estados vecinos como: Veracruz, con 7.8 por ciento; Puebla con 6.2% y con 2.0% Querétaro; de estas cinco entidades provienen 4 de cada 5 inmigrantes (ver gráfica).

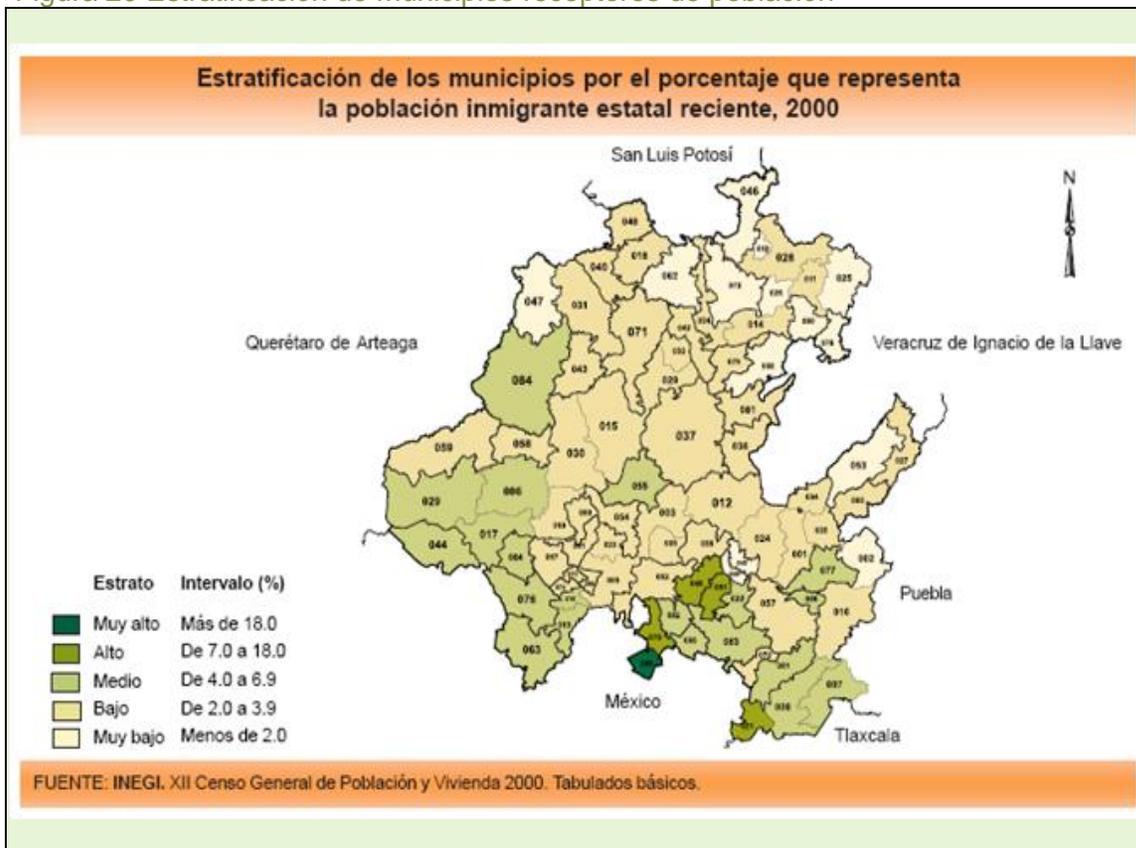
- Municipios de destino

El total de personas que llegaron a Hidalgo procedentes de otras entidades federativas, tuvieron como destinos principales los municipios de Pachuca de Soto, Tizayuca, Tulancingo de Bravo, Tepeji del Río de Ocampo y Tula de Allende (ver Figura 20 Estratificación de municipios receptores de población).

En la microrregión, la población inmigrante fue de 11,838 habitantes, que equivale al 4% de la población total (Ver Gráfica 6 Residentes e Inmigrantes de la Microrregión Tula).

A pesar de la poca importancia de la inmigración en el SAR, su comportamiento es más disímil en algunos municipios, como en Tizayuca con un factor de migración del orden del 15.4% y el de Mineral de la Reforma con 10.2%, mientras que el municipio de Tula es del 4.5%.

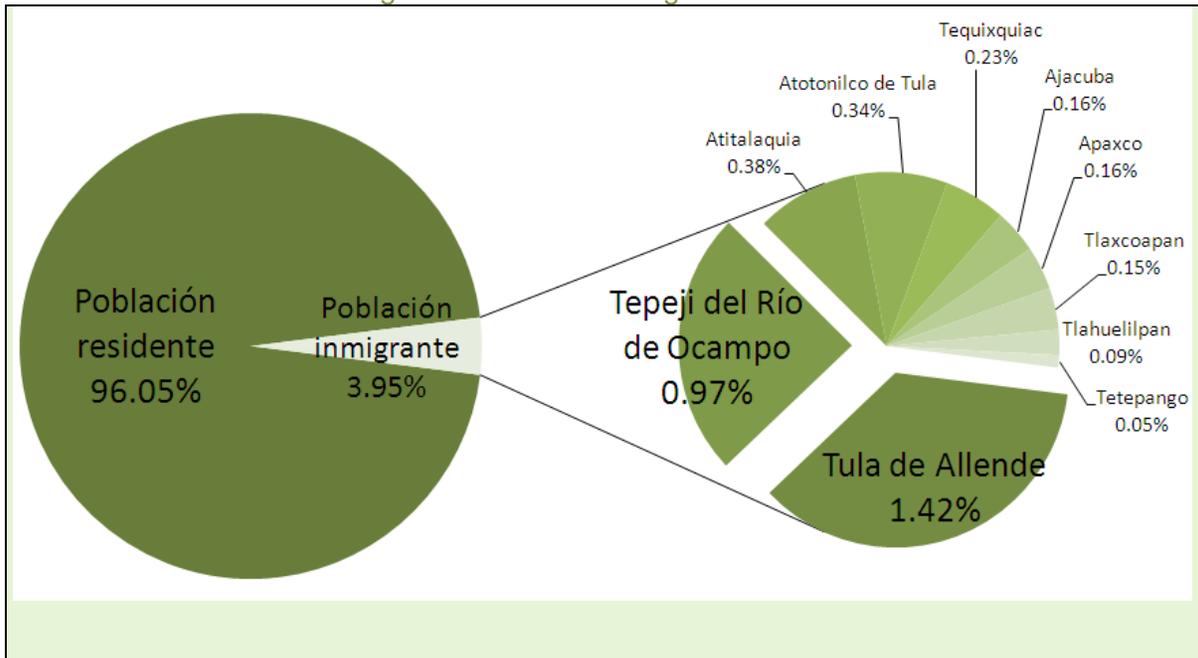
Figura 20 Estratificación de municipios receptores de población



Fuente: INEGI, XII Censos de Población y vivienda 2000

Solo unos cuantos municipios, principalmente del Estado de México, destacan por su participación en la inmigración dentro de la zona de influencia a 50 Km. Ecatepec aporta el 20.6% de la inmigración, siguiéndole en importancia, Tecamac 9.9%, Tlalnepantla 8.8%, Cuautitlán 7.8%, Tultitlan 7.8%, mientras Pachuca aporta el 6.4% y Tula el 1.6%.

Gráfica 6 Residentes e Inmigrantes de la Microrregión Tula



Fuente: PNUD con información de INEGI, XII Censos de Población y vivienda 2000

- Causas de inmigración

De acuerdo a una encuesta presentada por INEGI en el Censo 2000, la causa principal de migración hacia Hidalgo es reunirse con la familia, que representa el 25.0% del total de inmigrantes; las personas que cambiaron de lugar de trabajo, el 9.1%; e ir a estudiar es la causa con la menor proporción.

La decisión de instalar la refinería en Tula implicará el posible incremento de población en la región, que exigirá de los gobiernos locales la capacidad de generar infraestructura y servicios, considerando que Tula es un municipio en el que el Consejo Nacional de Población (CONAPO) estimó un crecimiento de la población de 8.5%, entre 2005 y 2012.

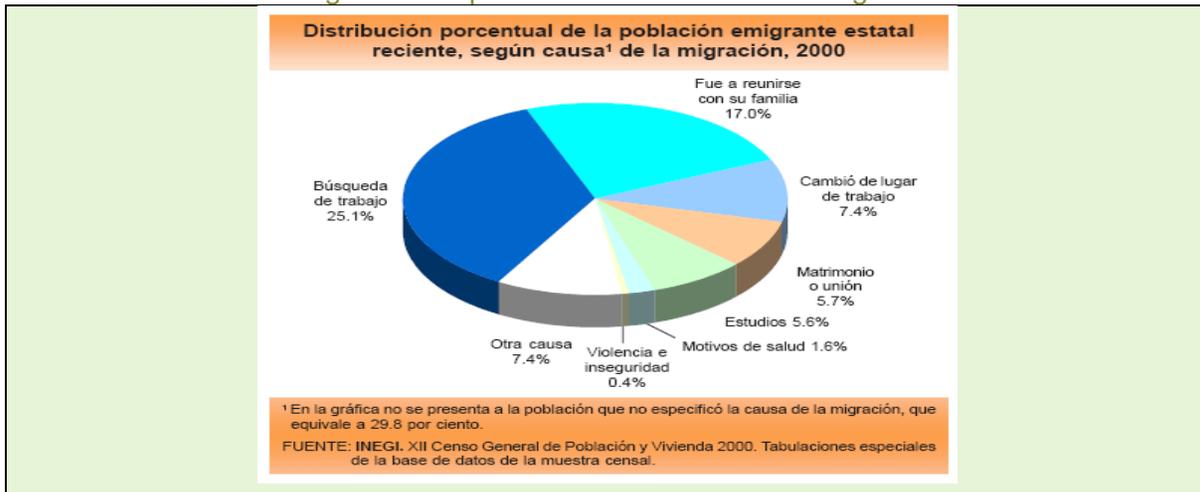
También se anticipa una reducción en la tasa de emigración de la región, pues una de las principales razones por las que existe este fenómeno es la búsqueda de mejores oportunidades de trabajo.

- Emigración de la región

En las últimas décadas, el Estado ha sido más bien receptor de población, sin embargo existe un importante flujo de emigrantes predominante hacia los estados circunvecinos; en orden de importancia, las entidades de México, Distrito Federal, Querétaro, Veracruz y Puebla son los destinos principales de la población que salió del Estado; en conjunto, estas cinco entidades captan el 67%.

La siguiente gráfica muestra las principales razones de la migración, destaca de manera importante la necesidad de un trabajo fuera del Estado.

Gráfica 7 Causas de migración de población del estado de Hidalgo



Fuente: INEGI, XII Censos de Población y vivienda 2000

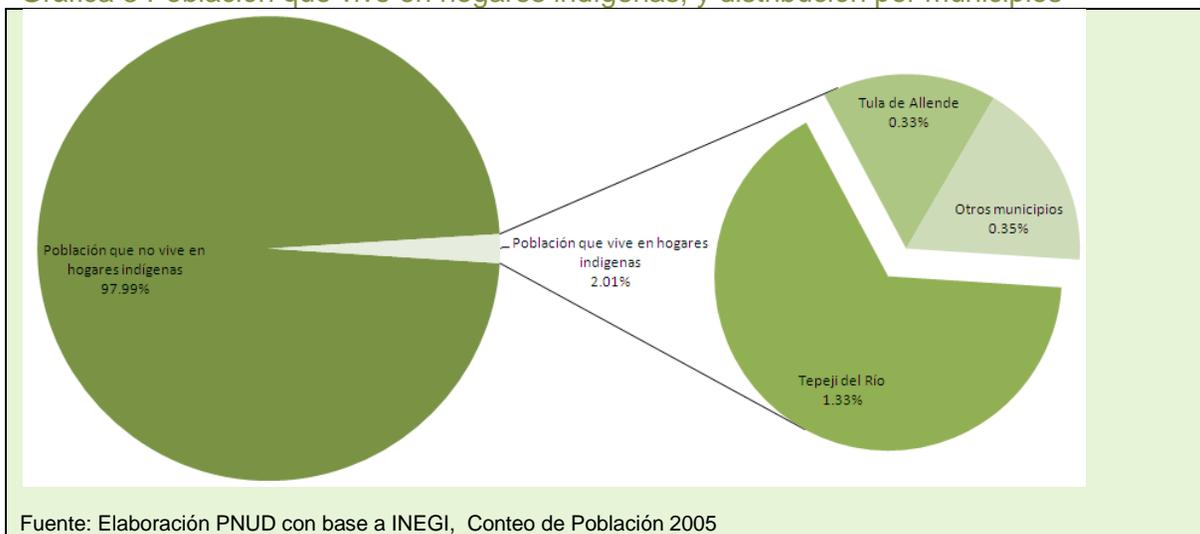
Con el propósito de identificar la población según condición de lengua indígena, se procedió a evaluar la importancia relativa de estos grupos en la población total.

● Población de lengua indígena

De acuerdo al II Censo de Población 2005, la población que habita hogares indígenas en los municipios del SAR es de 6,971 personas, que equivale al 2% (ver Gráfica 8 Población que vive en hogares indígenas, y distribución por municipios) de la población total de la microrregión. A su vez el número de personas mayores a cinco años que hablan alguna lengua indígena es de 3,804, que corresponde al 1.27% del total de esa población; el municipio de Tepeji del Río aporta casi el 65% de la población indígena de la zona, que representa el 6.4% de su población total municipal, así como 1.3% de la población total del SAR.

Le sigue en importancia Tula de Allende, con 16% de la población indígena total, 1.18% de su población total, y 0.33% de la población total del SAR.

Gráfica 8 Población que vive en hogares indígenas, y distribución por municipios



● Grado de escolaridad y nivel de instrucción.

Con objeto de identificar las capacidades de la población para incorporarse al mercado de trabajo se analiza el indicador de los años promedio de escolaridad; considerando que seis años son hasta estudios de primaria, nueve hasta secundaria, 12 hasta estudios nivel medio-superior y 15 años o más nivel de estudio superior.

La escolaridad promedio en los municipios del SAR es de 8.0 años, equivalentes a segundo grado de secundaria; los años de instrucción en los hombres son de 8.2, cifra ligeramente superior a los registrados por las mujeres que se sitúa en 7.8; destaca el caso de Tula de Allende a nivel municipal, con más alta concentración poblacional y mayor instrucción media, de 8.6 años; 8.9 para los hombres y 8.4 para las mujeres.

El segundo municipio por concentración poblacional es Tepeji del Río, sin embargo, registra una escolaridad media inferior, de 7.7 años, 8 para los hombres y 7.5 para las mujeres.

La segunda escolaridad más alta se registra en el municipio que opera la actual refinera, Atitalaquia, que pese a ocupar el sexto lugar por concentración poblacional, tiene una media de 8.4 grados de escolaridad, 8.5 en la población masculina, y 8.3 en su población femenina. Seguramente debido a que en él se localiza la colonia petrolera.

Tabla 8 Población por nivel educativo años de estudios en SAR

Clave	Nombre Municipio	Posición	% en población	Escolaridad		
				Total	Hombres	Mujeres
13076	Tula de Allende	1	27.7	8.6	8.9	8.4
13063	Tepeji del Río de O	2	20.7	7.7	8.0	7.5
15096	Tequixquiac	3	9.2	7.7	7.8	7.5
13013	Atotonilco de Tula	4	7.9	8.1	8.4	7.9
15010	Apaxco	5	7.6	7.9	8.1	7.7
13010	Atitalaquia	6	7.3	8.4	8.5	8.3
13074	Tlaxcoapan	7	7.3	7.8	8.1	7.5
13005	Ajacuba	8	4.8	6.8	6.9	6.7
13070	Tlahuelilpan	9	4.6	7.7	7.8	7.6
13065	Tetepango	10	2.9	7.3	7.3	7.2
			100	8.0	8.2	7.8

Fuente: Elaboración PNUD con base a INEGI, Censo de Población 2005

En todos los municipios que integran el SAR, los años de escolaridad de las mujeres fueron menores a los observados por la población masculina, lo que perfila los retos en materia de equidad de género que están pendientes en esta región.

De acuerdo a la Encuesta Nacional de Educación, Capacitación y Empleo, el sector de la construcción demanda una instrucción media de 5.8 años, mientras la industria extractiva del petróleo, 11 años de escolaridad; con base en estos indicadores, es posible comenzar a evaluar los retos que en materia de empleo enfrentará la nueva refinería, principalmente en materia de operación, en donde la instrucción media ronda los 11 años de escolaridad, en tanto la media regional es de 8.0.

A nivel de la distribución de la población de 15 años y más, según nivel de instrucción, 10.3% de la población del SAR-Tula no cuenta con estudios; en el caso de las mujeres se agrava, al representar 11.8%; en caso contrario se encuentra la población masculina, solamente el 8.8% carece de instrucción. El grueso de la población posee solo estudios primarios y secundarios; entre estos dos estratos educativos, se encuentra poco más del 63% de la población de 15 años y más, en tanto que una cuarta parte tiene una instrucción comprendida entre 10 y 25 años.

Tabla 9 Población por nivel educativo, y años de estudios en SAR Tula

	Población de 15 años o más	S/instrucción	Primaria	Secundaria	Superior	Años de estudios
		Cero estudios	1 a 6 años	7 a 9 años	10 a 25 años	
Total de SAR	100	10.3	34.6	29.3	25.8	8
HOMBRES	100	8.8	33.5	31.3	26.4	8.2
MUJERES	100	11.8	35.5	27.5	25.2	7.8

Fuente: Elaboración PNUD con base a INEGI, Censo de Población 2005

Nota: La escolaridad promedio de la región es igual a la media ponderada por el tamaño de la población.

Por último cabe señalar que el acceso a la educación está determinado por la oferta territorial de los servicios de educación públicos o privados, así como por el nivel de los ingresos de la población para cubrir los gastos que implica acceder a ella. De esta forma, en las zonas rurales de Hidalgo, donde los ingresos son más bajos, los niveles de educación son deficientes; la mayor parte de los centros de educación se ubican en núcleos urbanos y en localidades de fácil acceso; queda sin cubrir la mayor parte de la entidad.

Estos problemas presentes en la educación impactan directamente el desarrollo de los sectores de la economía hidalguense, que tienen que recurrir a la contratación de fuerza de trabajo calificada proveniente de otros Estados de la federación; de esta manera aumentan sus costos de producción o de operación; la posibilidad de nuevas inversiones productivas pueden ayudar a reducir el desempleo y a retener la población en la entidad.

A modo ilustrativo, datos estadísticos del INEGI del año 2000 señalan que el Municipio de Tula cuenta con los siguientes centros educativos: 54 escuelas de nivel preescolar, 58 primarias; 25 escuelas de educación secundaria, 10 escuelas de nivel bachillerato, y la Universidad Tecnológica Tula Tepeji; lo anterior manifiesta buena infraestructura educativa en los niveles básicos e intermedios, no así en los niveles medio superior y superior, que deberían tener mayor cobertura; el Municipio requiere de mayor infraestructura educativa media superior y superior, si se considera la actividad económica que en éste se realiza.

● Desarrollo Humano.

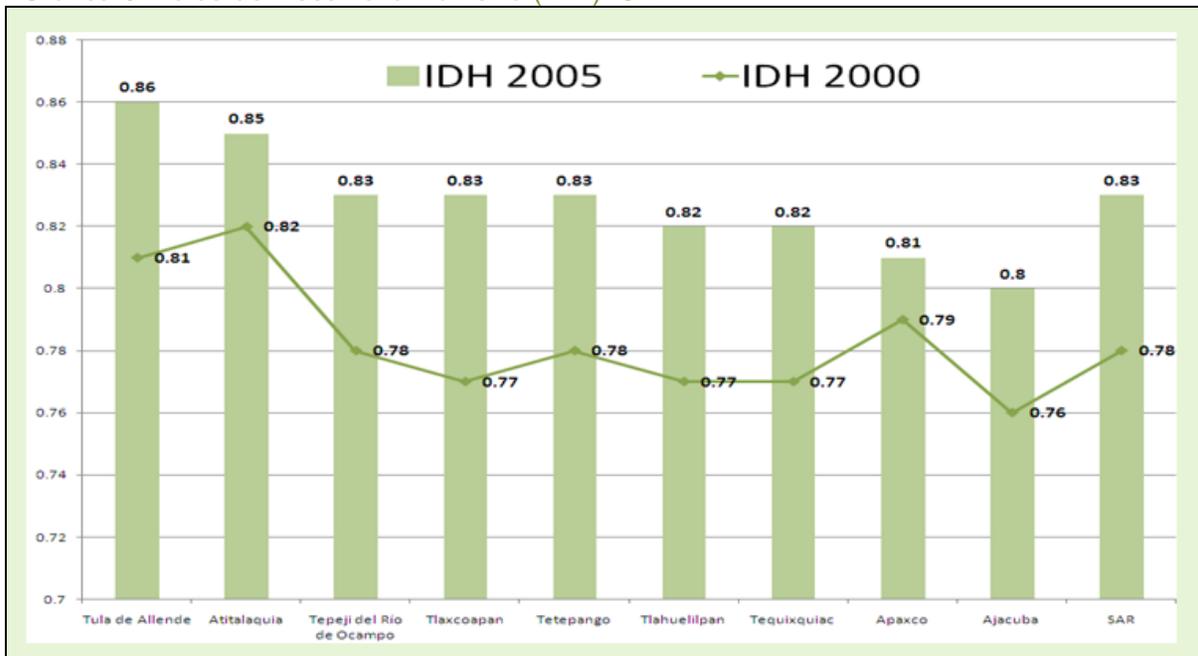
El Índice de Desarrollo Humano (IDH) es un sistema de indicadores aceptados a nivel internacional respecto al desarrollo en un país. Este es un índice que considera que el desarrollo es más complejo que la simple acumulación del ingreso y que implica la ampliación de las capacidades.

La medición del desarrollo humano es un elemento fundamental para el diseño de las políticas públicas de un país. Entre otros factores, evalúa los avances o retrocesos en las condiciones de vida de sus habitantes, establece la magnitud del problema, caracteriza el fenómeno para el diseño de políticas, programas y acciones del sector público y define claramente los objetivos que se persiguen en términos de bienestar. El IDH es una herramienta útil para explorar las características locales de las capacidades básicas de los individuos en una sociedad (López Calva, 2004).

De acuerdo a la clasificación internacional del IDH, aquellos valores por arriba de 0.80 denotan niveles de desarrollo alto. En el caso del SAR-Tula, la evaluación comprendida entre 2000 y 2005, permite establecer que los municipios que la conforman, como la región misma, experimentaron una mejora relativa. Para el 2005, la totalidad de los municipios registran un índice igual o superior a 0.80; mientras al año 2000, a excepción de Tula de Allende y Atitalaquia, el resto de los municipios se encontraban por debajo del umbral de 0.80.

De acuerdo a la información analizada al año 2005, el promedio aritmético del IDH para la región SAR-Tula registró un valor de 0.83; destacan a su interior los municipios de Tula de Allende y Atitalaquia, por registrar valores arriba de la media regional, con 0.86 y 0.85, respectivamente. Al igual que lo ocurrido en el grado de escolaridad media, el municipio más poblado (Tula de Allende), junto con el municipio donde opera la actual refinera (Atitalaquia), son los municipios con el índice de desarrollo humano más alto.

Gráfica 9 Índice de Desarrollo Humano (IDH) SAR



Fuente: Índice de Desarrollo Humano municipal 2000- 2005, PNUD México

● Características de la vivienda

Con el propósito de tipificar las condiciones socioeconómicas de la población que circunda las probables localidades que albergará la nueva refinera, los siguientes indicadores dan cuenta de las condiciones de la población a través de la caracterización de sus viviendas en materia de servicios y bienes, así como, por su acceso a los servicios de salud.

Una forma de evaluar la calidad de vida de la población, es la disponibilidad en las viviendas de los bienes básicos, como refrigerador y lavadoras. En las microrregiones de Tula, el porcentaje de viviendas que disponen de refrigerador es 73%, lo que la ubica por debajo de la media nacional de 76%.

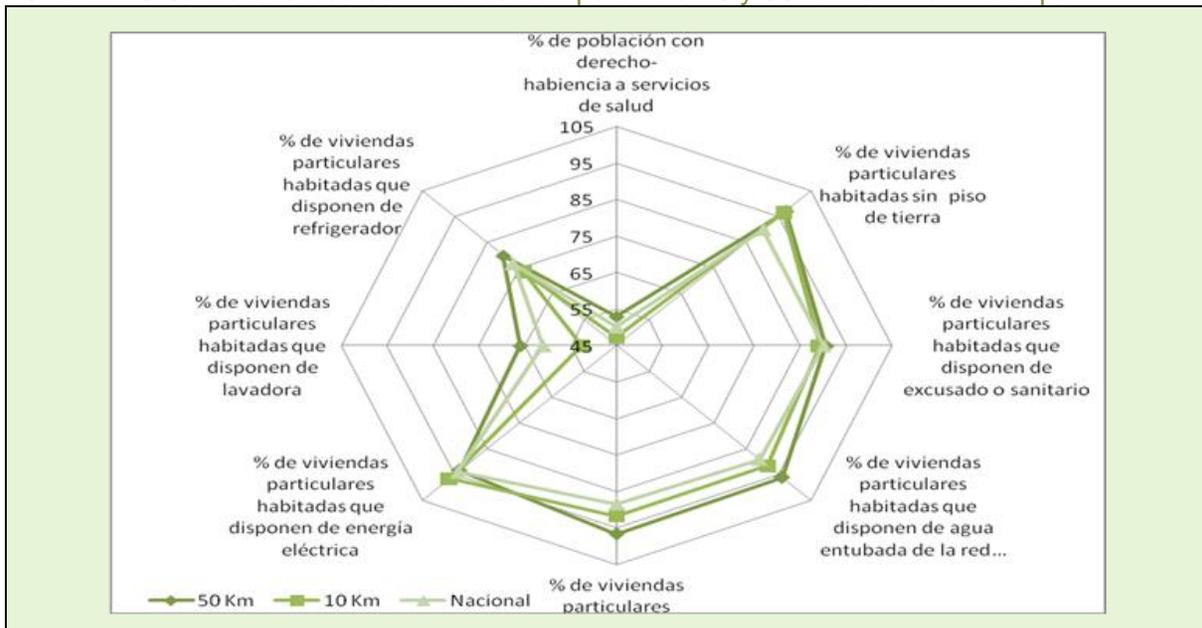
- Servicios y características de las viviendas

En las áreas del SAR y de influencia de Tula, el 96 y 97% de las viviendas cuentan con piso diferente a tierra, indicador que se halla por encima del referente nacional, que es de 90%; la calidad de vivienda medida por tipo de piso en el área de acción de la refinera es mejor que en el ámbito nacional.

El porcentaje de viviendas con disponibilidad de sanitario está en concordancia con la media nacional del 90%; la infraestructura hidrosanitaria manifiesta un mejor desempeño en la región de Tula: el porcentaje de viviendas que disponen de drenaje a 10 y 50 Km. son 92 y 97%, mientras a nivel nacional este indicador registra un 88%; el porcentaje de viviendas con agua entubada de la red pública se repite, con valores del 92 y 96% respectivamente, en tanto que a nivel del país es de 89%.

En lo que se refiere al porcentaje de viviendas que disponen de energía eléctrica, llama la atención que el área más cercana a Tula tiene una cobertura del 96%, en tanto que en el rango de los 50 Km. el porcentaje empata con la media nacional: la cobertura por energía eléctrica en la zona inmediata es mejor que su contraparte a 50 km (ver siguiente gráfica).

Gráfica 10 Características de vivienda comparado a 10 y 50 Km. a nivel municipal

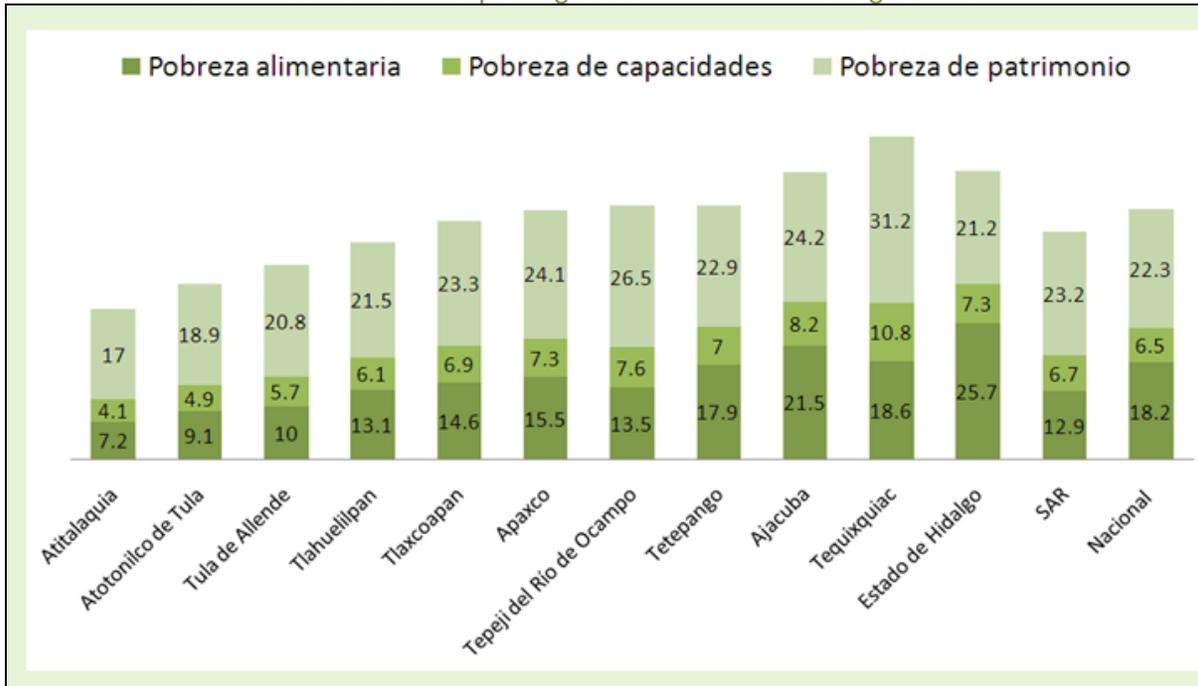


Fuente: Elaboración PNUD con base a INEGI, Censo de Población 2005

● Indicadores de marginación y pobreza

Los indicadores de pobreza que aquí se consignan son elaborados por el CONEVAL. De acuerdo a su metodología ellos definen tres clasificaciones de la pobreza:

Gráfica 11 Indicadores de Pobreza por Ingresos e Índice de Rezago Social



Fuente: Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social www.coneval.org.mx

La pobreza alimentaria: incapacidad para obtener una canasta básica alimentaria, aun si se hiciera uso de todo el ingreso disponible en el hogar para comprar sólo los bienes de dicha canasta.

La pobreza de capacidades: insuficiencia del ingreso disponible para adquirir el valor de la canasta alimentaria y efectuar los gastos necesarios en salud y educación, incluso utilizando el ingreso total de los hogares nada más que para estos fines.

La pobreza de patrimonio: insuficiencia del ingreso disponible para adquirir la canasta alimentaria, así como realizar los gastos necesarios en salud, vestido, vivienda, transporte y educación, aunque la totalidad del ingreso del hogar se utilice exclusivamente para adquirir estos bienes y servicios.

De acuerdo a la estimación del CONEVAL en 2005 sobre pobreza y marginación, a nivel nacional el 18.2% de la población se encontraba en situación de pobreza alimentaria, 6.5% en pobreza de capacidades, y 22.3% en pobreza de patrimonio, en total para 2005, 47% de la población se encontraba bajo algún nivel de pobreza.

En el caso particular de Hidalgo, los indicadores de pobreza reflejan un comportamiento todavía más grave: la pobreza alimentaria se ubicó en el orden de 25.7% de la población; la de capacidades en 7.3%; la patrimonial en 21.2%. En total, a nivel estatal 54.2% de la población padece algún nivel de pobreza.

En lo que toca al SAR-Tula, los niveles de pobreza son inferiores, tanto a la media nacional como estatal; basta mencionar que la población afectada por algún nivel de pobreza en la micro-región es del 43%, en tanto a nacional es del 47%, y a nivel estatal del 54%. Llamam la atención los municipios de Tula de Allende, por su importancia en materia poblacional y Atitalaquia, por ser el municipio con la actual refinería; en el primer caso del total de población, 36% registra algún grado de pobreza, mientras que para el segundo, un 28% de población presenta algún grado de afectación por pobreza. En ambos casos, sus niveles de pobreza son significativamente menores al registrado tanto por la entidad, como a nivel nacional.

2.3.2 Características económicas

De acuerdo a las características económicas más relevantes del SAR-Tula, los municipios que destacan por su contribución al valor agregado de la micro-región son Atitalaquia y Tula de Allende. El primero aporta 44.6% del valor agregado, mientras el segundo 23.5%. En conjunto estos dos municipios concentran 68% del valor agregado del SAR.

Como se puede inferir, la importancia de la refinería ubicada en Atitalaquia es crucial para que el municipio sea el más importante en la generación de valor agregado de la región, mientras en el caso de Tula de Allende, las cementaras localizadas en esta municipalidad son las responsables de su importancia económica.

De hecho, para el caso de Atitalaquia, la remuneración media municipal es 4.3 veces la registrada en el SAR, lo que apunta al peso significativo que juega la refinería en la estructura económica municipal, del propio SAR, como de la misma entidad.

Respecto a las tasas de crecimiento, sobresale el municipio de Atitalaquia con un incremento del 41% para el quinquenio 1998-2003, valor muy por arriba del 9.7 al que creció a nivel del SAR; de la misma forma, la tasa a la que crecen las remuneraciones se ubicó en este municipio en el orden de 5.1%, siendo la tasa más alta del total de los municipios pertenecientes al SAR.

Tabla 10 Características Económicas del SAR

Municipio	Remuneración Media	Valor Agregado	Relación	Participación	Tasa de crecimiento, 1998-2003	
			Remuneraciones	Valor Agregado	Remuneraciones	Valor Agregado
ATITALAQUIA, HGO.	179,737	7,868,973	4.3	44.6	5.1	41.0
TULA DE ALLENDE, HGO.	47,099	4,149,152	1.1	23.5	-1.5	4.9
TEPEJI DEL RÍO DE OCAMPO, HGO.	45,405	2,535,416	1.1	14.4	-1.9	-0.3
APAXCO, MEX.	35,850	1,459,418	0.9	8.3	-20.5	-5.3
ATOTONILCO DE TULA, HGO.	38,967	1,200,641	0.9	6.8	-10.8	-7.0
TLAXCOAPAN, HGO.	16,373	110,108	0.4	0.6	5.2	12.2

TLAHUELILPAN, HGO.	12,429	105,338	0.3	0.6	0.3	14.6
AJACUBA, HGO.	30,142	102,680	0.7	0.6	4.9	10.1
TEQUIXQUIAC, MEX.	8,392	84,846	0.2	0.5	-8.5	7.6
TETEPANGO, HGO.	6,142	16,480	0.1	0.1	11.6	4.1
REGIÓN	62,436	17,633,052	1.0	100.0	0.7	9.7

Fuente: Elaboración PNUD con base a INEGI, Censos Económicos 1999 y 2004

Si bien existen municipios con importantes tasas de crecimiento como Tlahuelilpan, quien creció al 14%, su contribución a la generación del valor agregado es marginal, ya que apenas contribuye con 0.6% del total del SAR; en suma, la estructura económica del SAR-Tula se encuentra determinada en lo fundamental por Atitalaquia y Tula de Allende.

Con el objeto de dimensionar el peso que tiene la refinería en el nivel de ingresos de las municipalidades que albergan instalación de infraestructura petrolera, se calcularon las remuneraciones censales medias; para ello, se tomó el total de remuneraciones censales que se dividió entre el total de la población ocupada reportada por el mismo censo, el resultado fue la remuneración media censal, que indica en pesos corrientes la remuneración censal que en promedio percibió un trabajador; esta remuneración no incluye ningún tipo de transferencia, solamente la masa de remuneraciones salariales patronales consignadas por el censo económico que en promedio percibe un trabajador.

Para fines analíticos, la siguiente gráfica da cuenta de las remuneraciones medias, tanto del SAR-Tula, la media nacional, el promedio estatal, así como la remuneración de municipios significativos, ya sea por registrar las remuneraciones más bajas, o por ser el municipio en que actualmente opera la refinería.

De acuerdo al gráfico, la remuneración media del SAR-Tula al 2003 fue del orden de \$62,436, cifra por arriba de la media nacional y estatal, que se ubicaron en \$56,450 y \$37,931, respectivamente.

La remuneración media en el municipio de Atitalaquia, donde actualmente opera la refinería, es de \$179,737, remuneración muy por encima de los estándares medios. De hecho si consideramos exclusivamente la remuneración media municipal de Atitalaquia correspondiente al sector petrolero, la renta media se eleva a \$284,201, cifra muy por arriba de la misma media del SAR, como del mismo municipio.

En contraste con Atitalaquia, los municipios de Tequixquiac y Tetepango registran remuneraciones medias de apenas \$8,392 y \$6,141 pesos, respectivamente. Lo cual evidencia, por un lado el efecto que sobre las remuneraciones tiene la refinería, por otro la desigualdad tan marcada que existe al interior de los municipios que integran el SAR-Tula.

Gráfica 12 Comparativo de la remuneración media SAR - Tula



Fuente: Elaboración PNUD con base a INEGI, Censos Económicos 2004

● **Actividades productivas actuales.**

De acuerdo a la estructura económica localizada en el SAR-Tula, destacan las ramas económicas correspondientes a la fabricación de productos derivados del petróleo, con 37.8% del valor agregado generado, así como la fabricación de cemento y productos de concreto con 29.3%; estas dos ramas económicas generan en conjunto 66% del valor agregado del SAR-Tula, es decir, de cada 100 pesos generados, 66 provienen del cemento y del petróleo.

Le sigue en importancia la fabricación de telas y la matanza-empacado y procesamiento de carne, con una contribución del 5.9 y 3.6%, respectivamente.

Tabla 11 Las 10 actividades económicas más importantes en SAR – Tula.

Actividad	Código por rama	Participación Valor Agregado
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	3241	37.8
Fabricación de cemento y productos de concreto	3273	29.3
Fabricación de telas	3132	5.9
Matanza, empacado y procesamiento de carne de ganado y aves	3116	3.6
Fabricación de productos químicos básicos	3251	1.6
Servicios de empleo	5613	1.4
Confección de prendas de vestir	3152	1.4
Autotransporte de carga especializado	4842	1.3

Fabricación de otros productos químicos	3259	1.1
Fabricación de productos de hule	3262	1.1
Participación del grupo de ramas		85

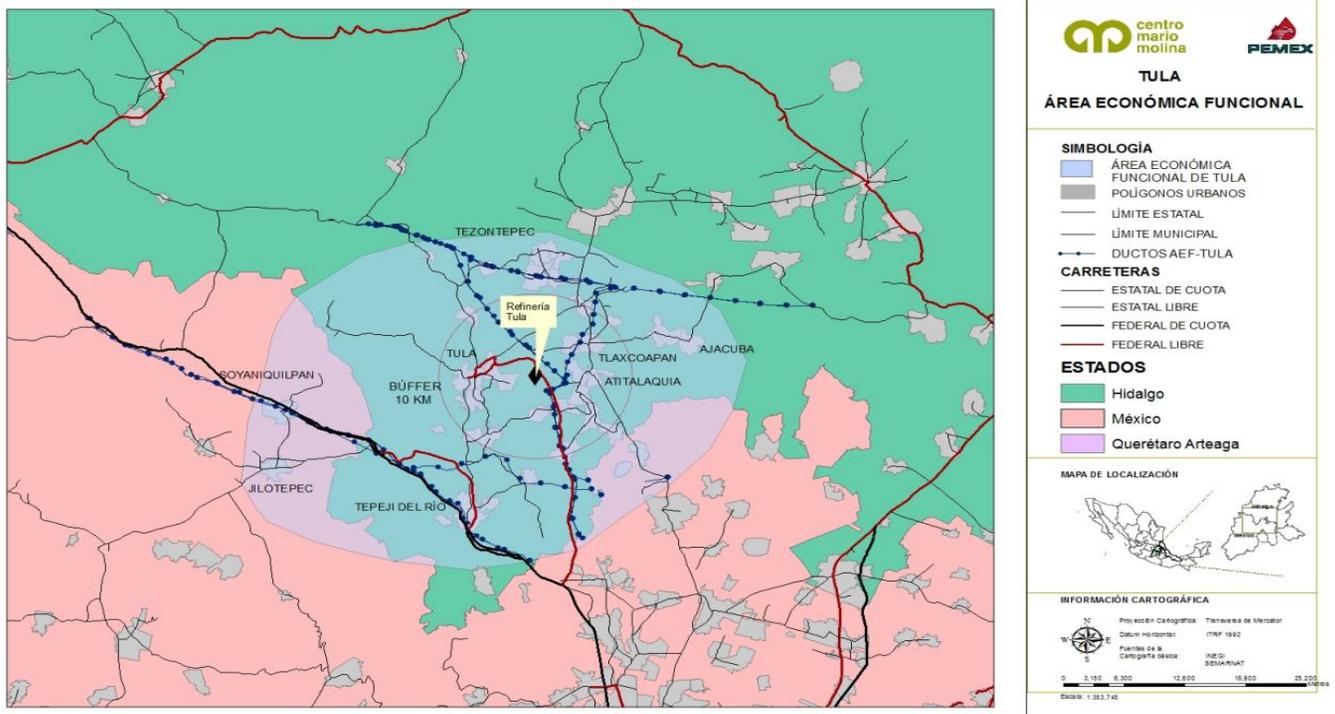
Fuente: Elaboración PNUD con base a INEGI, Censos Económicos de 2004

● Tipificación socioeconómica del área económico-funcional

- Área económica funcional

El área funcional de Tula se caracteriza porque Tula ocupa el lugar central del área, por su jerarquía y localización, que integra la mayor parte de las localidades y municipios al oriente y sur de esa localidad. De ahí que se infiera que su influencia económica es determinante para el desarrollo de la micro región de la que forma parte.

Figura 21 Delimitación del Área económico funcional de Tula



La población total del área asciende a 439 317 habitantes; destacan, el municipio de Tula, centro del área económico funcional, tanto por su tamaño, como por su localización geográfica, con una población para el año 2005 de 93,296; Jilotepec, con 71,624; Tepeji, 69,755 y, Tezontepec, 41,909.

Su influencia se extiende sobre el corredor inmediato formado por los dos ejes oriental y norte a partir de Tula:

Tula eje Este-Norte (EN), con dirección Tlaxcoapan- Tetepango- Ajacuba.

Tula eje Norte-Este (NE), con dirección a Tlahuelipan Tezontepec.

El área funcional inmediata a la que pertenece está constituida por el sistema de localidades urbanas contenidas en los siguientes municipios: Tula, Tepeji del Río, Jilotepec, Atlaquía, Tlaxcopan, Tlahuelipan, Tetepango, Ajacuba y Tezontepec, como se muestra en el siguiente mapa.

La distribución de la población está concentrada predominantemente en cuatro municipios: Tula, Jilotepec, Tepeji y Tezontepec que concentran casi dos terceras partes del total; se infiere que esos municipios desempeñan una función de atracción poblacional con sus subcentros respectivos, a través de sus ciudades principales.

También, se destaca el efecto dinámico que como atracción poblacional están generando el resto de los municipios del área que se distinguen por su reducida participación, lo que permite considerar que el área cuenta con otros sitios que también funcionan como atractores de población y actividad económica; ello sugiere un efecto de atracción múltiple en el área que evidencia la acción dinámica de varios sitios.

A pesar de lo anterior, el grado de instrucción del área medido por años de escolaridad es casi 2 años menor que el nacional, que es de 7.5 años y superior al estatal; también, los niveles de instrucción de la mano de obra son bajos. Predomina ligeramente la población femenina en el área, comportamiento semejante al nacional y menor al desempeño Estatal.

Por edades, el área se caracteriza porque predomina la población joven; destaca la fuerte participación de la población en edad de trabajar. No obstante, la dinámica muestra un decrecimiento de la población infantil y tasas reducidas en la población en edad de trabajar, lo que refleja una tendencia al envejecimiento de la población del área, que tendrá repercusiones fuertes en la capacidad de trabajo del área.

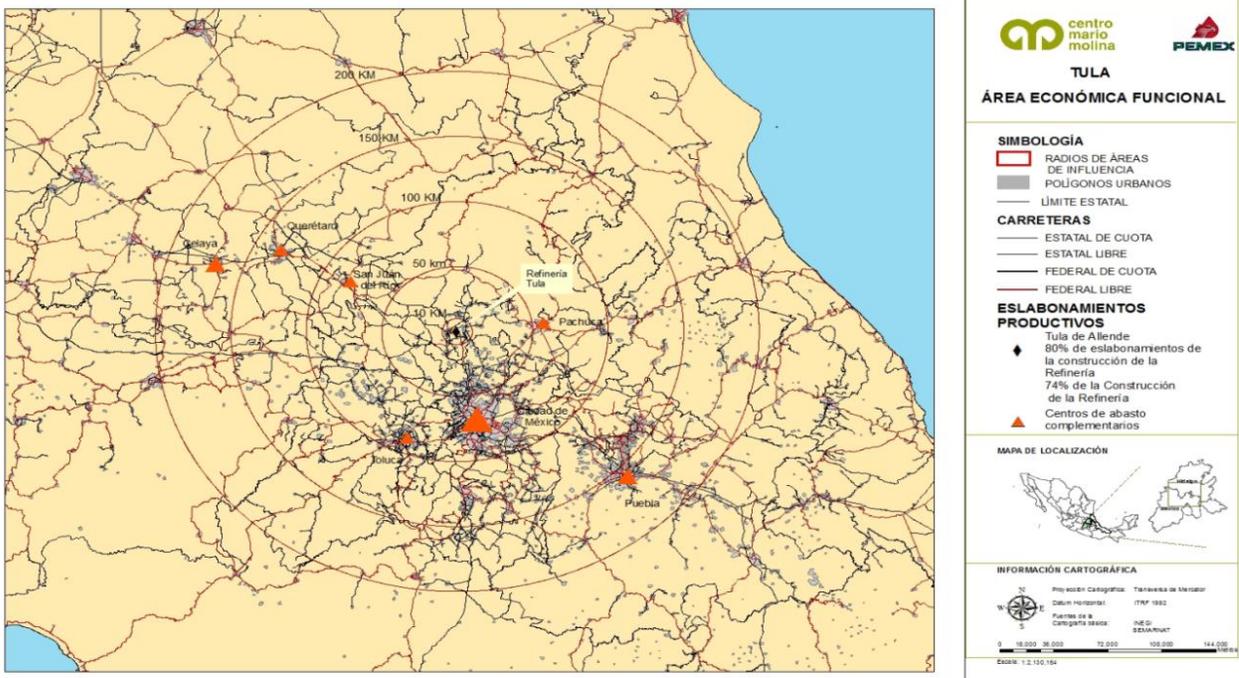
Se estima una oferta de mano de obra creciente en búsqueda de trabajo, que se manifiesta por un crecimiento de la población en edad de trabajar mayor que el crecimiento de la población del área.

La población económicamente activa en Tula es mayor que la media nacional, mientras que la población de la tercera edad es menor; ésto refleja una dinámica de envejecimiento menor y una mayor oferta de población en edad de trabajar en el área de Tula, que en el país en su conjunto.

Por último, se realizó un análisis preliminar para identificar el potencial de abastecimiento del área económico funcional a las actividades de construcción y operación de la refinería; se concluye que existe un potencial de un 80% de abastecimiento en la construcción, dado por la presencia de eslabones productivos a nivel de subsector productivo en el área y de 70% en la operación de la refinería; hecho que implica que por lo menos el 20% y el 30% faltantes, tienen que ser provistos por centros de abasto complementarios.

Un elemento indicativo del costo de dicho abastecimiento, se indica mediante un gradiente de distancia en kilómetros. Para el caso de Tula, dicho aprovisionamiento corresponde a las localidades existentes en un rango de distancia de 50 a 100 kilómetros, correspondiendo a la Ciudad de México y Pachuca, como se muestra en el siguiente mapa.

Figura 22 Cadena productiva en el Área Económico-Funcional de Tula



● **Población económica activa por sectores de actividad económica.**

La oferta de fuerza de trabajo en el área de Tula depende de la relación entre la población económicamente activa y la población en edad de trabajar, es decir, de la tasa de participación (TE); al considerar los datos poblacionales de 2005, esa tasa era del 50.06% para el conjunto del área, que implica que poco más del 50% de la población en edad de trabajar se encuentra activa, ya sea trabajando o bien buscando un empleo.

Esa tasa de participación es inferior a la que presentan las entidades federativas a las que pertenecen los municipios del área y se encuentra mas de tres puntos porcentuales por debajo del promedio nacional; ello implica que la oferta de trabajo disponible en el área de la refinería de Tula es inferior a la que se presenta en otros municipios del país.

Dentro de los municipios del área, la población en edad de trabajar se concentra fundamentalmente en los municipios de Tula (22.3%), Tepeji del Río (16.5%) y Jilotepec (15.2%), constituyéndose así como la base de la oferta potencial de fuerza de trabajo en el área; Tepeji del Río es el que mayor tasa de participación presenta (55%), superior a la media nacional y a la de los dos estados que conforman el área de influencia. Otro aspecto a resaltar es el relativo a las condiciones de género: la tasa de empleo es mas desfavorable para las mujeres:

Tabla 12 Tasa de empleo a población

Entidad municipio		Población de 15 años y más	Población empleada de 15 años y mas	Tasa Empleo a población 15 años y mas	Mujeres	Hombres
					TE %	TE %
13005	Ajacuba	9,499	4,181	44.02	24.76	66.24
13010	Atitalaquia	14,414	7,468	51.81	29.07	75.09
13013	Atotonilco de Tula	16,396	7,945	48.46	25.01	72.41
13063	Tepeji del Río de Ocampo	43,789	23,686	54.09	32.34	76.88
13064	Tepetitlán	5,639	2,366	41.96	22.86	63.8
13065	Tetepango	5,923	2,653	44.79	22.27	68.75
13067	Tezontepec de Aldama	24,979	12,435	49.78	26.52	73.98
13070	Tlahuelilpan	9,000	4,722	52.47	30.16	76.72
13074	Tlaxcoapan	14,932	7,370	49.36	26.77	73.43
13076	Tula de Allende	59,123	29,163	49.33	28.77	71.7
15010	Apaxco	14,969	8,006	53.48	28.63	79.51
15045	Jilotepec	40,433	19,738	48.82	25.58	73.51
15079	Soyaniquilpan de Juárez	6,048	2,992	49.47	22.58	76.77
Total del Área		265,144	132,725	50.06	27.81	73.7
13	Hidalgo	1,424,760	724,059	50.31	28.66	74.78
15	México	8,286,915	4,461,315	53.35	32.39	76.21
Nacional		62,842,638	33,224,030	52.87		

Fuente: Elaboración PNUD con base en INEGI, Censo de Población 2005

- Condiciones de los niveles de ocupación

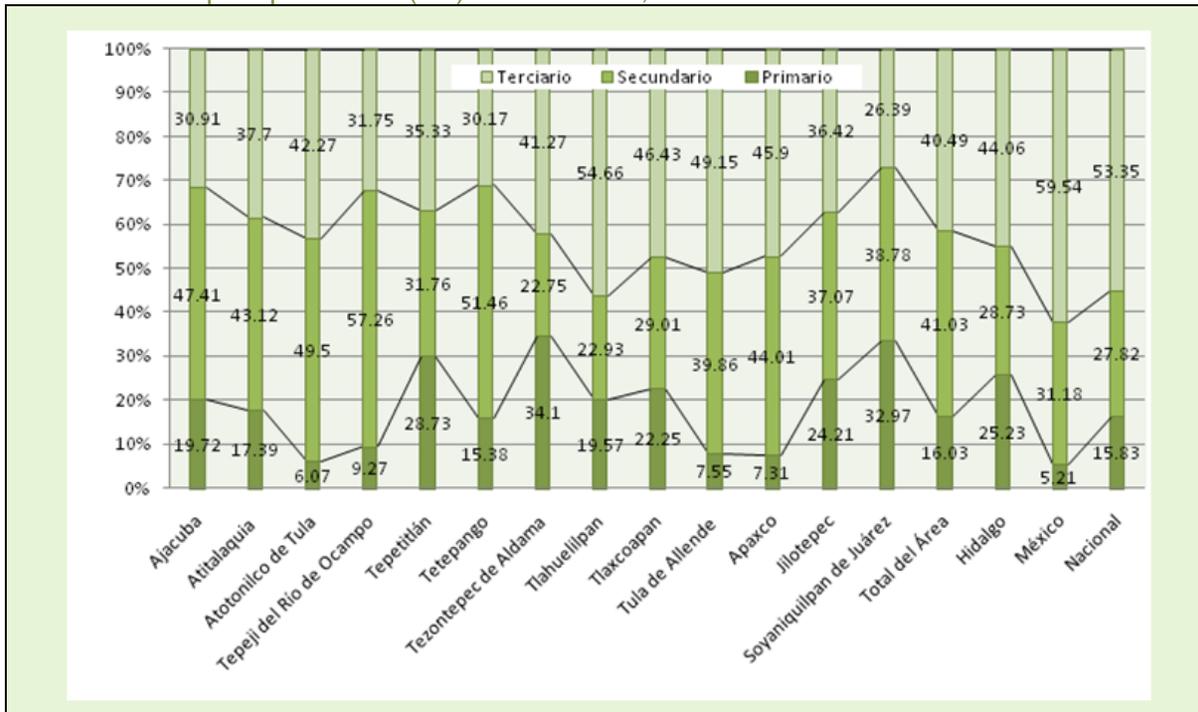
En la tabla “Tasa de empleo a población (TE) por género” se observa que mientras la tasa de empleo a población para los hombres es del 73.7% la de las mujeres es de únicamente 27.8% en el área de Tula; esta situación muestra un alto potencial para el impulso a proyectos laborales que consideren la capacitación e inclusión de las mujeres al mercado laboral. También se observa que tanto las tasas de empleo de hombres como de mujeres, son inferiores a las que se presentan en las entidades federativas a las que pertenece el área, pero relativamente la tasa de mujeres en el área es más baja que la de los hombres.

Al examinar la situación sectorial de la ocupación se observa que el área de Tula presenta una estructura ocupacional dominada por el sector industrial; dicho sector representa el 41.03% de la ocupación total.

La presencia del sector industrial en el área es relativamente muy grande si se considera que a nivel nacional este sector aporta solamente el 27.82% del empleo. Las actividades primarias y terciarias tienen un peso ocupacional relativamente bajo; el sector terciario es más pequeño que el de los estados en los que se encuentra inserta el área, en tanto que el peso del primario es cercano al de la media nacional.

En general se observa que los dos sectores demandantes de mano de obra son el industrial y el de servicios: Tepeji del Río, Tetepango Atotonilco de Tula y Ajacuba son los municipios con mayor peso del empleo industrial, mientras que Tlahuelilpan, Tula de Allende, Tlaxcoapan y Apaxco tienen una estructura ocupacional predominantemente de servicios. Finalmente, Soyaniquilpan de Juárez aparece como el único municipio en el que el sector primario representa la principal actividad de ocupación.

Gráfica 13 Empleo por sector (ES) Área de Tula, 2000



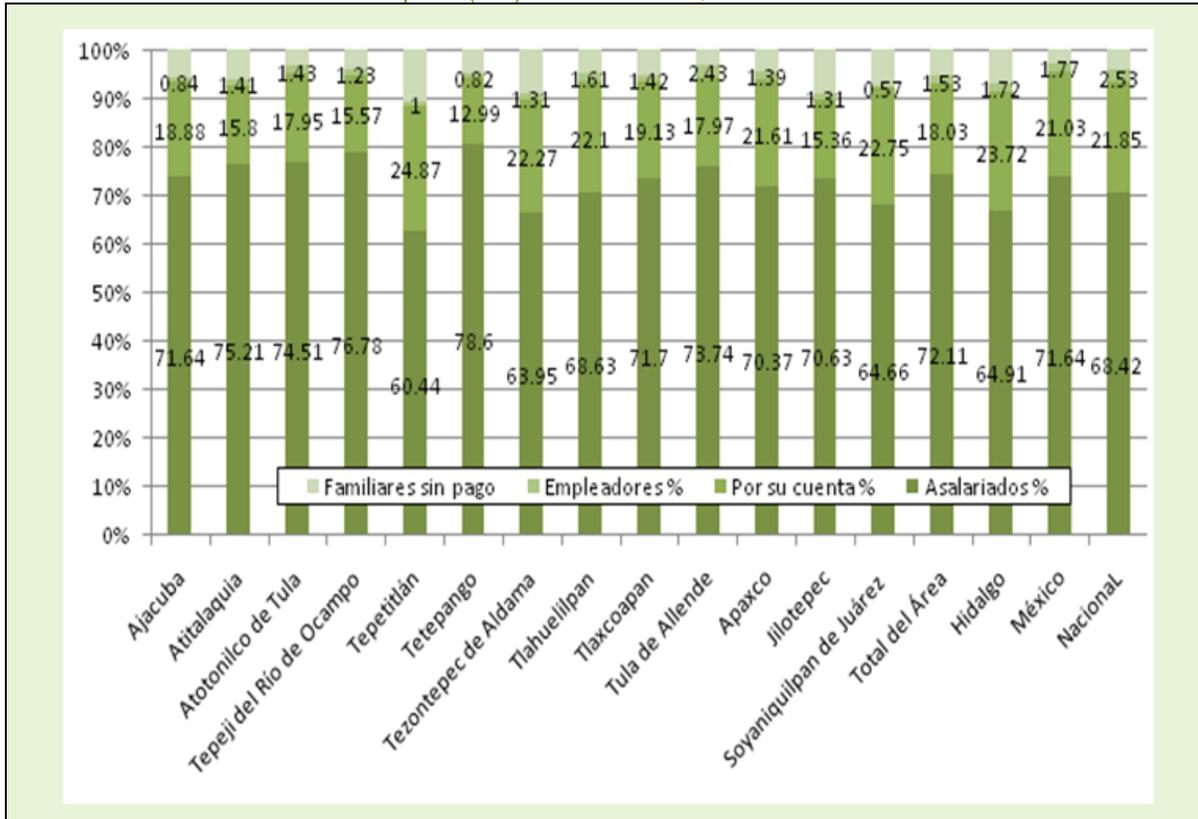
Fuente: Elaboración propia con base a INEGI, Censo de Población 2000

Los datos de empleo para el área indican que existe una participación alta del empleo asalariado, con porcentaje del 72%, muy superior al promedio nacional y al de una entidad con fuerte presencia industrial, como por ejemplo la del Estado de México; esta estructura muestra que existe un mercado laboral maduro, típico de regiones con mayor nivel de desarrollo.

La tasa de precariedad o tasa de empleo parcial, del 15.86% es menor que la nacional, de 17.49%, que mide el número de trabajadores que laboran un número de horas inferior al de una jornada laboral completa; sobresalen los casos de Atotonilco, Tetepango y Tula.

Este último indicador también puede interpretarse como una señal del grado de flexibilidad laboral, los resultados muestran que el grado de flexibilidad es inferior al nacional, pero que en los municipios de Tezontepec, Tlaxcopapan y Tlahuilpan es mayor que el prevaleciente en el promedio nacional.

Gráfica 14 Situación en el empleo (EE) Área de Tula, 2000



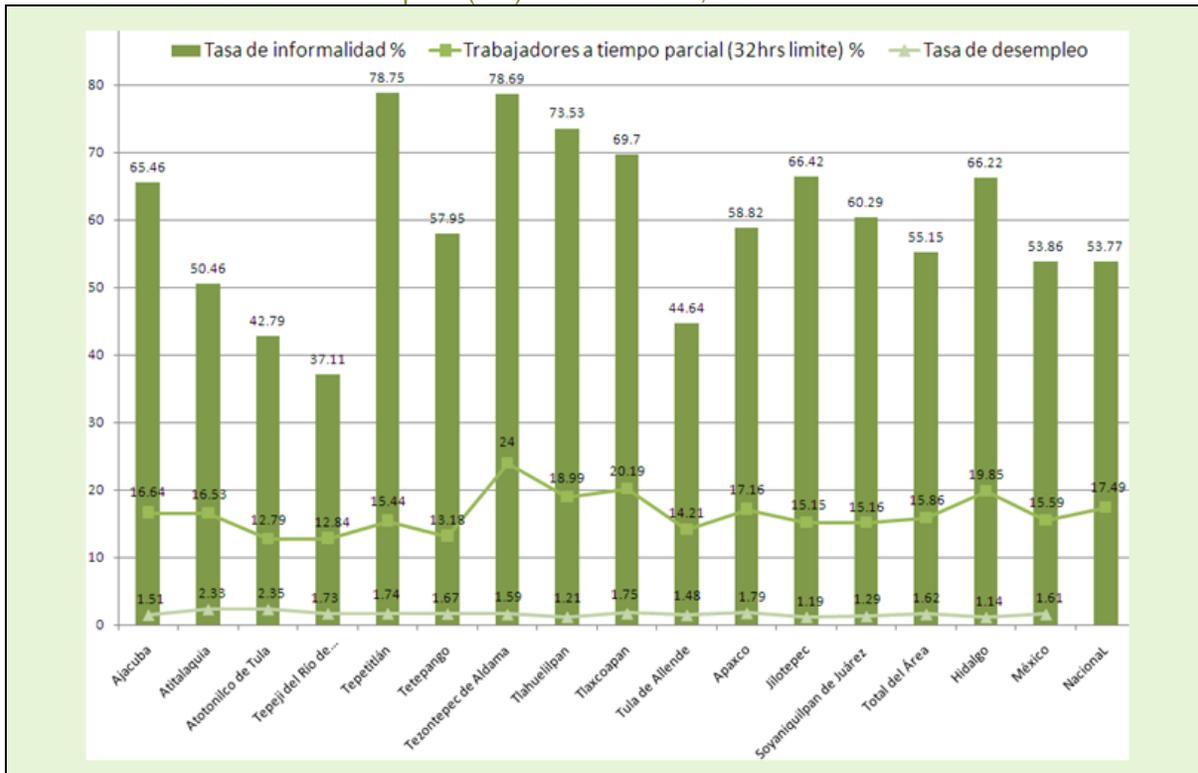
Fuente: Elaboración propia con base a INEGI, Censo de Población 2000

Las condiciones laborales en el área de Tula también se pueden caracterizar de acuerdo con los niveles de informalidad presentes; para ello se utiliza un indicador sustentado en la derechohabencia a los servicios de salud y seguridad social; la tasa de informalidad es superior a la nacional y a la del estado de México, pero inferior a la del estado de Hidalgo. Aunque dicha tasa no es muy superior al nacional si hay en el área municipios con niveles preocupantes de informalidad, como son Tepetitlan, Texontepec y Tlahuleilpan, en donde casi el 80% de la población ocupada carece de protección social.

Finalmente, la tasa de desempleo abierto en el área es indicativa de que los jóvenes son el sector más vulnerable, su tasa es casi un punto porcentual mayor que la del promedio del área, y punto y medio por encima de la que prevalece en los adultos.

La tasa de informalidad, medida por derechohabencia a los servicios de salud y seguridad social, es del 51.71% e indica que en el área los niveles de informalidad son inferiores a los que prevalecen en Guanajuato y en el conjunto del país.

Gráfica 15 Situación en el empleo (EE) Área de Tula, 2000



Fuente: Elaboración propia con base a INEGI, Censo de Población 2000

- Eslabones presentes en la fase de construcción y operación: Personal ocupado

En esta sección se realiza un recuento de la estructura de encadenamientos productivos, derivados del ejercicio de simulación con la matriz de insumo producto, misma ya se ha hecho alusión en las secciones previas. El recuento consiste en identificar, a través de los Censos Económicos, la presencia o no de los subsectores vinculados a las fases de construcción y operación de una refinería. La evaluación de las interacciones se efectúa a través de la identificación de participaciones significativas de empleo dentro de los subsectores presentes en el área. Esto último significa que el mecanismo de transmisión de los impactos de una nueva inversión en refinерías, se transmite vía los eslabones de la cadena asociados a esa inversión y que se encuentren presentes de forma significativa en el área funcional.

En el área funcional de Tula, el ejercicio de simulación de impactos de la cadena productiva, realizado con la matriz de insumo producto, permite mostrar en las Tabla 13 Eslabones presentes en la fase de construcción: Personal ocupado (A) y 14 los eslabonamientos que potencialmente estarían presentes en la fase de construcción de una nueva refinería.

Destacan dos aspectos en los datos de las Tabla 13 Eslabones presentes en la fase de construcción: Personal ocupado (A) y 14; primero, que se encuentran ausentes en la región siete subsectores vinculados a la cadena de la construcción de una nueva refinería y segundo, que la magnitud relativa de los impactos podría ser significativa únicamente en el subsector 324 y en el 212, ya que en ellos la participación del personal ocupado tiene relevancia en la región al compararlo con el nivel nacional, siendo del 8.9% y de 1.4% respectivamente.

En la tabla A y B se muestran los resultados para los eslabonamientos detectados en la cadena productiva de la operación de una nueva refinería, cinco subsectores se encuentran ausentes y sólo en tres la tasa de participación en la ocupación nacional supera el uno por ciento, esto son el 324, el 212 y el 562

Tabla 13 Eslabones presentes en la fase de construcción: Personal ocupado (A)

Mpo/Subsector	237	238	532	212	332	331	327	518	335	321	561	326	333
Ajacuba	16		13		15		9			4	4		
Atitalaquia			10		75		11			4	36	631	1
Atotonilco de Tula		16	15	190	142	23	564			9	11		
Tepeji del Rio			69		202	55	530		187	32	1625	178	6
Tepetitlan			3	4	4		3				1		
Tezontepec de Aldama		1	25	2	45		20			14	39		
Tlahuelilpan	10		19		81		1	1		7	8		
Tlaxcoapan			21		11		21			31	101		
Tula de Allende	71	55	87	457	124		1374			23	1773	25	
Apaxco	21		31	235	49		390			5	6	4	
Jilotepec	29		8		27		39			22	19	4	310
Soyaniquilpan			1	7	6				62	1	1		
Área Funcional	147	72	302	895	781	78	2962	1	249	152	3624	842	317
% del empleon al.	0.069	0.158	0.386	1.373	0.276	0.116	1.582	0.005	0.163	0.215	0.451	0.397	0.305

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, Matriz de Insumo Producto 2003

Tabla 14 Eslabones presentes en la fase de construcción: Personal ocupado (B)

Mpo/ Subsector	324	541	325	516	524	113	322	222	551	211	483	533	323
Ajacuba		4	3					20					
Atitalaquia	3919	18	952					5					13
Atotonilco de Tula	3	22	39					10					1
Tepeji del Rio		188	160				2	63					18
Tepetitlan		1						11					3
Tezontepec de Aldama		6					1	12					2
Tlahuelilpan		14					1	5					4
Tlaxcoapan		44						13					3
Tula de Allende	128	262			15		177	93					35
Apaxco		41						19					6
Jilotepec		28	9					84					12
Soyaniquilpan								5					3
Área Funcional	4050	628	1163	0	15		181	340	0	0	0	0	100
% del empleo nal.	8.904	0.133	0.572	0.0	0.020	0.0	0.196	0.331	0.00	0.00	0.00	0.0	0.094

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, Matriz de Insumo Producto 2003

La concentración económica espacial de las industrias para la construcción y operación de la refinería, así como su distancia entre el centroide de producción y las zonas de abastecimiento, implican costos de transporte que funcionan como barreras y costos crecientes de acuerdo a la distancia a la que se encuentren.

El centroide de Tula se caracteriza por contener el 80% de eslabonamientos de la Construcción de la refinería y el 74% de eslabonamientos de su operación. Por lo que respectivamente el 20% y el 26% potencialmente podrían ser abastecidos mediante proveedores alternativos como son las Ciudades de México, Pachuca y San Juan del Río con distancias que están entre 50 y 100 kilómetros de distancia.

Tabla 15 Eslabones presentes en la fase de operación: Personal ocupado (A)

Mpo./Subsector	324	211	551	325	522	524	523	521	333	533
Ajacuba				3						
Atitalaquia	3919			952					1	
Atotonilco de Tula	3			39						
Tepeji del Río				160	6				6	
Tepetitlan										
Tezontepec de Aldama					3					
Tlaxcoapan					4					
Tula de Allende	128				7	15	2			
Apaxco										
Jilotepec				9	5				310	
Soyaniquilpan										
Área Funcional	4050			1163	25	15	2		317	
Región/nacional %	8.90	0.00	0.00	0.57	0.01	0.02	0.01	0.00	0.31	0.00

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, Matriz de Insumo Producto 2003

Por esa razón, los eslabonamientos productivos de ambas cadenas se identificaron en el espacio; para identificar los lugares potenciales que pueden desempeñar las funciones de abastecimiento, se consideraron gradientes de distancia a partir del centroide de 50 kilómetros; para ello, se considero la cercanía a los principales centros industriales que de acuerdo a la localización de la refinería se podrían desempeñar como lugares proveedores alternativos al centroide o a su zona de influencia inmediata.

Tabla 16 Eslabones presentes en la fase de operación: Personal ocupado (B)

Mpo./Subsector	332	212	541	511	562	532	323	481	561	
Ajacuba	15		4			13			4	
Atitalaquia	75		18			10	13		36	
Atotonilco de Tula	142	190	22			15	1		11	
Tepeji del Río	202		188	8	146	69	18		1625	
Tepetitlan	4	4	1			3	3		1	
Tezontepec de Aldama	45	2	6			25	2		39	
Tlaxcoapan	11		44			21	3		101	

Tula de Allende	124	457	262	19		87	35		1773	
Apaxco	49	235	41			31	6		6	
Jilotepec	27		28			8	12		19	
Soyaniquilpan	6	7				1	3		1	
Área Funcional	700	895	614	27	146	283	96		3616	
Región/nacional %	0.25	1.37	0.13	0.06	1.21	0.36	0.09	0.00	0.45	

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, Matriz de Insumo Producto 2003

2.4 Diagnóstico Ambiental Regional

2.4.1 Aire

Cuenca Atmosférica

Definición

La cuenca atmosférica permite acotar las propiedades meteorológicas y climáticas del área de influencia y del sistema ambiental regional. La cuenca se delimita por ciclos hidrológicos y fronteras topográficas, ya que los factores geofísicos establecen su dinámica interna.

Una cuenca atmosférica es una región que se comporta de manera coherente con respecto a la dispersión de emisiones, ya que elevaciones montañosas y otros factores naturales la delimitan y también permiten determinar atributos meteorológicos y climáticos específicos, donde la calidad del aire a nivel estacional es influenciada por fuentes de emisión antropogénicas y naturales¹⁷. Los factores meteorológicos y la dinámica del flujo del viento en la capa límite son fundamentales para establecer la trayectoria de las masas de aire y las concentraciones de compuestos y elementos químicos en la cuenca.

No existe una metodología única para establecer una cuenca atmosférica, por lo que su extensión puede variar de una a otra. Los siguientes elementos suelen emplearse para determinar una cuenca atmosférica:

1. Altimetría de la zona de estudio
2. Espesor de la capa límite atmosférica
3. Dirección de vientos dominantes
4. Zonas de bajo nivel de ventilación o estancamiento de flujo

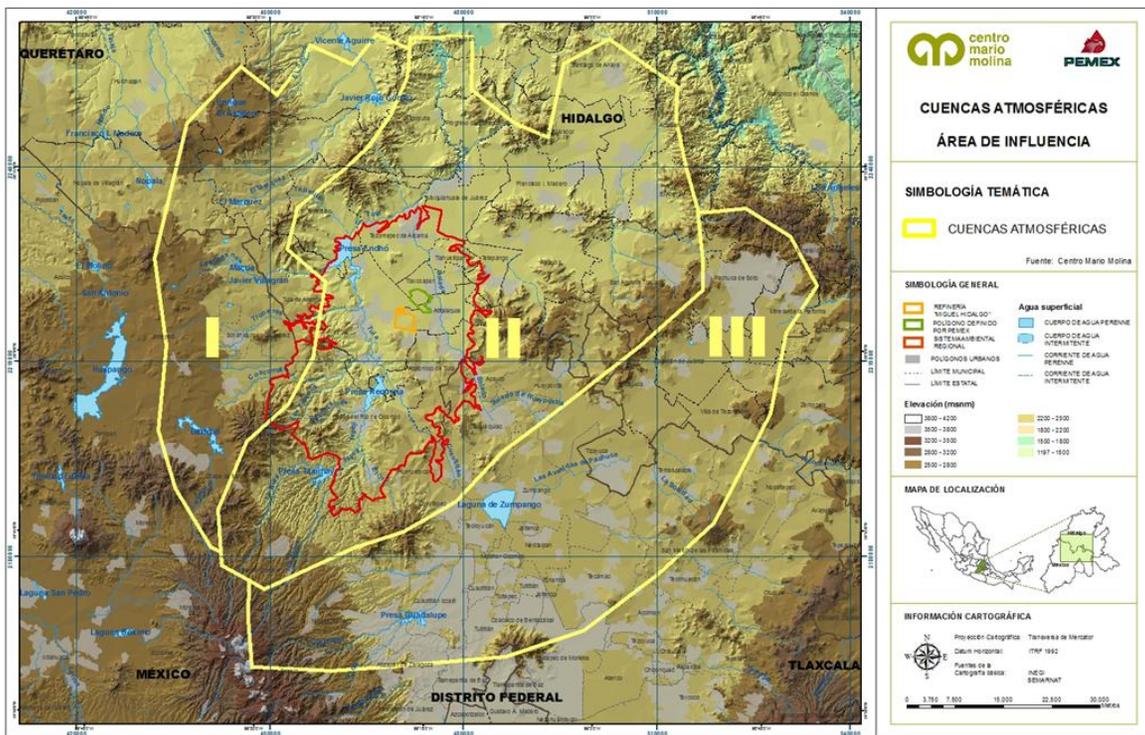
Para delimitar el área de influencia se utilizó un modelo de elevación de la zona de estudio, posteriormente se elaboraron perfiles de elevación a través de valles y zonas montañosas con los que se determinaron tres cuencas atmosféricas: La cuenca I (Alfajayucan) en la parte occidental de la región, la cuenca II (Tula) en la parte central y que comprende el sistema ambiental regional y la cuenca III (Zumpango) que abarca la porción sur y sureste del área de influencia.

La cuenca I abarca los municipios de Chapa de Mota, Jilotepec, Soyaniquilpan, Chapatongo y Alfajayucan. Contiene las presas Javier Rojo Gómez, Enrique, El Astillero, El Marquez, Macua y Danxhó. Tiene una altitud promedio de 2,500 metros sobre el nivel del mar (msnm) y se delimita orográficamente al norte por el cerro Los Pelones (2,700 msnm) y al oriente por Mesa Grande (2,700 msnm), Cerro Grande (2750 msnm), el altiplano de elevación en los municipios de Jilotepec y Chapatongo y el macizo montañoso del municipio de Chicautla.

¹⁷ Magaña y Caetano, *Identificación de cuencas atmosféricas en México*, Instituto Nacional de Ecología, 2007

La cuenca II corresponde a la zona central del área de influencia y abarca el sistema ambiental regional. Al norte se encuentran los municipios Ixmiquilpan y Santiago de Anaya, al oeste los municipios Tepetitlán y Tula de Allende, al sur Villa de Carbón y al este Huehuetoca, Hueypoxtla y El Arenal. Esta cuenca contiene las presas Endhó y Requena, así como la refinería Miguel Hidalgo y el polígono definido por Petróleos Mexicanos. Su elevación varía entre 2,500-2,800 msnm. El macizo montañoso del cerro Cañada Honda (3,600 msnm) y el cerro Las Navajas (3600 msnm) que se encuentran cerca de Chapa de Mota delimitan la cuenca por el sur, la sierra de Pachuca que se encuentra en los municipios Ixmiquilpan, Progreso de Obregón y Santiago de Anaya al norte, el cerro La Vaca (2850 msnm) y la zona de elevación de Actopan y San Agustín Tlaxacan al este.

Figura 23: Cuencas atmosféricas en el área de estudio



La cuenca III se delimita al sur por los municipios de Nicolás Romero y Tultitlán; al este por los municipios Tecámac y Villa de Tezontepec y al norte por la sierra de Pachuca y Mineral de la Reforma. La región contiene dos grandes cuerpos de agua (laguna de Zumpango y presa Guadalupe) y casi toda pertenece al Estado de México¹⁸. Esta cuenca colinda al sur con los cerros Pico Tres Padres (2,850 msnm) y el Chiquihuite (2700 msnm), así como con la cuenca del valle de México que abarca toda la zona metropolitana de la ciudad de México.

¹⁸ Gobierno del Estado de México, *Cuencas atmosféricas del Estado de México*, Secretaría de Medio Ambiente, 2007

Estaciones meteorológicas

Las variables meteorológicas que normalmente se emplean para describir el comportamiento de las masas de aire en superficie son: presión atmosférica, temperatura, humedad relativa, precipitación, dirección e intensidad del viento y radiación solar. Las variaciones o desviaciones de estas variables meteorológicas permiten establecer con más precisión las condiciones predominantes del aire.

Las condiciones de las masas de aire en la altura se determinan generalmente con radiosondas, equipos de percepción remota o modelos matemáticos que determinan variables meteorológicas a distintas elevaciones sobre la superficie. Los equipos permiten conocer con más precisión la altura de las capas estables donde ocurre el mezclado de contaminantes, así como la capacidad de dispersión o concentración de especies en la atmósfera.

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) cuenta con observatorios, estaciones manuales y automáticas para registrar distintas variables meteorológicas. Las observaciones y registros se rigen a la normatividad establecida por la Organización Meteorológica Mundial. Los observatorios trabajan ininterrumpidamente; sin embargo, por falta de personal únicamente 27% labora de esta forma. El observatorio más cercano al sistema ambiental regional se encuentra aproximadamente 50 km al este, en la ciudad de Pachuca, por lo que sus registros meteorológicos son poco representativos del área de estudio.

Las estaciones meteorológicas automáticas cuentan con dispositivos eléctricos y mecánicos que realizan mediciones de las variables meteorológicas de forma automática para generar archivos del promedio de 10 minutos de todas las variables. El SMN cuenta también con otra red de estaciones meteorológicas manuales que registran únicamente temperatura y precipitación.

El Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México cuenta con estaciones automáticas dentro del área de influencia de la refinería. Sin embargo, varias estaciones son muy recientes, por lo que su acervo de datos es escaso, pues data de enero de 2009 a la fecha.

Tabla 1: Estaciones meteorológicas automáticas del SMN cercanas al SAR

Estado	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
Estado de México	Laguna de Zumpango	19°48'28"	99°07'51"	2262
	Presa Guadalupe	19°38'01"	99°15'03"	2313
Hidalgo	Ixmiquilpan	20°29'46"	99°10'52"	2272
	Actopan	20°16'50"	98°58'21"	1993
	Mixquiahuala	20°13'46"	99°12'55"	2009
	Presa Rojo Gómez	20°21'34"	99°19'07"	1996
	Tula de Rosas	20°03'24"	99°28'18"	2767

El Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) cuenta con una red estaciones agroclimáticas en el país. Dos estaciones meteorológicas se ubican dentro del área de influencia, pero no registran datos de manera continua y tampoco abarcan todas las variables meteorológicas.

La Comisión Federal de Electricidad tiene una estación meteorológica en las instalaciones de la termoeléctrica Ing. Francisco Pérez Ríos. Ésta registra temperatura, dirección e intensidad del viento, radiación solar, presión atmosférica y humedad relativa cada 10 minutos. La estación tiene un acervo de datos desde 1995 y es la más cercana a la refinería Miguel Hidalgo y al polígono donde se planea instalar la nueva planta de PEMEX. No hay otra estación en un radio de 5 km con la que pudiese compararse sus registros y establecer un campo de vientos de la región, lo cual hubiese sido de suma importancia para determinar el comportamiento de las masas de aire en la cuenca II. La siguiente figura muestra las rosas de viento por mes de la estación meteorológica ubicada en la planta termoeléctrica Francisco Pérez Ríos.

Meteorología

Las cuencas I, II y III presentan vientos sinópticos ligeros, con una radiación subtropical de latitudes altas y la formación de capas estables durante la noche, así como circulaciones activas en la capa de mezcla durante el día influenciadas por el terreno irregular¹⁹. En la estación fría del año, las cuencas reciben frentes fríos (Nortes) que transportan aire frío y húmedo. Este fenómeno reduce el mezclado vertical e incrementa las lluvias y las nubes. Por otro lado, en la temporada caliente persisten sistemas de alta presión que reducen las lluvias.

La cuenca III colinda con una mucho más grande que abarca la zona metropolitana de la ciudad de México, donde los gases y las partículas resultantes de actividades humanas afectan la pobre calidad del aire de la región.

Los efectos dinámicos y térmicos de la urbanización también se combinan para producir eventos con altas concentraciones de ozono y partículas²⁰. Algunos experimentos indican que durante el día se presenta un transporte de contaminantes fuera de la ciudad de México hacia las zonas de menos elevación al norte-noreste y en las noches el transporte de contaminantes se revierte hacia la ciudad²¹. Los modelos de circulación general sugieren un fenómeno de gradiente de temperaturas horizontales entre las cuencas más calientes y pobladas y el aire marino que proviene del este y fluye al interior del valle. Sin embargo, no existen observaciones medibles para confirmar dicho comportamiento de circulación a lo largo del año.

Mediciones del viento en superficie en la cuenca del valle de México indican que los gradientes térmicos producen una fuerte convergencia de vientos en las tardes promoviendo eventos con altas concentraciones de ozono y otros contaminantes. De hecho, se han registrado concentraciones de ozono cercanas a los 400 ppb en el norte de la ciudad. Observaciones de vientos en el perfil vertical de la atmósfera indican que la capa de mezcla tiene un rápido crecimiento, a una tasa de 600 m/h, entre las 11:00 y las 13:30 horas tiempo local y llega a los 2,000 metros sobre la superficie terrestre (msst).

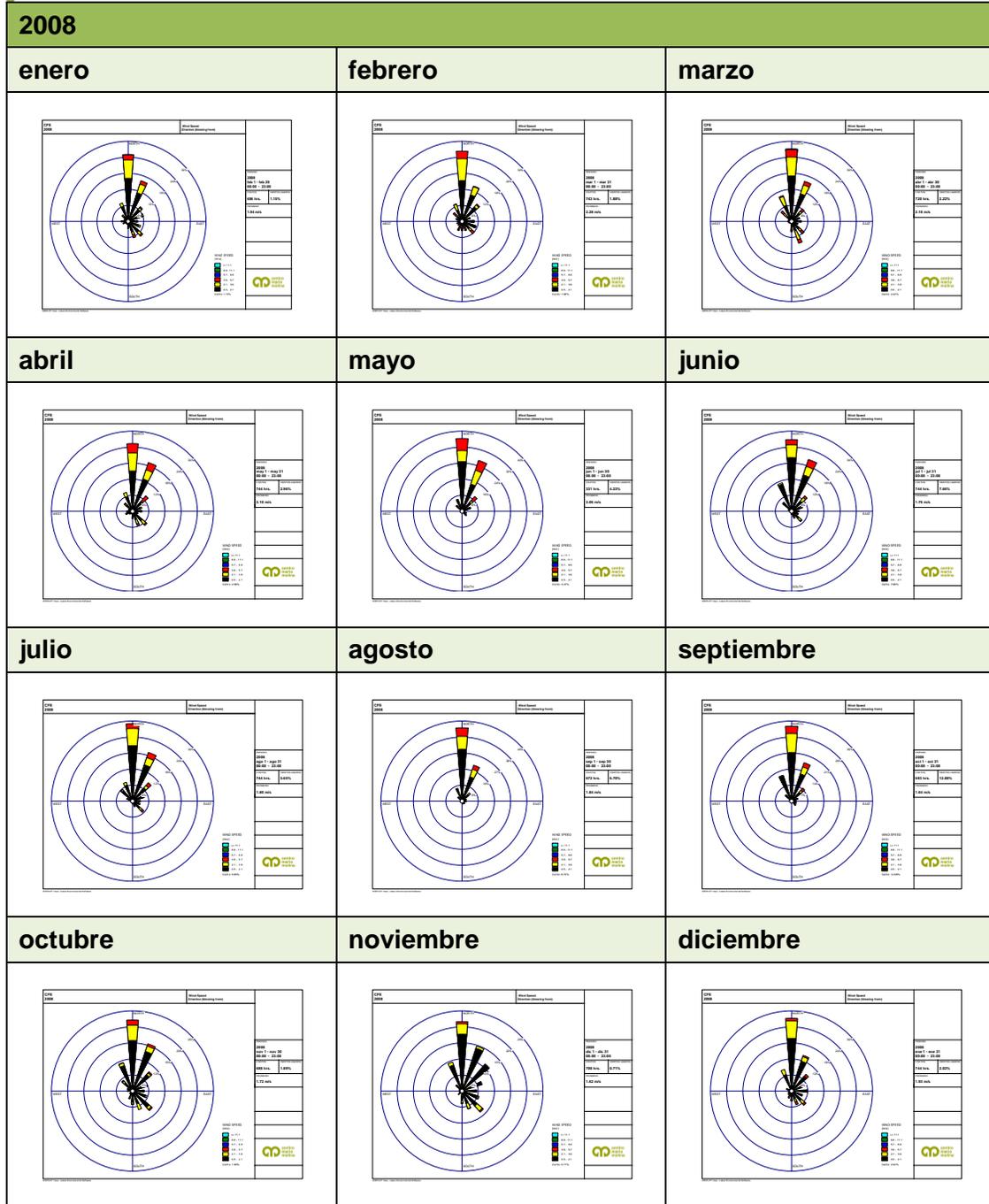
¹⁹ Rivera C. *et al*, *Atmos. Chem. Phys.*, **9**, 6351-6361, 2009

²⁰ Fast J. *et al*, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, **7**, 2037-2089, 2007

²¹ Raga G. *et al*, *Atmos. Environ.*, **35**, 4041-4058, 2001

Entre las 13:30 y las 16:30 las tasas de crecimiento y de calentamiento de la capa de mezcla decrecen significativamente y de las 16:30 a las 19:30 la capa sufre un enfriamiento equivalente a la mitad del calentamiento diurno a una altura de 2,250 msst²².

Figura 2: Rosas de viento, 2008. Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos

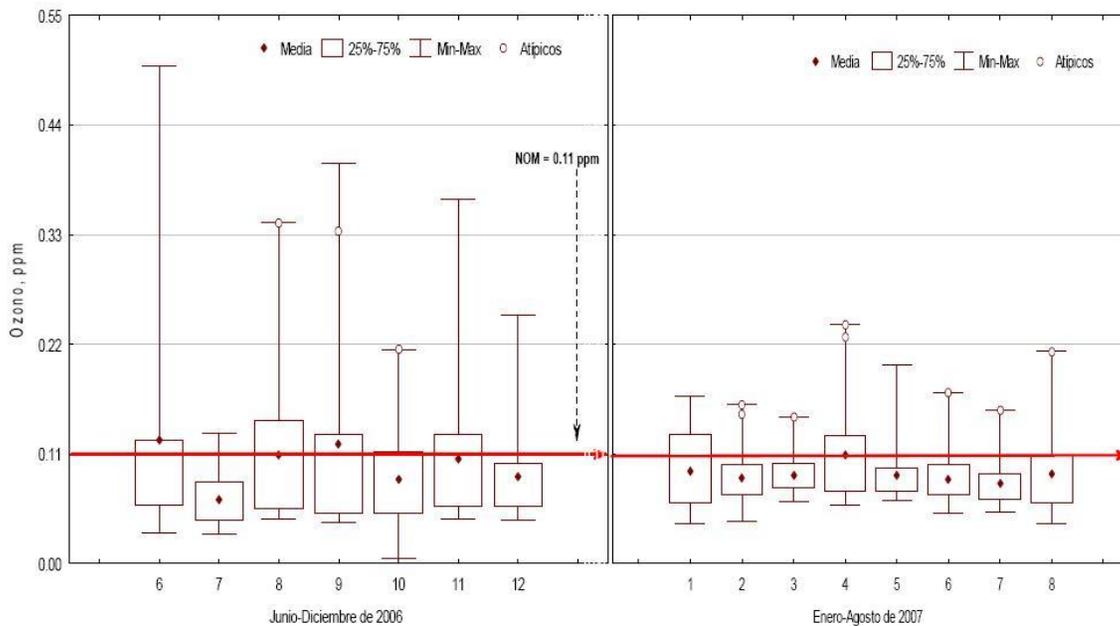


superficie terrestre y conllevan a gradientes de presión horizontal de sistemas de vientos de montaña. A las 06:00, la temperatura en la cuenca es ligeramente baja, lo que posiblemente exagera los episodios de inversiones térmicas que se forman en esta cuenca. La topografía de la región determina el patrón de vientos dominante. Vientos del noreste y sureste soplan a la cuenca del valle de México durante el día y del suroeste en las tardes y noches²³. Este comportamiento en la dirección del viento se relaciona directamente con la concentración de contaminantes en la zona metropolitana de la ciudad de México. Sin embargo, la ausencia de mediciones ha impedido comprobar si es un fenómeno aislado o un patrón definido característico de la cuenca del valle de México.

Whiteman²⁴ describe que el patrón de vientos dentro del valle de México es muy débil (~1 m/s) debajo de una altitud de 1,000-1,500 m y muy variable en su dirección. Sin embargo, al mediodía y la tarde con frecuencia se presentan fuertes vientos cerca de la superficie causados por los gradientes horizontales de presión y por las tardes a una altitud de 2,800 msst se presentan los vientos más fuertes en Cuautitlán con dirección suroeste, lo que promueve la dispersión de contaminantes de la cuenca III a las II y I.

Calidad del aire

La Universidad Politécnica de Pachuca (UPP) realizó en el año 2007 un estudio de la calidad del aire en el corredor Tula-Tepeji del Río, en el que analizó las concentraciones de contaminantes criterio, como O₃, NO₂, CO, SO₂ y partículas²⁵. La Comisión Estatal de Ecología del Estado de Hidalgo (COEDE) proporcionó parte de la información.



SERIES DE TIEMPO DEL PROMEDIO MENSUAL DE LAS CONCENTRACIONES ATMOSFÉRICAS DE O₃, 2006-2007

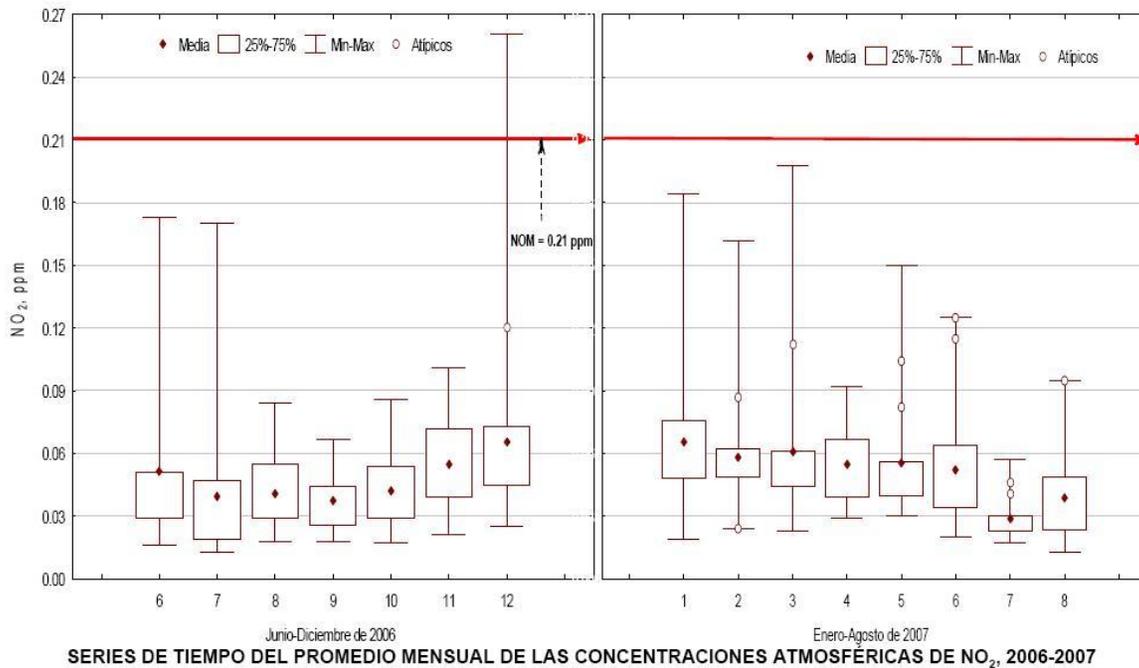
²³ Raga G. et al, *Atmos. Environ.*, **33**, 5013-5021, 1999

²⁴ Whiteman C. et al, *Journal of Geophysical Research*, **105**, D8, 10814-10102, 2000

²⁵ Lucho, C., Contaminación del aire en la región Tula-Tepeji, Hidalgo, UPP, 2008

El estudio abarca registros de contaminantes de junio de 2006 a agosto de 2007. En él se concluye que los promedios mensuales de las concentraciones de O_3 registradas en la ciudad de Tula de Allende en ocasiones rebasan las normas de calidad del aire y los eventos máximos llegaban a duplicar la concentración normada.

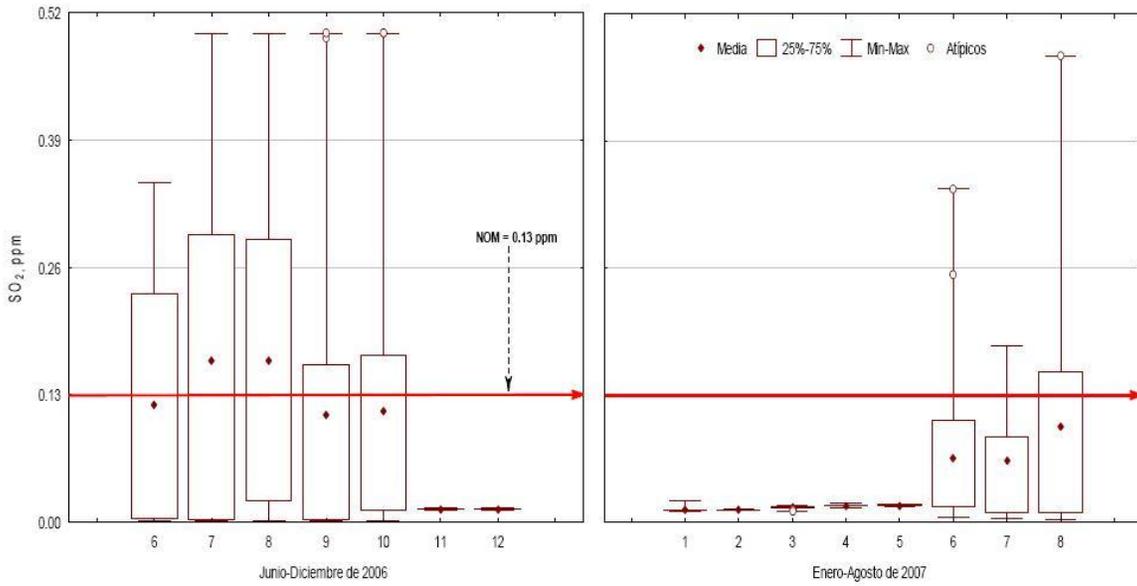
Por el contrario, los promedios mensuales de las concentraciones de NO_2 estaban debajo de la norma. Los registros de concentraciones máximas de NO_2 en Tula de Allende tampoco rebasaban la norma, salvo en episodios aislados que no degradan significativamente la calidad del aire de la localidad. Sin embargo, el NO_2 es un precursor de ozono, por lo que su estancia en la atmósfera es relativamente baja, pues su desaparición se vincula con la aparición de O_3 .



Con el SO_2 se repite el comportamiento de altos niveles de contaminantes; los promedios mensuales en Tula de Allende tienen sus niveles máximos en la temporada de lluvias (junio a octubre) y llegan a rebasar la norma de calidad de aire, lo que resulta en un empobrecimiento de las condiciones atmosféricas de la localidad.

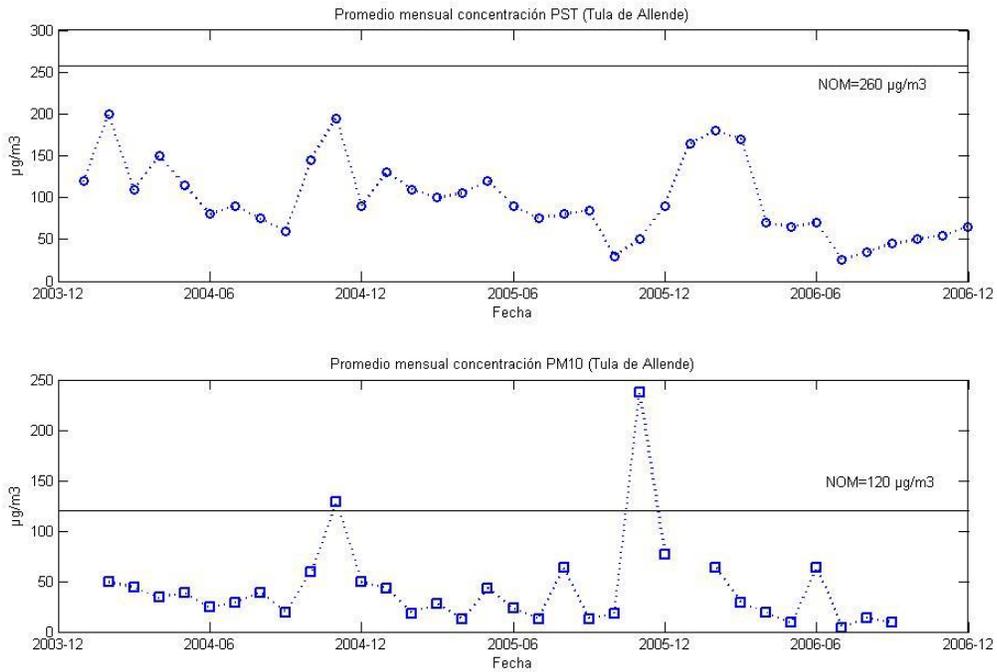
La cantidad de partículas varía mucho con el tiempo. Los promedios mensuales de las concentraciones de partículas suspendidas totales (PST) se encuentran debajo del límite establecido en la norma. Sin embargo, los promedios anuales de 2004 ($119 \mu g/m^3$), 2005 ($88 \mu g/m^3$) y 2006 ($82 \mu g/m^3$) rebasan el límite de la norma de $75 \mu g/m^3$.

El promedio de las concentraciones de partículas PM_{10} tiene un comportamiento distinto. En el lapso del 2004-2006, el promedio mensual de concentraciones rebasó el límite de norma en dos ocasiones y pese a que los promedios mensuales se encuentran dentro de la norma, las variaciones son tan grandes que se llega a rebasar el límite normado. El promedio de las concentraciones anuales de PM_{10} se encuentran dentro de los límites establecidos de $50 \mu g/m^3$.



SERIES DE TIEMPO DEL PROMEDIO MENSUAL DE LAS CONCENTRACIONES ATMOSFÉRICAS DE SO₂, 2006-2007

En los análisis de elementos se determinaron grandes concentraciones de V, Si, Ti, S, y Pb. Algunos de éstos, como el V, están ligados a procesos industriales de refinación o generación de electricidad²⁶.



²⁶ Lucho A., *Contaminación del aire en la region Tula-Tepeji del Rio, 2007*

El COEDE estimó que en el año 2002 la emisión de total de contaminantes en la región Tula, Tepeji, Atitalaquia y Atotonilco de Tula ascendió a 455 mil toneladas y las fuentes puntuales eran responsables de 83% del total de emisiones²⁷. Esta carga de contaminantes es lo suficiente grande como para promover episodios de mala calidad de aire en la región.

El monitoreo de gases criterio, SO₂, NO₂, O₃, CO, HC, etc. no es común en la zona, por lo que se carece de datos confiables sobre las concentraciones promedio de estos gases en la región.

Existe una red de monitoreo atmosférico en la región Tula-Tepeji con ocho muestreadores de partículas, dos estacones fijas y una unidad móvil. Además, el Programa de mejoramiento de la calidad del aire en la Región Tula-Tepeji del Río comenzó en el año 2007 con participación de autoridades locales, estatales y federales.

MILAGRO

En marzo de 2006 se llevó a cabo el experimento *Megacities Impact: Local and Global Research Observations* (MILAGRO) para evaluar el impacto de la dispersión de contaminantes fuera de la ciudad de México. Se realizaron mediciones *in situ* y remotas de parámetros meteorológicos y contaminantes dentro y fuera de la ciudad. Algunas modelaciones también indicaron que la convergencia de vientos cerca de la superficie terrestre y otros flujos regidos por la temperatura pueden ventilar los contaminantes fuera del valle de la ciudad y reducir la probabilidad de acumulación, así como transportarlos miles de kilómetros lejos de su origen. La parte preliminar de estos estudios concluyó que la complejidad del terreno produce circulaciones locales y regionales que controlan el transporte en corto plazo, confirmando los estudios Whiteman²⁸.

Durante MILAGRO se determinaron varias zonas de convergencia de vientos que tenían concentraciones de ozono de 185 ppb a las 15:00. Sin embargo, al norte de la ciudad se determinaron concentraciones de partículas más altas de lo normal. También se observó un canal de transporte de contaminantes hacia la Sierra de Guadalupe²⁹. Con observaciones de satélite se pudo comprobar el patrón de convergencia de vientos en el área metropolitana de la ciudad de México, donde la distribución espacial del ozono en superficie se vincula a las líneas de convergencia de los frentes marinos del Pacífico y el Golfo de México, así como a los movimientos de masas de aire en zonas montañosas.

Experimentos con detectores remotos permitieron medir concentraciones de partículas en la pluma de contaminación que emana de la ciudad de México, cuyo promedio diario es 200 µg/m³, con episodios de concentraciones hasta de 900 µg/m³. Además, las partículas pueden elevarse con relativa facilidad a 1,500 m sobre la superficie terrestre, una altura que fácilmente sobrepasa la elevación de montes y cerros aledaños³⁰.

Las emisiones vehiculares en la zona metropolitana de la ciudad de México proporcionan grandes cantidades de NO_x y compuestos orgánicos volátiles (COV) que son precursores de ozono troposférico con actividad fotoquímica. La concentración de los COV llega a ser

²⁷ Consejo Estatal de Ecología del Estado de Hidalgo-SEMARNAT, *Inventario de emisiones de la región Tula-Tepeji*, 1ª ed., 2006

²⁸ Fast J. *et al*, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, **7**, 2037-2089, 2007

²⁹ de Foy B. *et al*, *Atmos. Chem. Phys.*, **6**, 1249-1265, 2006

³⁰ Lewandowski P. *et al*, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, **9**, 6827-6854, 2009

de 1.5 ppm en horas de tráfico intenso. En consecuencia, la tasa de generación de O_3 llega rápido a 50 ppbv/h y las partículas $PM_{2.5}$ se encuentran en concentraciones de $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con episodios que rebasan los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Inventario de emisiones

El complejo industrial de Tula, de acuerdo con el inventario de emisiones de SEMARNAT de 2002, emite anualmente alrededor de 346 mil toneladas de SO_2 y 36 mil toneladas de NO_2 . Los principales emisores son la termoeléctrica Francisco Pérez Ríos y la refinería Miguel Hidalgo. Ambas industrias son responsables de generar casi 90% del SO_2 y 80% del NO_x del total de emisiones en el estado de Hidalgo³¹. La tabla 2 muestra las emisiones en el año 2008 por industria, las cuales muestran una notable reducción con respecto al reporte de SEMARNAT de 2002.

La refinería procesa alrededor de 296 mil barriles por día de crudo, lo que representa casi 20% de la capacidad total nacional. La refinería consume residuos líquidos y gaseosos para satisfacer su demanda energética de refinación. La termoeléctrica tiene una capacidad instalada de 2,000 megavatios distribuidos en nueve unidades que combinan tecnologías de vapor y ciclo combinado.

Para el año 2006, el promedio de las estimaciones de generación de la refinería y la termoeléctrica juntas eran 384 t/día de SO_2 y 24 t/día de NO_x . Ha habido una disminución gradual de las emisiones desde 1999; sin embargo, la región de Tula continúa siendo una fuente importante de SO_2 a la zona metropolitana de la Ciudad de México³². Además, existen importantes desviaciones entre las modelaciones y las mediciones directas, quizá debidas a las variaciones de emisión de las industrias, así como las imprecisiones de los modelos con la meteorología que predomina en la zona.

En el sistema ambiental regional se elaboró un inventario de emisiones con las Cédulas de Operación Anual del 2008 de SEMARNAT, para determinar las emisiones anuales de las principales industrias de la región.

³¹ Consejo Estatal de Ecología del Estado de Hidalgo-SEMARNAT, *Inventario de emisiones de la región Tula-Tepeji*, 1ª ed., 2006

³² Rivera C. et al, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 6351-6361, 2009

Inventario de emisiones

Tabla 2: Inventario de emisiones SAR 2008 (toneladas anuales)

INDUSTRIA	SOX	NOX	CO	PART	PM10	PM2.5
CALERAS BERTRAN, S.A. DE C.V.	293.76	78.80	42.59	120.49	120.49	3.74
COOPERATIVA LA CRUZ AZUL, S.C.L.	111.35	1,218.12	189.72	2,101.81	317.25	4.64
CERILLERA LA CENTRAL, S.A. DE C.V.	0.03	2.92	0.05	0.67	0.02	0.00
CEMEX DE MEXICO, S.A. DE C.V. PLANTA ATOTONILCO	15.68	2,284.29	1,831.05	144.78	144.78	0.35
PETROQUIMICA TULA, S.A. DE C.V.	0.04	7.28	6.12	0.55	0.55	0.55
SOCIEDAD COOPERATIVA TRABAJADORES CAL "EL TIGRE", S.C. DE R.L	141.77	14.19	1.29	26.38	15.41	0.37
PEMEX REFINACION REFINERIA "MIGUEL HIDALGO"	72,635.34	4,681.73	1,378.54	3,049.00	2,229.29	1,634.91
CFE CENTRAL TERMOELECTRICA FCO. PEREZ R.	107,415.53	8,952.35	954.80	6,943.99	4,983.68	3,597.61
TOTAL (t/año)	183,380.61	18,289.09	5,836.75	12,759.20	8,055.27	5,390.37

Modelo de dispersión

Para estimar la dispersión de los diversos contaminantes de varias fuentes puntuales en la zona de estudio se utilizó el programa AERMOD. Éste fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos, misma que ha elaborado, validado y certificado este programa para hacer estudios de dispersión de contaminantes sin interacción química en la atmósfera. A continuación se listan los principales componentes del programa:

- AERMOD realiza los cálculos de concentración de contaminantes considerando la generación de un pluma de distribución normal y utiliza dos subrutinas para incorporar la evolución atmosférica de los contaminantes en la capa límite (AERMET) y la topografía de la región (AERMAP).
- AERMET lee dos archivos meteorológicos, uno de información en superficie que contiene veinte variables y el otro con ocho que describen el perfil vertical de vientos. Con esta información calcula la altura y el potencial de mezclado de la atmósfera.
- AERMAP lee información de archivos relacionada con la elevación de los puntos de emisión para adaptar la dispersión de la pluma con la topografía del área de estudio.
- AERMOD presenta la información con las concentraciones del contaminante a nivel de superficie en coordenadas XY, además de presentar un gráfico con la extensión de las concentraciones máximas en promedios horarios predeterminados que incorporan la topografía del lugar.
- AERMOD lee además información de otro documento con características específicas de los puntos de emisión. La siguiente tabla indica la información que requieren las tres subrutinas para ejecutar el programa.

Tabla 17: Información que requiere las subrutinas del programa AERMOD para calcular la pluma de dispersión

Parámetro		Unidades	AERMOD	AERMET	AERMAP
1	Año	XX		√	
2	Mes	XX		√	
3	Día	XX		√	
4	Hora	X		√	
5	Calor sensible	W/m ²		√	
6	Velocidad de fricción en superficie	m/s		√	
7	Escala de velocidad convectiva	m/s		√	
8	Temperatura potencial	K		√	
9	Altura de la capa límite	m		√	
10	Altura mecánica de la capa límite	m		√	
11	Longitud de Monin-Obukhov	m		√	
12	Rugosidad de superficie	m		√	
13	Radio de Bowen			√	
14	Albedo			√	
15	Velocidad viento	m/s		√	
16	Dirección del viento	°		√	
17	Altura de la medición	m		√	
18	Temperatura	K		√	
19	Coordenadas del punto de emisión			√	√
20	Coordenadas de elevación				√
21	Presión barométrica	mb		√	
22	Altura de la chimenea	m	√		
23	Diámetro interno de la chimenea	m	√		
24	Temperatura de emisión	K	√		
25	Velocidad de emisión	m/s	√		
26	Flujo másico de emisión	kg/s	√		
27	Flujo volumétrico de emisión	m ³ /s	√		
28	Flujo másico del contaminante	kg/s	√		
29	Área potencial de impacto	m ²			√

Información meteorológica

Los datos meteorológicos empleados en la modelación provienen de la estación de la Comisión Federal de Electricidad. La estación está en las instalaciones de la termoeléctrica Francisco Pérez Ríos y registra cada 10 minutos velocidad y dirección del viento, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica.

Los datos meteorológicos se reagruparon en tres temporadas. La temporada seca caliente abarca los meses de marzo a mayo. La temporada de lluvias corresponde a los meses de junio a septiembre y la temporada seca fría va de octubre a febrero. Se eligieron los datos de 2008 por ser los más actuales y por tener un formato más fácil de convertir a la forma en que los requiere la subrutina que procesa los datos meteorológicos.

Para facilitar el manejo de datos meteorológicos se eligieron grupos de datos representativos de cada temporada. Para la seca fría se eligió el conjunto de datos que abarca la semana del 1 al 8 de enero. Para la temporada seca caliente se emplearon los datos meteorológicos de la semana del 1 al 8 de abril y la semana del 8 al 15 de septiembre correspondiente a la temporada de lluvias.

Estimación de los parámetros meteorológicos faltantes

Existen datos que la subrutina AERMET requiere y no son determinados en la estación meteorológica. Esos datos (del 5 al 14 de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se estimaron con ecuaciones y correlaciones para completar los archivos meteorológicos.

- El calor sensible se refiere a la cantidad de calor que irradia la superficie. La velocidad de fricción en superficie y la escala de velocidad convectiva son parámetros que determinan las propiedades de la capa límite.
- La temperatura potencial se refiere a la temperatura de una parcela de aire seco expandida adiabáticamente.
- La altura mecánica de la capa límite representa el estrato de aire donde se dispersan los contaminantes en la atmósfera, emitidos desde la superficie terrestre. La longitud de Monin-Obukhov es una medición de estabilidad atmosférica.
- La rugosidad de superficie se relaciona con obstáculos que enfrenta el viento y corresponde a la altura donde la velocidad horizontal del viento es cercana a cero.
- El radio de Bowen es un indicador de humedad en superficie y el albedo corresponde a la fracción reflejada de radiación total incidente en superficie.

Plumas de dispersión de contaminantes

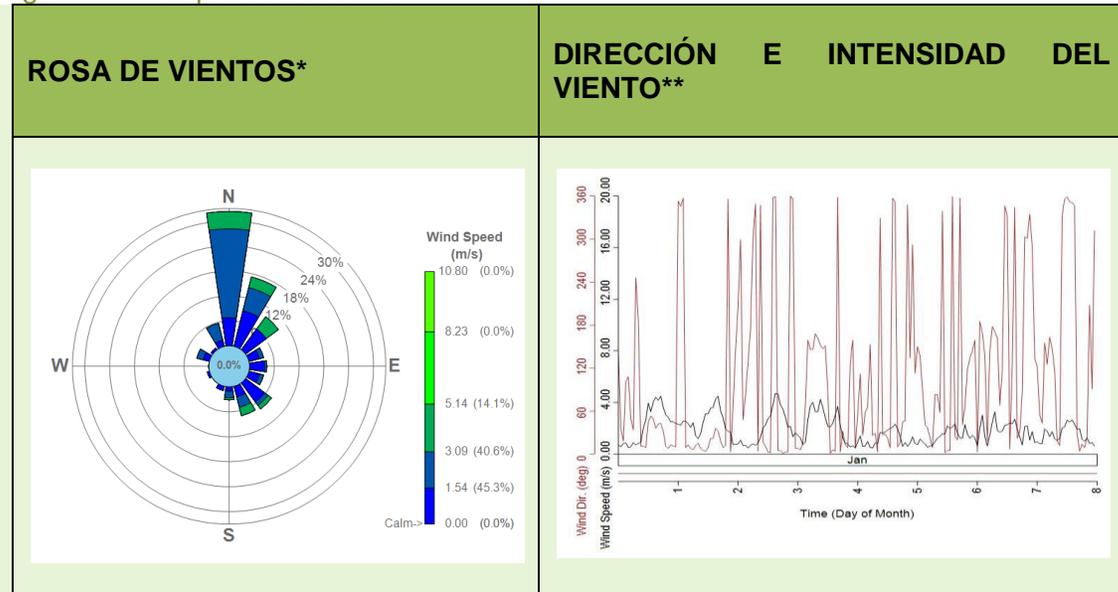
Se calcularon plumas de dispersión de contaminantes para bióxido de azufre, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno en las temporadas seca caliente, seca fría y lluvias. Las modelaciones se hicieron en promedios horarios o diarios que coinciden con las normas ambientales aplicables en la legislación mexicana. La pluma de dispersión representa las

condiciones de emisión del año 2008 y se considera como el escenario base para estudios futuros.

Temporada seca fría

En la temporada seca fría se eligieron los datos meteorológicos de la semana que comprende del 1 al 8 de enero de 2008. La imagen a continuación muestra la distribución de frecuencias en la dirección y velocidad del viento.

Figura 24: Temporada seca fría



* Distribución de frecuencia en la dirección y velocidad del viento, temporada seca fría (1-8 enero 2008)

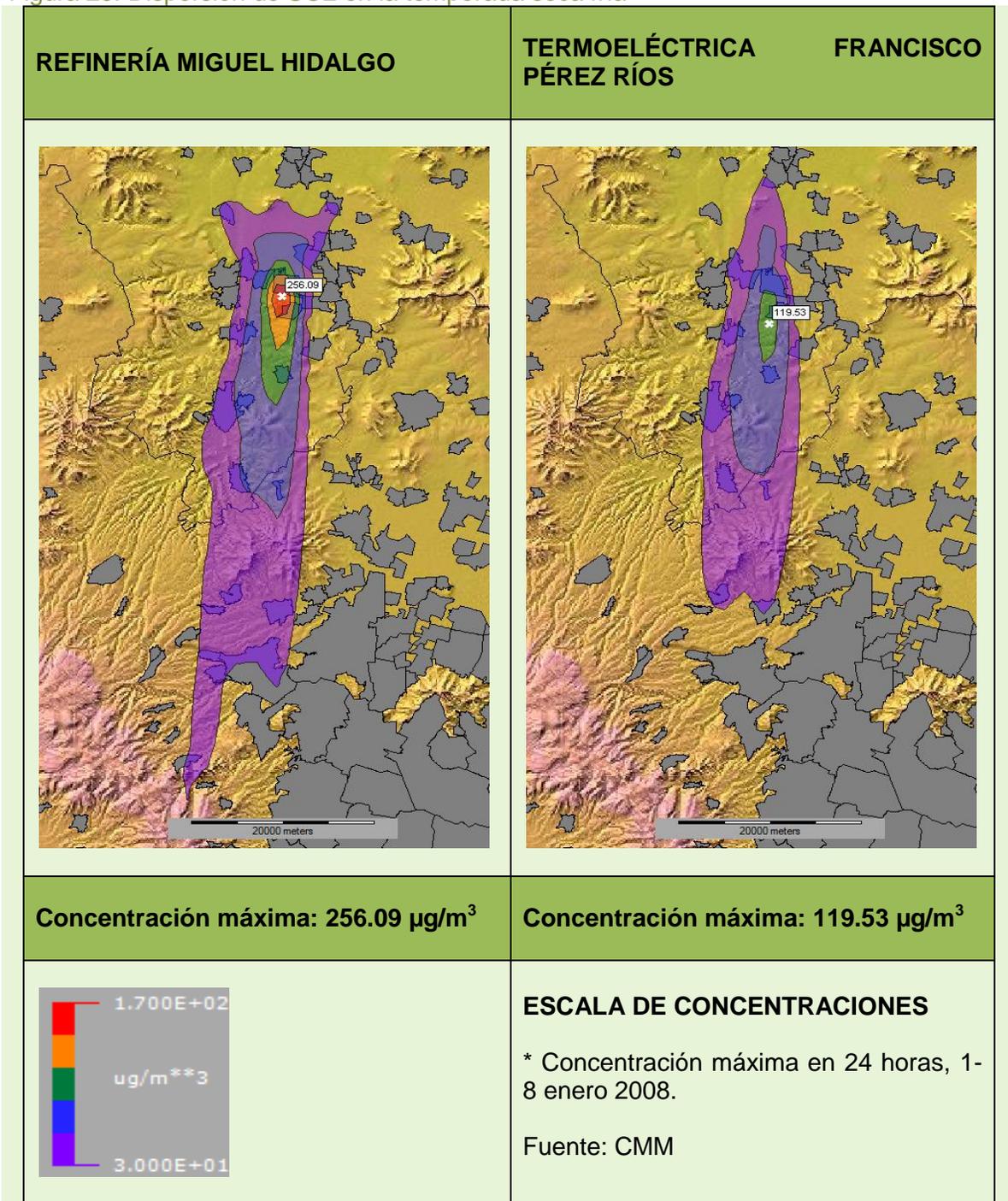
** Dirección (Wind Dir.) e intensidad (Wind Speed) de los vientos en la semana de 1-8 enero 2008.

Fuente: CMM

En general, durante el día los vientos predominantes son norte-noreste. De las 0:00 hasta las 8:00 los vientos provienen del sur-sureste y a partir de las 12:00 la dirección del viento cambia de norte-noreste y se mantiene así hasta medianoche. La intensidad del viento tiene un comportamiento similar. En las noches y madrugadas desciende a los valores mínimos y aumenta durante el día para tener la máxima alrededor de las 18:00. La Figura 24 muestra el comportamiento diario de la dirección e intensidad del viento en los días de modelación de la temporada seca fría.

La modelación de la pluma de SO₂ considera 56 fuentes de emisión: 49 de PEMEX y 5 de CFE y estima la concentración máxima calculada en 24 horas. La norma oficial mexicana NOM-022-SSA1-1993 establece como límite máximo permisible de SO₂, una concentración de 0.13 ppm equivalentes a 341 µg/m³, en 24 horas una vez al año.

Figura 25: Dispersión de SO₂ en la temporada seca fría*



La velocidad del viento en esta temporada ocasiona que la pluma de SO₂ viaje grandes distancias, por lo que las emisiones de la refinería Miguel Hidalgo y la termoeléctrica Francisco Pérez Ríos pueden ser transportadas a más de 60 km y 40 km de distancia de la fuente respectivamente.

En el caso de la pluma de la refinería, las concentraciones superiores a $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alcanzan el poblado de Bomintzá a 3.5 km de la refinería. Las concentraciones entre 130 y $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rebasan el poblado de Melchor Ocampo (El Salto) y las concentraciones menores a $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se encuentran desde Tepeji del Río hasta Santa María Mazatla en el Estado de México, a una distancia cercana a los 60 km.

En el caso de la bióxido de azufre emitido por la termoeléctrica, la concentración máxima es $119.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se localiza a 6.5 km de la fuente, al sur de Bomintzá. Las concentraciones entre 90 y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se encuentran de 10 a 25 km al sur y aquellas menores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se dispersan hasta 40 km al sur de la termoeléctrica.

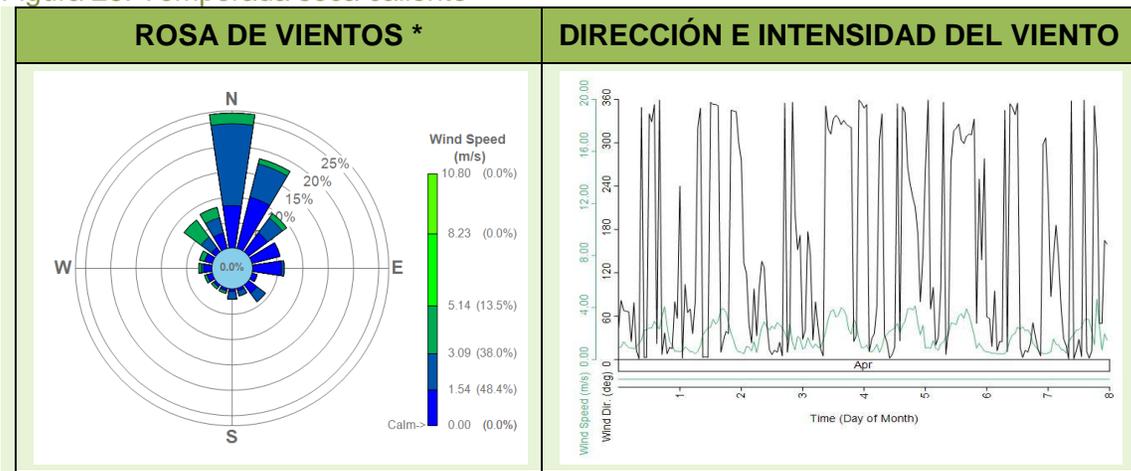
Temporada seca caliente

La temporada seca caliente comprende los meses de marzo a mayo y se caracteriza por tener una temperatura promedio más alta, lluvias escasas y alta radiación solar. Estos factores propician reacciones fotoquímicas en la atmósfera, como la formación de ozono en la capa límite.

Al igual que en la temporada seca fría, los vientos predominantes son norte-noreste y presentan el mismo patrón de dirección durante el día. Después de las 0:00 y hasta las 8:00, los vientos provienen del sur-sureste y a partir de las 12:00 la dirección del viento cambia de norte-noreste y se mantiene así hasta las 0:00.

La intensidad del viento tiene el mismo comportamiento que en la temporada seca fría. En las noches y madrugadas desciende a valores mínimos y aumenta durante el día para tener la máxima alrededor de las 18:00. El gráfico a continuación muestra el comportamiento diario de la dirección e intensidad del viento en los días de modelación de la temporada seca caliente.

Figura 26: Temporada seca caliente



* Distribución de frecuencias de la dirección (Sind Dir.) e intensidad (Wind Speed) de los vientos en la semana de 1-8 abril 2008.

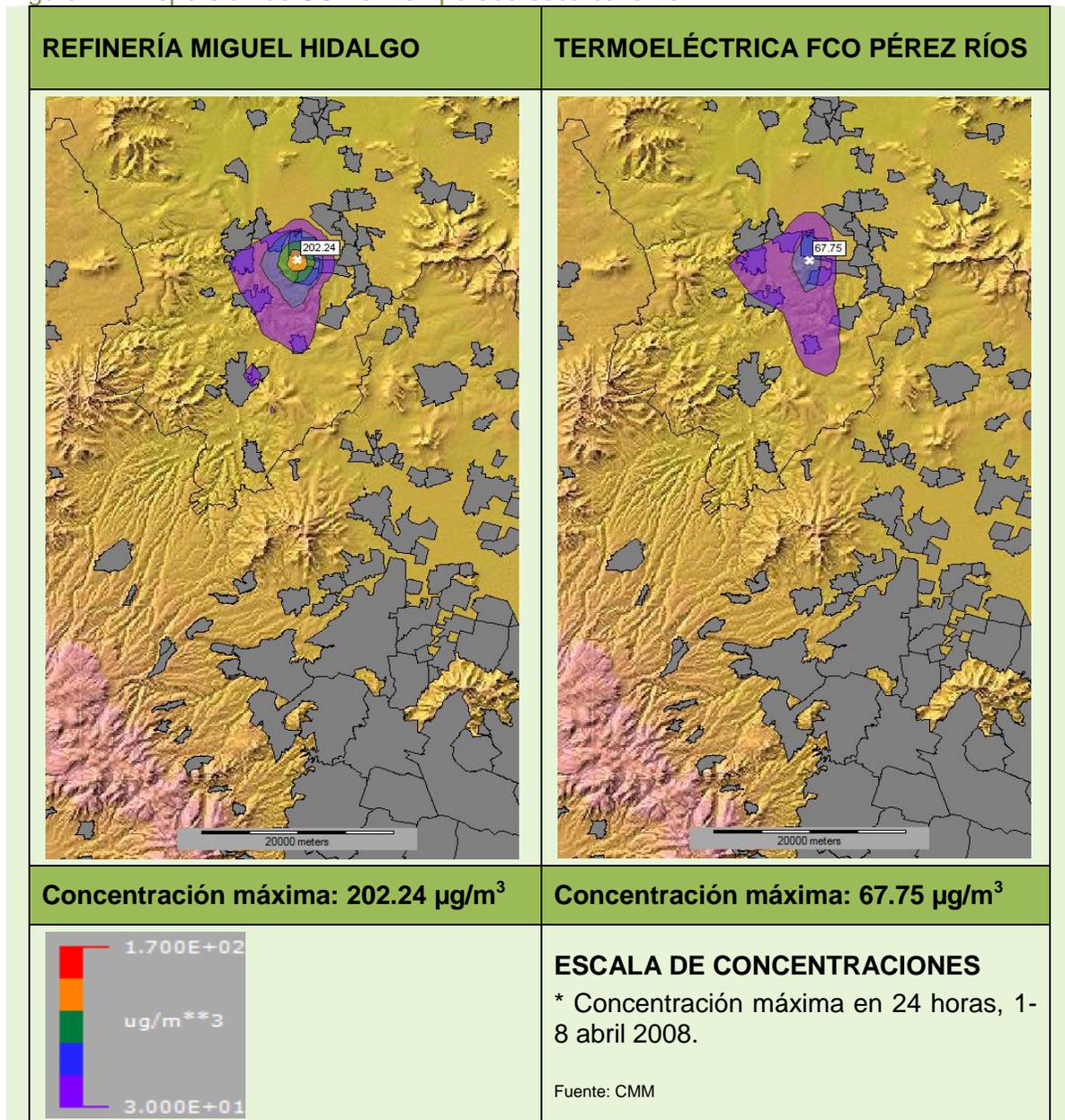
** Dirección (Wind Dir.) e intensidad (Wind Speed) de los vientos en la semana de 1-8 abril 2008.

Fuente: CMM

En el caso de la temporada seca caliente, la dispersión de bióxido de azufre emitido, tanto por la refinería como por la termoeléctrica, no rebasa los límites permisibles establecidos en la NOM-022-SSA1-1993.

Las concentraciones superiores a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ cubren el poblado de Melchor Ocampo a 12 km al sur, así como San Marcos y gran parte de San Miguel Vindhó, al oeste y suroeste de la fuente. Aunque estas concentraciones se dispersan de manera semejante para ambas fuentes, las concentraciones máximas para cada una de ellas son significativamente distintas. La refinería Miguel Hidalgo registra una concentración máxima de $202 \mu\text{g}/\text{m}^3$, misma que representa el triple de la concentración máxima registrada para la termoeléctrica.

Figura 27: Dispersión de SO₂ en temporada seca caliente

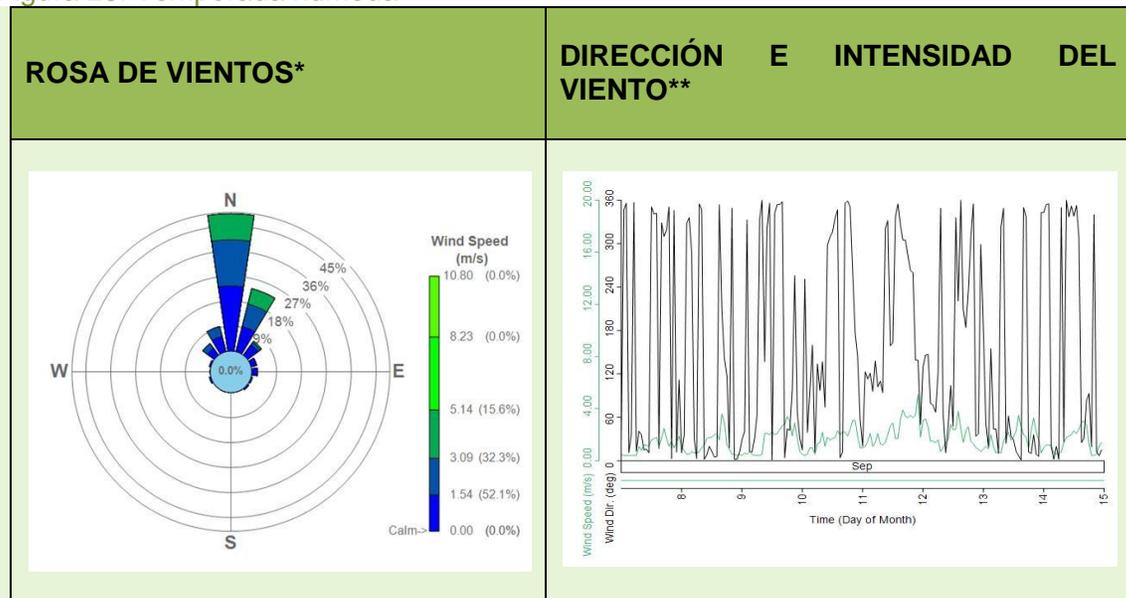


Temporada de Lluvias

La temporada de lluvias corresponde a los meses de junio a octubre de 2008. Se eligió la semana del 8 al 15 de septiembre porque se presentaron lluvias en esos días. La alta humedad y la presencia de grandes cantidades de partículas en el aire pueden acelerar reacciones ácidas con el azufre y promover episodios como los de Donora en 1948 y Londres en 1953, donde miles de personas murieron por afectaciones pulmonares al respirar partículas ácidas.

A pesar de que la concentración de contaminantes no rebasa la norma de exposición, la modelación muestra que es una temporada con los mayores niveles de contaminantes. Además, en esta temporada la alta humedad del ambiente promueve reacciones ácido-base y las lluvias arrastran las partículas a tierra, las cuales pueden tener compuestos ácidos.

Figura 28: Temporada húmeda



* Distribución de frecuencias de la dirección (Wind Dir.) e intensidad (Wind Speed) de los vientos en la semana de 8-15 septiembre 2008.

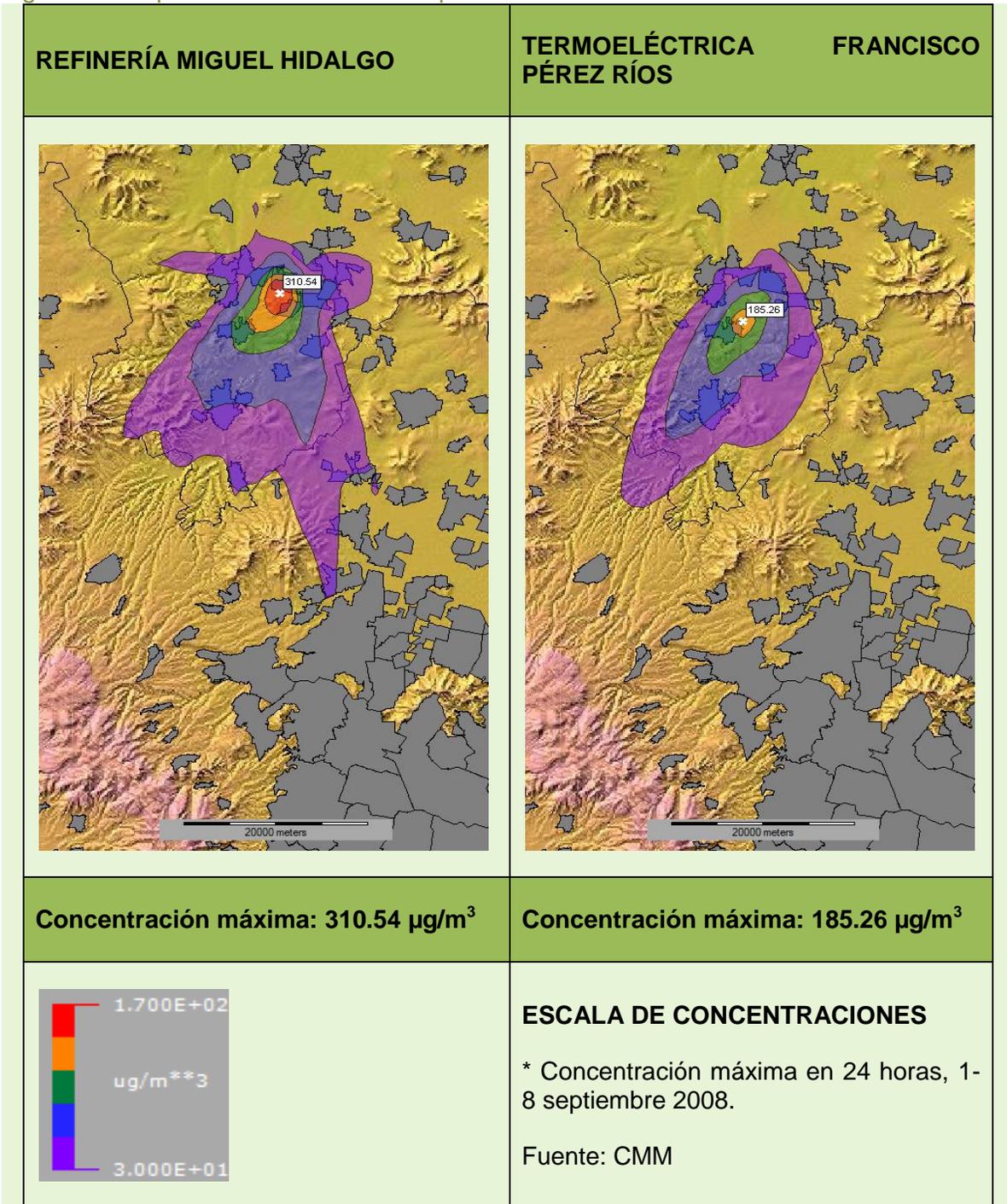
** Dirección (Wind Dir.) e intensidad (Wind Speed) de los vientos en la semana de 8-15 septiembre 2008.

Fuente: CMM

Esta temporada muestra las concentraciones máximas de SO₂ más altas. Las emisiones de la refinación se dirigen al sur del complejo industrial, presentando concentraciones de 130 a 90 µg/m³ en San Miguel Vindhó y de hasta 50 µg/m³ en gran parte de Tepeji del Río, Conejos, Melchor Ocampo, y el Llano. Las concentraciones de 50 a 30 µg/m³ se localizan al sur hasta San Buena Ventura, al sureste hasta Huehuetoca, en el Estado de México y al oeste cubren casi la totalidad de Tula, Hidalgo.

En el caso de las emisiones de la termoeléctrica, éstas se orientan principalmente al suroeste, cubriendo San Miguel Vindhó y Tepeji del Río y dispersándose hasta 32 km de la fuente. Hacia el sureste las concentraciones menores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alcanzan los poblados de Melchor Ocampo y Conejos. Al oeste estas mismas concentraciones cubren el poblado de San Marcos y gran parte del Llano a 10 y 8 km de distancia, respectivamente.

Figura 29: Dispersión de SO₂ en la temporada húmeda



Conclusiones

Se desconoce parte de la meteorología del área de influencia y del sistema ambiental regional debido a que no hay una cobertura confiable de estaciones meteorológicas en la región. Hay estaciones meteorológicas (SMN, INIFAP, CFE, etc.), pero tienen datos incompletos, insuficientes o inútiles para determinar el campo de vientos en una escala temporal anual.

Las condiciones meteorológicas en el perfil vertical de la atmósfera, para determinar la evolución estacional de la altura de la capa límite, se desconocen porque no hay sistemas de detección remota o sondeos sobre el área que permitan establecer con certeza las condiciones de vientos y temperaturas.

Los modelos matemáticos que estiman la evolución de la pluma contaminante se basan en datos meteorológicos de superficie y de elevación para predecir los cambios en la dirección y concentración, por lo que conocer las condiciones meteorológicas del lugar es un tema fundamental en el estudio de la carga de contaminantes a la atmósfera y su impacto en la salud.

Los modelos de dispersión de contaminantes también deben calibrarse con observaciones medidas para reproducir situaciones reales. Sin embargo, en la región tampoco existe una red de monitoreo de gases criterio que tenga series completas que abarquen toda la región de estudio para estimar los promedios y variaciones de concentraciones estacionales y anuales.

Los factores de emisión son confiables; sin embargo, se desconocen las variaciones diarias de las emisiones, lo que dificulta establecer con certeza cuáles son los flujos reales de contaminantes que emiten las industrias y crean sesgos en las estimaciones de las plumas de dispersión.

La información recopilada en el experimento MILAGRO ha sido de gran ayuda para validar algunas hipótesis sobre el comportamiento del campo de vientos en las cuencas I, II y III del área de influencia, así como de la cuenca del valle de México, desafortunadamente abarcaron unos días de marzo y abril de 2006 y es aventurado considerarlas como representativas del comportamiento de los vientos en todo el año, pues suelen cambiar según la temporada. De hecho, la dinámica atmosférica de gran parte del país describe un comportamiento de regiones tropicales en temporadas seca y lluvias, y cambia a un régimen de latitudes medias en la temporada fría alterando las características de la atmósfera en su comportamiento local, regional y sinóptico.

Las modelaciones de dispersión de contaminantes indican que la temporada lluvias es la que presenta las mayores concentraciones de SO₂. Estos cálculos se reafirman con los estudios de la UPP que muestran que los meses de junio a octubre son los que han registrado las concentraciones más altas de SO₂ en Tula de Allende.

2.4.2 Agua

● Aprovechamiento del agua

- Usos del agua

Al revisar el balance en el consumo de los pocos más de 1,700 millones de metros cúbicos de aguas residuales que aporta la cuenca del Valle de México a la cuenca del Río Tula, más los 563.51 Mm³ de aguas superficiales que por su parte aportan las cinco subcuencas de la cuenca del Río Tula, se observa que 1,545.75 Mm³ son utilizados de manera predominante en actividades agropecuarias y en mucho menor medida, en el sector industrial y en los servicios públicos municipales; el volumen de agua superficial utilizado en la generación de energía eléctrica, a pesar de representar el segundo uso, no ocasiona consumo, si se considera que el recurso una vez usado en las turbinas continúa su trayectoria aguas abajo.

De información estadística publicada por la CONAGUA³³, en el año 2007 en la región comprendida por los 30 municipios que conforman la cuenca del Río Tula, 24 del Estado de Hidalgo y 6 del Estado de México, el consumo municipal principal del agua fue superficial (1,976.49 Mm³) y en menor proporción la fuente procedió de los mantos freáticos (224.50 Mm³); asimismo, el principal uso del agua superficial fue para las labores agrícolas (86.61%), mientras que para el caso del agua de origen subterráneo, el reparto fue equitativo entre la termoeléctrica, las labores agropecuarias, el abasto público y la industria; aunque si sumamos los consumos al manto freático ocasionados por la industria, incluida PEMEX y la termoeléctrica, el sector secundario fue el principal usuario, cuyo consumo representó el 49.45% del total.

Figura 30. Usos del agua 2007



Asimismo, el uso comprometido del agua en la cuenca del Río Tula, cuyo usuario principal es seguramente CFE para la hidroeléctrica Zimapán, mas las aguas que exporta la

³³ CONAGUA. Sistema Nacional de Información del Agua/Información sobre el agua en México/Usos del agua/Usos por Entidad Federativa. <http://www.conagua.gob.mx/Espanol/TmpContenido.aspx?id=Documentos%20relacionados%20con:%20Usos%20del%20Agua|Documentos%20relacionados%20con:%20Usos%20del%20Agua|0|259|0|0>

cuenca y que escurren aguas abajo, representan un volumen total de 1,389.24 Mm³, 70% del volumen total consumido al año.

El consumo de los emplazamientos industriales, principalmente PEMEX y CFE proviene de fuentes de abastecimiento subterráneo; en el caso de la planta de generación hidroeléctrica, que contabiliza el mayor volumen de agua procedente de fuentes superficiales, se utiliza para accionar las turbinas, no se consume, el recurso una vez que realiza la actividad, continúa su flujo fuera de la planta.

Tabla 18. Usos del agua en la región

Millones de metros cúbicos					
FUENTE	ABASTOPÚBLICO	TERMOELÉCTRICA ^(a)	HIDROELÉCTRICA ^(a)	AGROPECUARIO	INDUSTRIAL ^(a)
2005	67.68	82.61	220.75	1769.50	58.30
SUBTERRANEA	54.00	60.61	0.00	57.27	50.00
SUPERFICIAL	13.68	22.00	220.75	1712.23	8.30
2006	68.12	82.61	220.75	1769.67	58.16
SUBTERRANEA	54.44	60.61	0.00	57.82	49.95
SUPERFICIAL	13.68	22.00	220.75	1711.85	8.21
2007	68.62	82.61	220.75	1770.39	58.63
SUBTERRANEA	54.94	60.61	0.00	58.54	50.42
SUPERFICIAL	13.68	22.00	220.75	1711.85	8.21
2005 - 2007	204.41	247.84	662.25	5309.57	175.12
SUBTERRANEA	163.38	181.84	0.00	173.64	150.37
SUPERFICIAL	41.03	66.00	662.25	5135.93	24.75

Fuente: CONAGUA

NOTA: CONSIDERA AL TOTAL DE LOS MUNICIPIOS DE LA CUENCA DEL RIO TULA, 24 DEL EDO. DE HIDALGO Y 6 DEL EDO. DE MÉXICO

Un estudio realizado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM³⁴ en el distrito de riego 03 señala como resultado del inventario levantado en las fuentes de abastecimiento domiciliaria, que 246 localidades de las 292 que existen en el DR-03 en el año 1990 se atendían con 128 fuentes de abastecimiento, de las cuales el 80% eran pozos, 11% manantiales y el resto norias; la población se concentraba en su mayor parte en los municipios de Tula de Allende, Actopan y Tezontepec de Aldama, con el 57.42% de la población total de esta región.

³⁴ Sotomayor Garza Claudia y otros. SUMINISTRO CONFIABLE DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE RIEGO 03. Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Gráfica 16. Volumen de extracción en litros

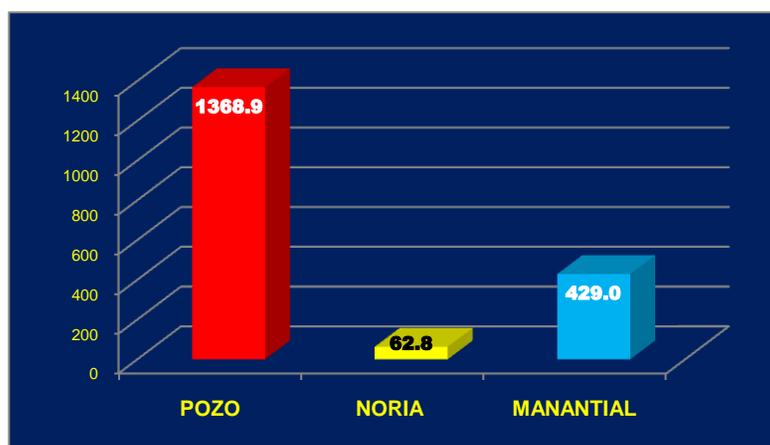


Tabla 19. Suministro de agua para consumo humano en el DR-03

Nombre	Superficie (km ²)	Población (habitantes)	Abastecimiento de aguas(3)			Tratamiento de Aguas Residuales(3)		
			Pozo Prof.	Manantial	Otro(1)	Lodos Activados	Biológicos	Otro(2)
Actopan	280,10	45.946	11	2		1		
Ajacuba	192,70	14.459	3					
Alfajayucan	467,70	16.977	4	1	1			
Atitalaquia	64,20	21.805	6	3		2		1
Atotonilco de Tula	30,80	24.733	9		4			
Cardonal	462,60	16.903	11	8	3			
Chapantongo	298,10	11.172	3		1			
Chilcuautla	231,30	15.058	2	7				
El Arenal	125,90	14.119	8	5				
Fco. I. Madero (Tepatepec)	95,10	28.425	2	1				
Huichapan	668,10	38.045	12	2		1		
Ixmiquilpan	565,30	75.725	11	12				
Mixquiahuala de Juárez	138,10	35.054	2	1				
Nopala de Villagran	334,10	14.697	2	1				
Progreso de Obregón	106,00	19.027	1	1				
San Agustín Tlaxiaca	354,60	24.252	2		1			
San Salvador	200,40	28.922	5					
Santiago de Anaya	316,10	13.559	9	1	1			
Tasquillo	167,00	16.610	8	6				
Tecozautla	575,60	30.793	6	2				
Tepeji del Río de Ocampo	393,20	67.573	12	3	2	2	4	3
Tepetitlán	179,90	8.494	4	3				

Nombre	Superficie (km ²)	Población (habitantes)	Abastecimiento de aguas(3)			Tratamiento de Aguas Residuales(3)		
			Pozo Prof.	Manantial	Otro(1)	Lodos Activados	Biológicos	Otro(2)
Tetepango	56,50	8.927	1					
Tezontepec de Aldama	120,80	38.682	3	2				
Tlahuelilpan	31,30	13.910	3	3	1			
Tlaxcoapan	79,30	22.424	4					
Tula de Allende	305,80	86.782	15		1	2		1
Total	6.840,60	753.073	128	61	18	8	4	5

(1) Norias, galerías, depósitos, líneas de conducción y ríos

(2) Físicoquímicos y biológicos, terciario biodiscos, tanque Imhoff, biodigestores, físicoquímico, oxidación biológica, coagulación química, floculación química, cribado-oxidación aeróbica y separación de grasa API, oxidación anaeróbica y tanque bioenzimático.

(3) INEGI Anuario Estadístico Hidalgo, Edición 2000

- Infraestructura hidroagrícola

La cuenca del Río Tula en su estado natural disponía de recursos hidráulicos muy limitados; el escurrimiento y recarga natural de los acuíferos eran de reducida magnitud a causa de la baja precipitación pluvial. A partir de la introducción de las aguas residuales procedentes del Valle de México a fines del siglo pasado, sus condiciones hidrológicas se modificaron de manera sustancial. Con la construcción de obras de infraestructura hidráulica, se incrementó el aprovechamiento del caudal creciente de aguas residuales con fines agrícolas.

Actualmente, la zona recibe 40m³/s de aguas residuales no tratadas, que se utilizan mezcladas con el escurrimiento natural del Río Tula, para regar 45,214.52 has. El Distrito de Riego 03-Tula, conocido también como Valle del Mezquital, se estableció en enero de 1955; posterior, el Distrito de Riego 100-Alfajayucan, en febrero de 1973. Los canales principales son los siguientes:

Tabla 20. Principales canales de riego

Nombre	Capacidad
El Salto-Tlamaco	50
Canal de Fuerza	13
Dendhó	15
Endhó	15
Requena	15

Para valorar la recarga del acuífero, un factor determinante es si están o no revestidos, situación que en el caso del Valle del Mezquital es favorable; se consignan los siguientes datos:

Tabla 21. Acabados en los canales del distrito de riego 03

Tipo	Revestidos (Km)	S/revestir (Km)	Total (Km)
Canales principales	39.70	170.06	209.76
Canales laterales	176.50	189.23	365.73

El distrito 03 cuenta con 3 presas de almacenamiento y 6 derivadoras; los principales aprovechamientos de agua superficial que sirven al Distrito y mayores de la Entidad son:

Tabla 22. Embalses

Aprovechamiento	Volumen anual (Mm ³ /año) ⁽¹⁾	Fuente
Presa Taxhimay	4.4	R. San Luis
Presa Requena	60.2	R. Tepeji
Presa Endhó	423.1	R. Tula
Derivadora	645.4	R. Salado
Derivadora	425.3	E. Central
Suma	1 558.4	

(1) DATOS REFERIDOS AL AÑO DE 1992

- Almacenamiento

Debido a la baja precipitación pluvial, sumada al clima semi seco que registra la región, se han construido diversas obras de almacenamiento del agua cercanas a la zona de estudio: presas, jagüeyes y bordos, que alimentan las diversas actividades que se realizan en la misma; las más importantes por su volumen de almacenamiento son: Endhó, Requena y Taxhimay.

⇒ Presa Endhó.

Se localiza dentro del Municipio de Tula, a tres kilómetros hacia el oeste del vértice NW del polígono del área estudiada; cuenta con una superficie de captación de 1,264 ha; tiene una capacidad de almacenamiento total de 183'000,000m³, de éstos, 138'500,000 m³, irrigan poco más de 42,000 ha. Su uso principal es riego agrícola. En este almacenamiento se concentran las aguas negras del Distrito Federal.

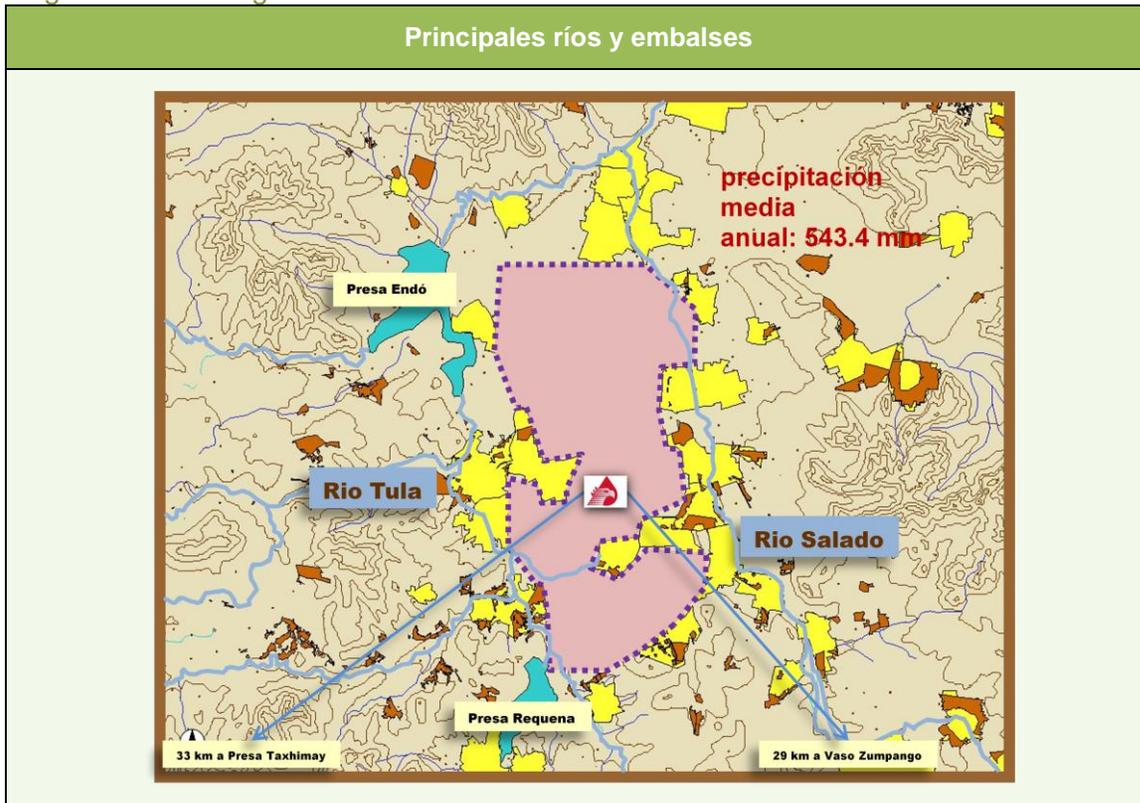
⇒ Presa Requena.

Se localiza también dentro del Municipio de Tula de Allende, adyacente al vértice SW del polígono del área estudiada; es alimentado por el Río Tepeji y el Arroyo el Carrizal; tiene una superficie de captación de 727 ha, con capacidad de almacenamiento de 52'400,000 m³; su agua es utilizada para riego agrícola en las parcelas de las partes bajas localizadas entre ambas presas descritas, así como, en prácticas deportivas y la recreación.

⇒ Vaso de Zumpango.

Se localiza en el municipio del mismo nombre, en el Estado de México, a una distancia aproximada de 29 kilómetros hacia el SE del área estudiada. La laguna de Zumpango se considera el cuerpo de agua más importante del Valle de México, debido a sus dimensiones: 1,865 hectáreas de superficie y 18 kilómetros de longitud de su bordo, ubicación e infraestructura aledaña; funciona como vaso regulador y de almacenamiento, con capacidad de 100 millones de metros cúbicos; controla las avenidas pluviales del río Cuautitlán; ingresan poco más de 60 millones de metros cúbicos al año.

Figura 31. Hidrología



El ingreso del agua a la laguna está controlado por compuertas, por lo que es alimentada solamente en época de lluvias; el agua del embalse, además de utilizarse para riego agrícola, cumple con una importante función ambiental, al crear un microclima en la región y recargar el acuífero denominado Tecámec-Nextlalpan.

● Balance hidrológico

- La cuenca del Río Tula

En la cuenca denominada Aguas del Valle de México, la CONAGUA ha identificado un total de 13 cuencas hidrológicas, siete pertenecientes a la Cuenca del Valle de México y seis a la Cuenca del Río Tula³⁵.

Tabla 23. Subcuencas

Cuenca del Valle de México	Cuenca del Río Tula
Xochimilco	Presa Requena
Río La Compañía	Presa Endhó
Tochac-Tecocomulco	Río Salado
Río de las Avenidas de Pachuca	Río Actopan
Texcoco	Río Alfajayucan
Ciudad de México	Río Tula
Río Cuautitlán	

³⁵ Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Xochimilco, Río La Compañía, Tochac-Tecocomulco, Río de las Avenidas de Pachuca, Texcoco, Ciudad de México, Río Cuautitlán, Presa Requena, Presa Endhó, Río Salado, Río Actopan, Río Alfajayucan y Río Tula, mismos que forman parte de la porción de la región hidrológica denominada Valle de México y Río Tula. 20 de octubre de 2008

Figura 32. Cuenca hidrológica del Valle de México y Río Tula

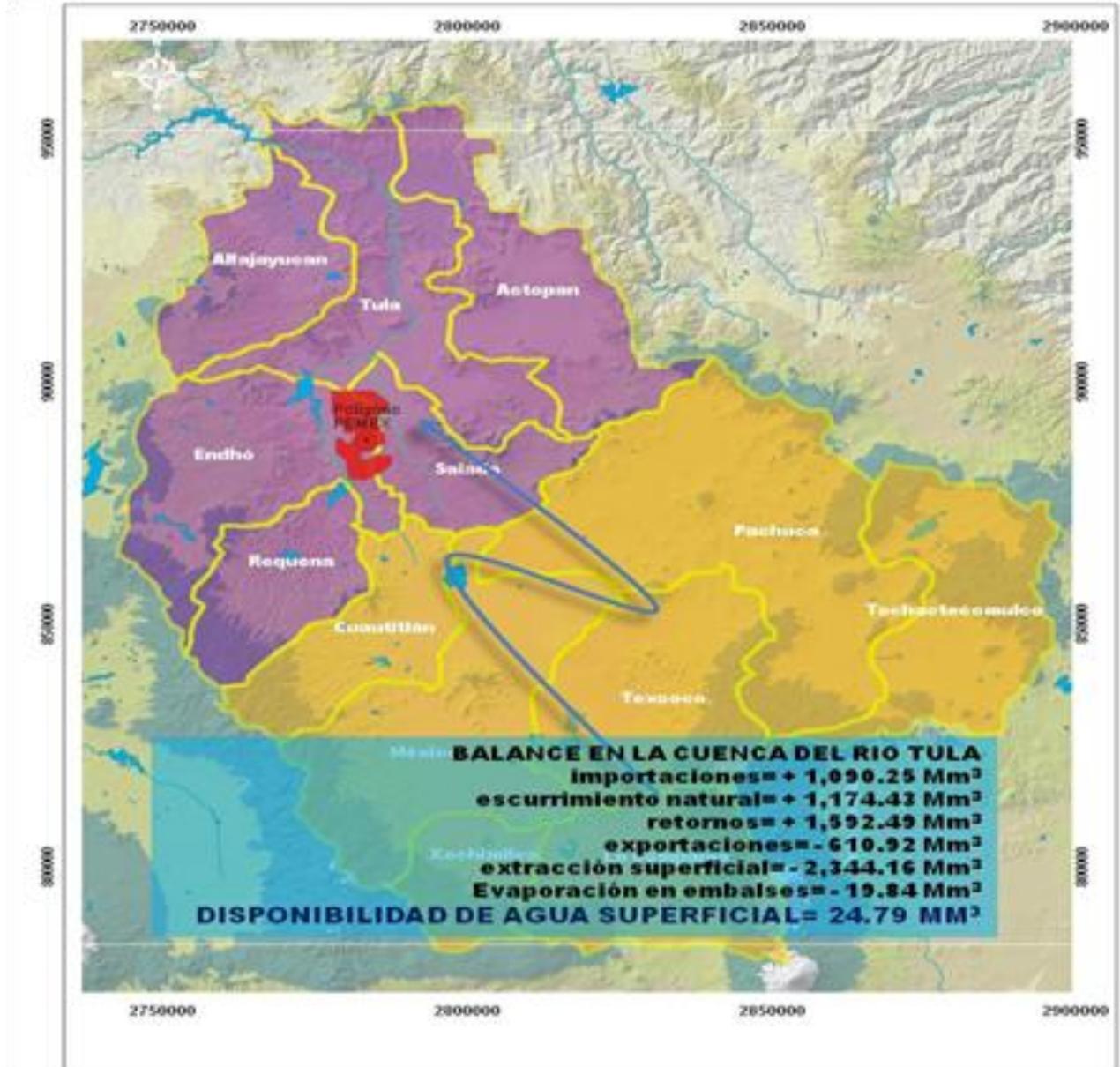
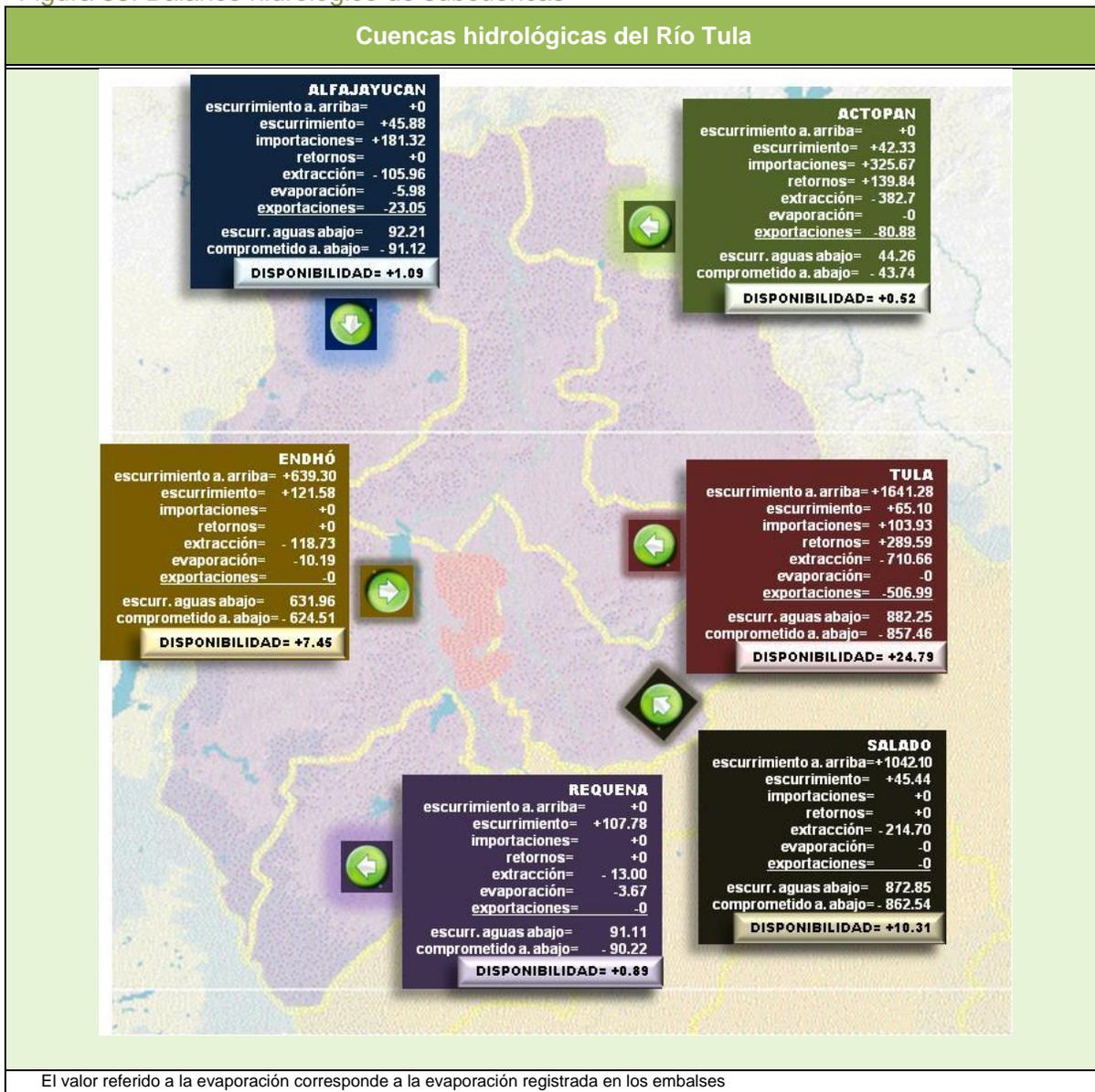


Figura 33. Balance hidrológico de subcuencas

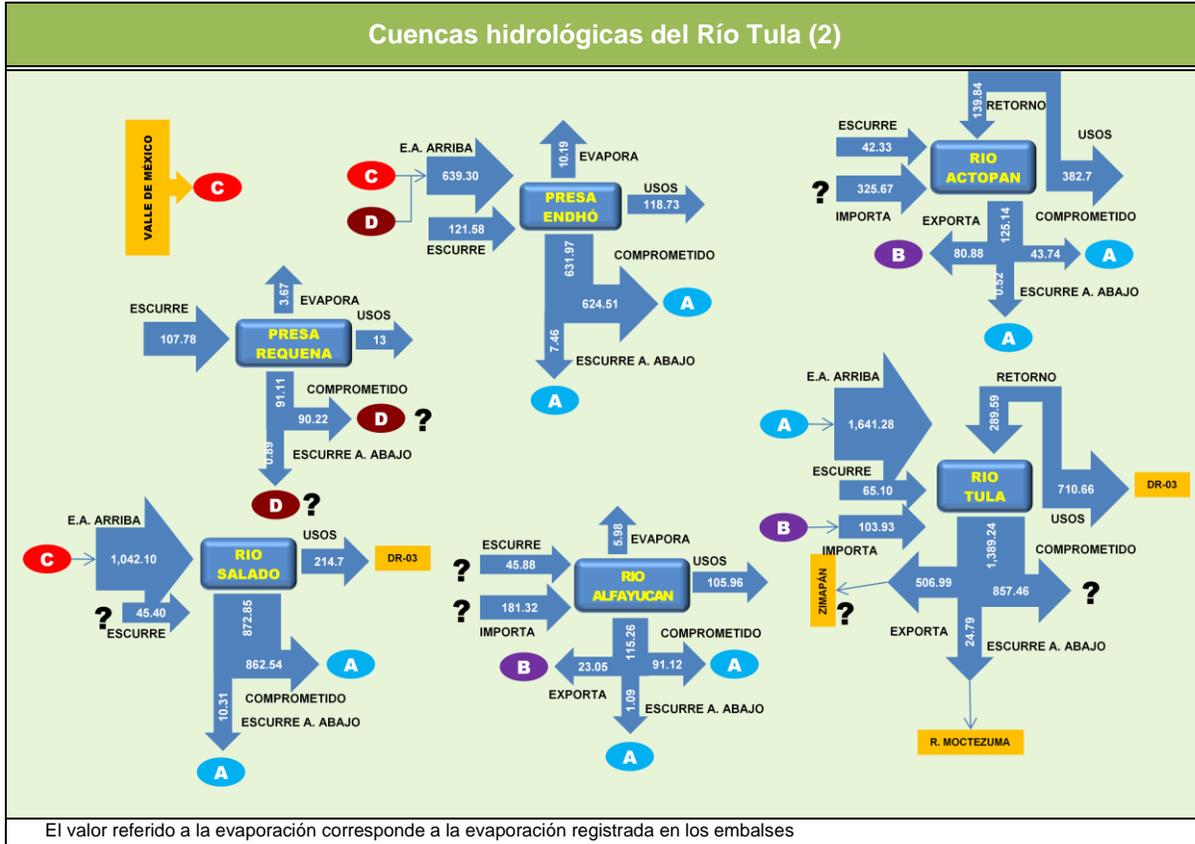


La información está referida al cálculo del escurrimiento natural de la cuenca hidrológica, escurrimiento desde la cuenca hidrológica aguas arriba, retornos, importaciones, exportaciones, extracción de agua superficial, escurrimiento de la cuenca hidrológica hacia aguas abajo y volumen actual comprometido aguas abajo, de acuerdo con la definición que da la NOM-011-CNA-2000, cuyos datos se presentan a continuación:

De los 3,857.17 Mm³ de agua superficial disponible en la cuenca, sólo existe una reserva disponible de 24.79 Mm³; el resto y principal recurso está comprometido para riego agrícola o bien, se evapora.

Al revisar el balance para cada una de las micro cuencas que constituyen la cuenca del río Tula, se observa:

- 1) La disponibilidad del recurso mayor se encuentra en la micro cuenca del Río Tula, seguido de la micro cuenca del Río Salado;
- 2) Las micro cuencas del Río Actopan y de la presa Requena se encuentran prácticamente en equilibrio, con una muy poca disponibilidad del recurso:



- Acuífero del Valle del Mezquital (aguas subterráneas)

En el estudio citado³⁶ se establece como balance: “La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), que representa el volumen de agua perdido o ganado anualmente por el almacenamiento no renovable del subsuelo”.

Los datos reportados en 2002 en el estudio indican “para el acuífero del Valle de Mezquital, el balance se encuentra prácticamente en equilibrio dinámico, es decir, este ya llegó a su capacidad máxima de almacenamiento y el volumen infiltrado por lluvia y por retorno de riego, es similar al flujo base de salida; en otras palabras, el volumen que entra es igual al volumen que sale. Por lo tanto, existe la posibilidad de realizar explotaciones controladas, que llevarían a una nueva condición de equilibrio hidrodinámico, lógicamente interceptando volúmenes correspondientes a las salidas naturales”

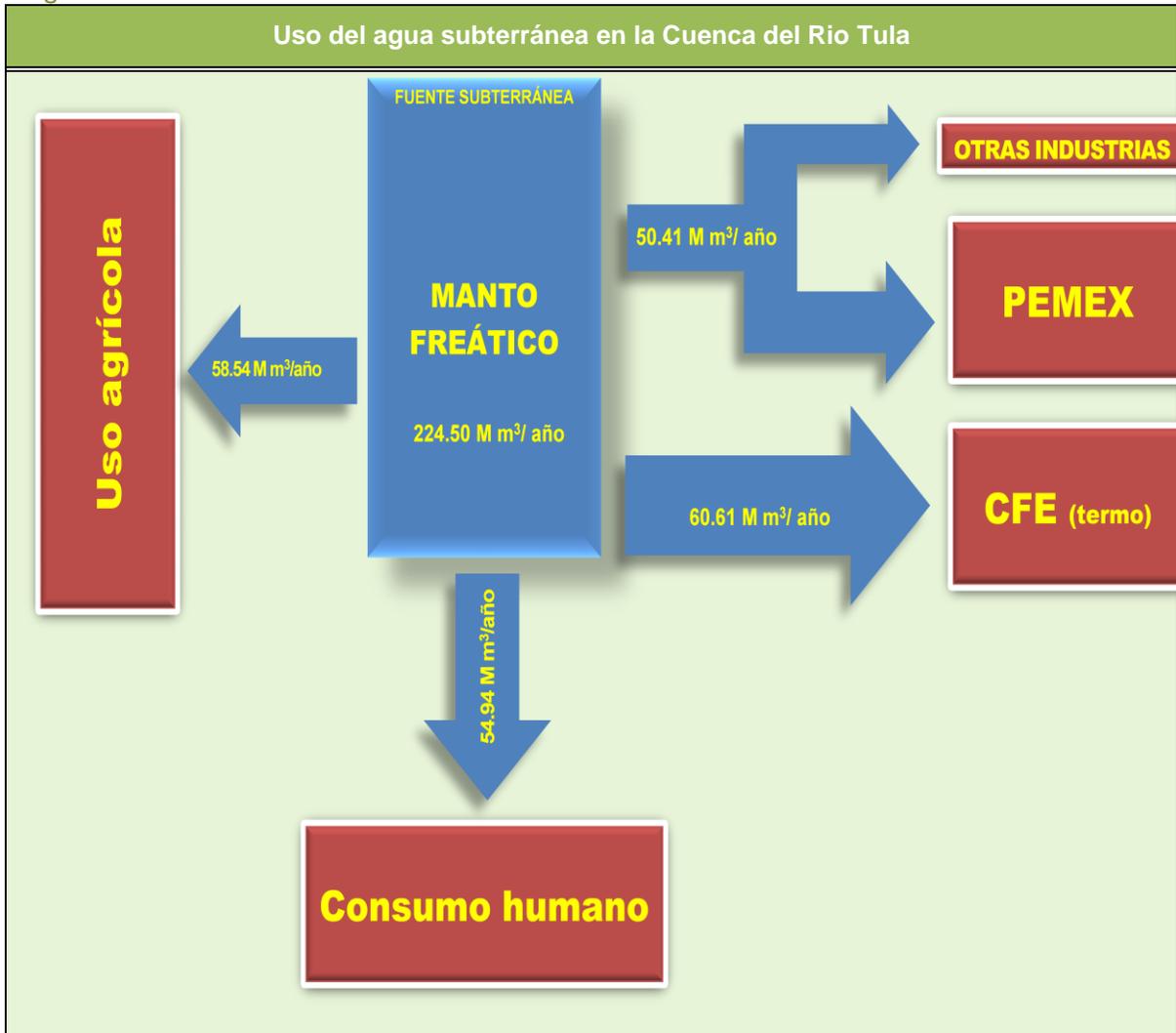
“La recarga natural considerada como la suma de la infiltración del agua de lluvia más el flujo subterráneo proveniente de las zonas montañosas que rodean al valle se ha calculado en 132.5 Mm³/año. Para el agua de lluvia se consideró un área de valle de 1500 km², una precipitación de 450 mm y un coeficiente de infiltración de 0.1, lo que da como

³⁶ CONAGUA. SUBGERENCIA DE EVALUACIÓN Y MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo. Abril de 2002.

resultado una recarga natural de $67.5 \text{ Mm}^3/\text{año}$. La recarga horizontal por flujo lateral es de $65 \text{ Mm}^3/\text{año}$ ”.

El monto total de la recarga inducida se calculó en $540.2 \text{ Mm}^3/\text{año}$; incluye a las fugas en la red de canales de riego, las fugas en las redes de agua potable y de drenaje en las ciudades, así como, las infiltraciones por sobre riego directamente en las parcelas.

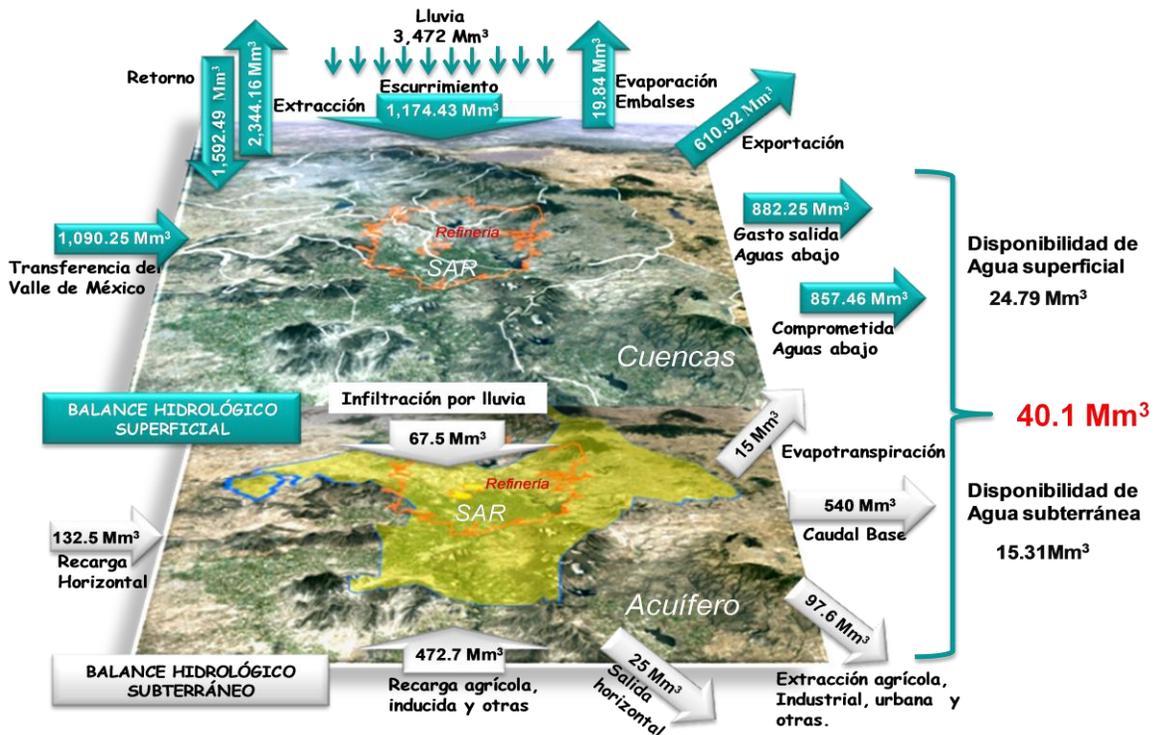
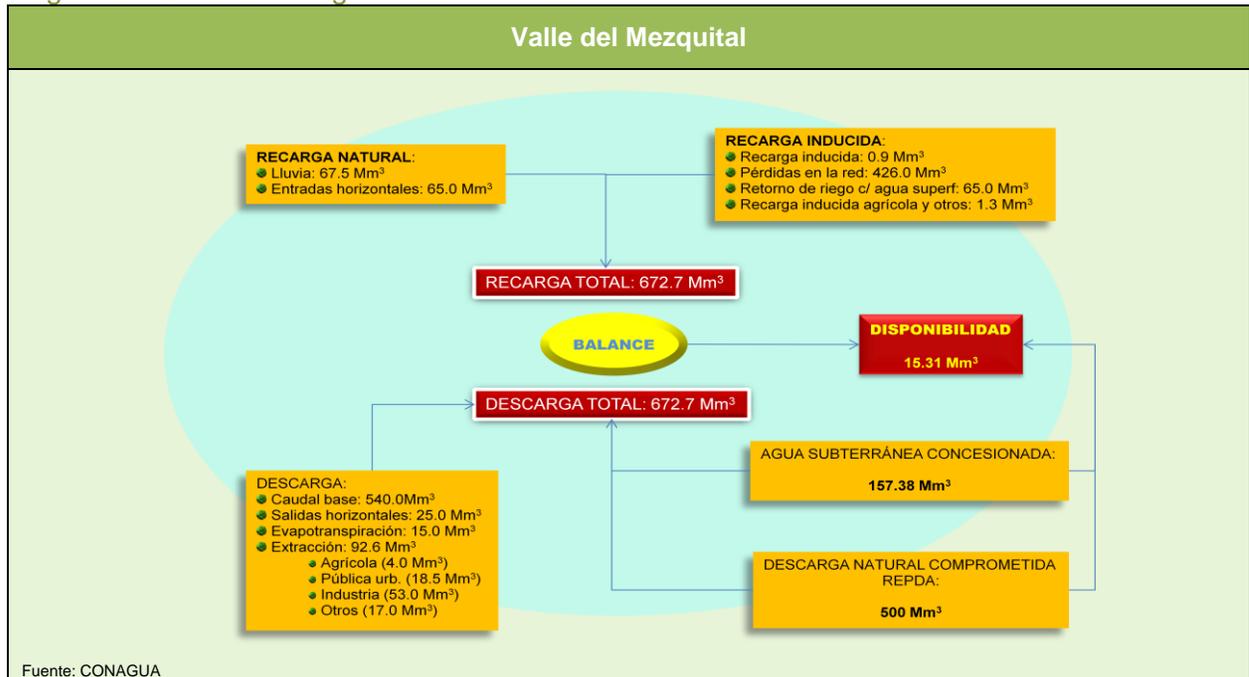
Figura 34. Consumo



Fuente: CONAGUA, Cubos de Agua por Municipio 2008

En el valle del Mezquital las profundidades del nivel estático varían de 10 a 55 m.; incluso en Mangas-Tlahuelilpan, debido a que la recarga por irrigación en esta región es muy alta, los niveles están a pocos metros o son brotantes; también, se observa saturación del medio y recuperación del acuífero; en algunos sitios existe afloramiento de manantiales, que indica que el acuífero se ha llenado hasta su capacidad hidráulica y que los volúmenes infiltrados son descargados rápidamente hacia los ríos que drenan la zona, según lo reporta la CONAGUA.

Figura 35. Balance en aguas subterráneas



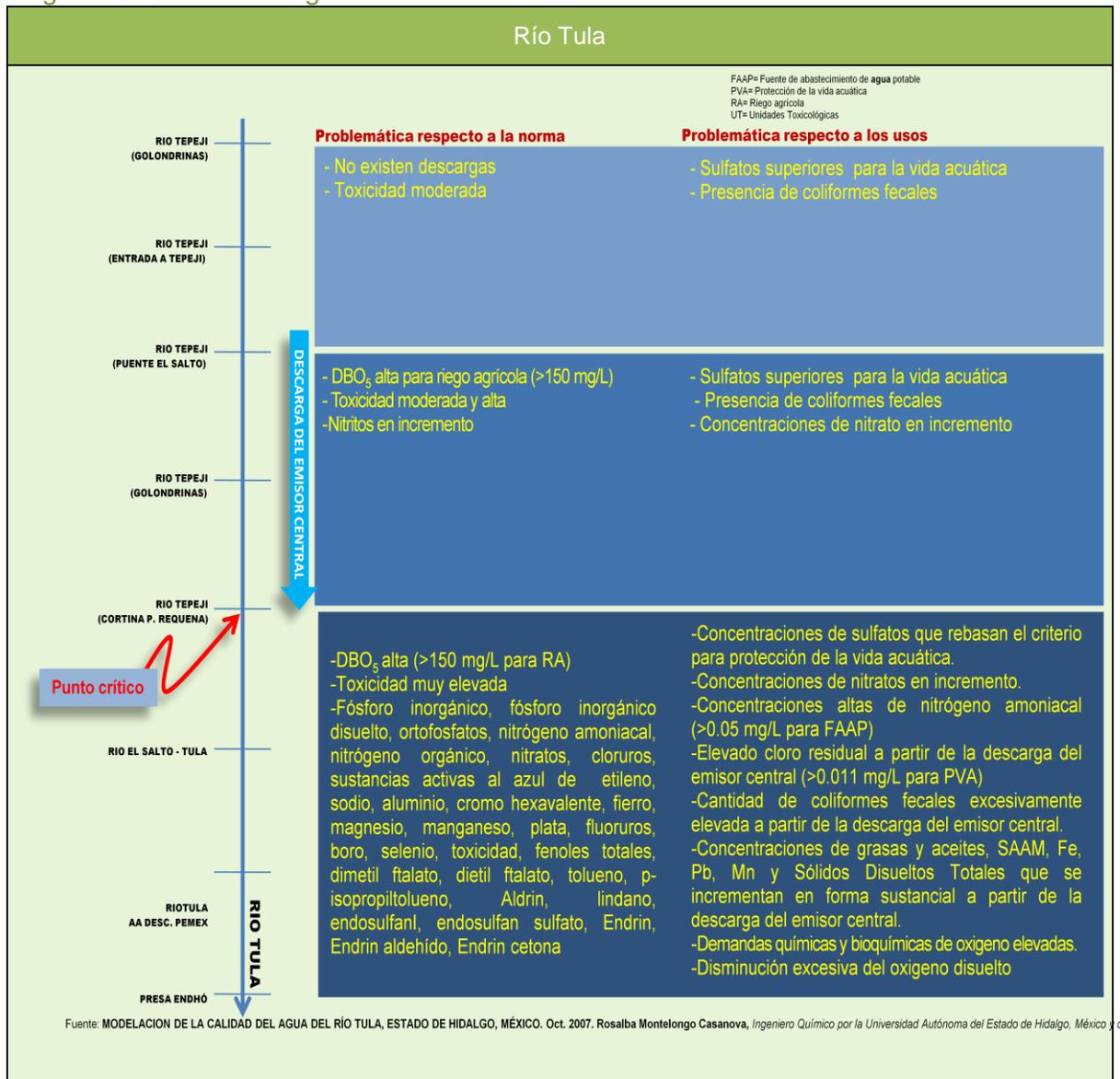
Como resultado del análisis sobre la disponibilidad de agua en la región de estudio se obtiene un balance positivo, tanto en la cuenca como en el acuífero, equivalente a 40.1 Mm³

● Calidad del agua.

- En la cuenca del Río Tula

En un estudio realizado en el Río Tula por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo³⁷ en el año 2007, se destaca que la calidad del agua que ingresa al Río Tula y que proviene aguas arriba de la cuenca del Río Tepeji con una toxicidad moderada, no presenta problemas mayores de contaminación; encuentra su punto crítico en la cortina de la Presa Requena, sitio en el que recibe el caudal principal de aguas provenientes del Valle de México; a partir de este punto su toxicidad se incrementa a muy elevada, como se observa en la gráfica siguiente:

Figura 36. Calidad del agua



³⁷ Rosalba Montelongo Casanova y otros. MODELACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO TULA, ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO. Oct. 2007., Ingeniero Químico por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

- Calidad del agua superficial.

Parte del territorio hidalguense constituye el drenaje natural de la cuenca del Valle de México y su área metropolitana. Es por esto que las Subcuencas del Río Tula, la del Río Salado y la del Río Tepeji son de las más afectadas en lo que se refiere a la contaminación de sus aguas superficiales.

La contaminación del agua superficial de estas cuencas, comprendidas en el Sistema Ambiental Regional y por ende, en el Área de Influencia, está constituida por material orgánico, algunos metales, bacterias y detergentes, entre otros contaminantes. El origen de estos contaminantes lo constituyen las aguas residuales que provienen de la zona metropolitana de la Ciudad de México, de las propias descargas municipales del Estado de Hidalgo, de la refinería Miguel Hidalgo, de la Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos, de las distintas cementeras, así como, de otras industrias del corredor industrial Tula-Tepeji. A continuación se describen las tres subcuencas mencionadas.

La Subcuenca del Río Tula, cuenta con una superficie de 2,129 km²; la corriente principal es el Río Tula: nace de la sierra de la Catedral en el Estado de México; inicia su recorrido hacia el norte pasando por la población de Tula; llega a la presa Endhó; continúa hasta Mixquiahuala; pasa por Tezontepec de Aldama y, continúa hacia el norte por el Valle del Mezquital.

La Subcuenca del Río Salado tiene como su corriente principal de agua el Río Salado: nace con las aportaciones del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México; pasa con rumbo hacia el norte por los poblados de Tequixquiac, Apaxco, Atotonilco, Cardonal, Atitalaquia y Tlaxcoapan; en Tezontepec, se une al Río Tula. Los arroyos Hueypoxtla, La Noria y El Zarco son tributarios de esta corriente de agua.

Otra subcuenca relevante es la Subcuenca del Río Tepeji; su corriente principal de agua es el Río Tepeji; nace en la barranca de "El Gallinero" y desemboca en la presa La Requena, en el municipio de Tepeji del Río; alimenta al Río Tula.

La calidad del agua de los ríos Tepeji, el Salto y el Salado, controlados mediante las presas Requena, Endhó y Tlamaco, difieren entre sí: el Río Tepeji conduce aguas de escurrimiento pluvial y de descargas de aguas residuales domésticas, su distribución se regula en la presa Requena; el Salto conduce escurrimientos pluviales que provienen de la Ciudad de México, recoge las descargas del Emisor profundo y de las poblaciones de Jasso y Tula para formar el Río Tula; El Río Tula recibe a los ríos Tlautla y Rosas, influente de la Presa Endhó, al este, recibe la descarga del Río Salado, que conduce el agua residual generada en el Valle de México.

La Comisión Nacional del Agua cuenta en la zona de estudio con seis estaciones de monitoreo de la calidad de agua:

Tabla 24. Sitios de Monitoreo

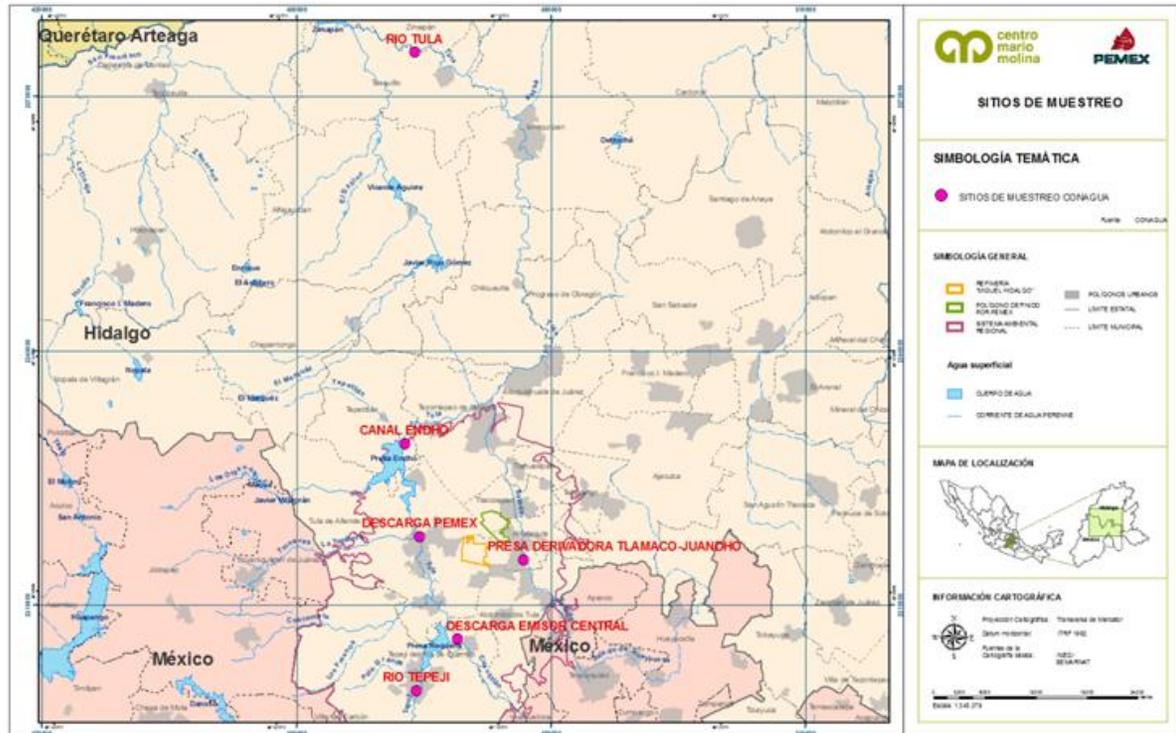
NOMBRE ESTACION	CUENCA	SUBCUENCA	CUERPO DE AGUA	TIPO	MUNICIPIO	LONGITUD	LATITUD
Canal Endhó	R.Moctezuma	R. Tula	Canal Endho	Canal	Tepetitlan	-99.356944	20.158694
Río Tula (La Cruz)	R.Moctezuma	R. Tula	Rio Tula	Rio	Tasquillo	-99.346333	20.575977
Descarga Emisor Central	R.Moctezuma	R. El Salto	Descarga Emisor Central	Descarga Municipal	Atotonilco de Tula	-99.296945	19.950083

NOMBRE ESTACION	CUENCA	SUBCUENCA	CUERPO DE AGUA	TIPO	MUNICIPIO	LONGITUD	LATITUD
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	R.Moctezuma	R. Salado	Presa Derivadora Tlamaco-Juando	Presa	Atitalaquia	-99.222805	20.035027
Descarga Pemex	R.Moctezuma	R. Tula	Descarga de Pemex en el Río Tula	Descarga Industrial	Tula de Allende	-99.340083	20.059611
Río Tepeji	R.Moctezuma	R. El Salto	Río Tepeji	Rio	Tepeji del Rio de Ocampo	-99.342999	19.895277

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

En el año 2008 se realizaron tres muestreos en estos puntos: el primero, en marzo; el segundo, en junio y, el tercero, en agosto.

Figura 37. Ubicación de los sitios de monitoreo.



Fuente: CENTRO MARIO MOLINA

A continuación se muestran los distintos parámetros tomados en cada punto a lo largo del año 2008.

COLOR

El valor mencionado por la NOM-127-SSA1-1994³⁸ del color máximo permisible es de 20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.

³⁸ La NOM-127-SSA1-1994 establece los límites permisibles de del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados.

En la tabla a continuación, se observa que solo en la descarga de PEMEX de los meses de marzo y junio se cumple con la norma de la SSA para abastecimiento humano.

Tabla 25. Lectura de Color en los Sitios de Monitoreo 2008

NOMBRE ESTACION	FECHA	HORA	COLOR
Canal Endhó	04-mar-08	12:30 p.m.	80.00
Canal Endhó	17-jun-08	02:00 p.m.	70.00
Canal Endhó	27-ago-08	03:00 p.m.	70.00
Río Tula (La Cruz)	04-mar-08	11:30 a.m.	30.00
Río Tula (La Cruz)	17-jun-08	11:30 a.m.	50.00
Río Tula (La Cruz)	27-ago-08	12:30 p.m.	50.00
Descarga Emisor Central	05-mar-08	11:00 a.m.	320.00
Descarga Emisor Central	18-jun-08	12:45 p.m.	200.00
Descarga Emisor Central	26-ago-08	12:00 p.m.	240.00
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	04-mar-08	06:00 p.m.	240.00
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	18-jun-08	09:30 a.m.	120.00
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	26-ago-08	10:00 a.m.	240.00
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	20.00
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	10.00
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	50.00
Río Tepeji	05-mar-08	12:00 p.m.	70.00
Río Tepeji	18-jun-08	02:00 p.m.	240.00
Río Tepeji	26-ago-08	01:30 p.m.	200.00

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

Para la norma NOM-127-SSA1-1994, la calidad del agua (según su color) no cumple los límites máximos permisibles para uso y consumo humano en la mayoría de los sitios de monitoreo.

TURBIEDAD

El valor en la NOM-127-SSA1-1994³⁹, del límite permisible de la turbiedad es de 5 unidades de turbiedad nefelométricas.

En la tabla a continuación, se observa que únicamente se cumple el límite de la norma en la descarga de Pemex de marzo y junio del 2008.

Tabla 26. Lectura de Turbiedad en los Sitios de Monitoreo 2008

NOMBRE ESTACION	FECHA	HORA	TURBIEDAD
Canal Endhó	04-mar-08	12:30 p.m.	>30.00
Canal Endhó	17-jun-08	02:00 p.m.	18.00
Canal Endhó	27-ago-08	03:00 p.m.	>30.00
Río Tula (La Cruz)	04-mar-08	11:30 a.m.	5.60
Río Tula (La Cruz)	17-jun-08	11:30 a.m.	7.60
Río Tula (La Cruz)	27-ago-08	12:30 p.m.	>30.00
Descarga Emisor Central	05-mar-08	11:00 a.m.	>30.00
Descarga Emisor Central	18-jun-08	12:45 p.m.	>30.00
Descarga Emisor Central	26-ago-08	12:00 p.m.	>30.00

³⁹ La NOM-127-SSA1-1994 establece los límites permisibles de del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados.

NOMBRE ESTACION	FECHA	HORA	TURBIEDAD
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	04-mar-08	06:00 p.m.	>30.00
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	18-jun-08	09:30 a.m.	>30.00
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	26-ago-08	10:00 a.m.	>30.00
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	2.60
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	2.50
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	10.00
Río Tepeji	05-mar-08	12:00 p.m.	30.00
Río Tepeji	18-jun-08	02:00 p.m.	>30.00
Río Tepeji	26-ago-08	01:30 p.m.	>30.00

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

Para la norma NOM-127-SSA1-1994, la calidad del agua (según su turbiedad) no pasa los límites máximos permisibles para uso y consumo humano en la mayoría de los sitios de monitoreo.

TEMPERATURA

Los valores mencionados por la NOM-001-SEMARNAT-1996⁴⁰ del límite máximo permisible de la temperatura son los siguientes:

Tabla 27. Límite Máximo Permissible Temperatura, NOM-001-SEMARNAT-1996

Parámetros	RIOS		
	Uso en Riego Agrícola	Uso público Urbano	Protección de Vida Acuática
°C	Promedio Diario	Promedio Diario	Promedio Diario
Temperatura	N. A	40	40

Fuente: SEMARNAT

Todos los valores obtenidos en los muestreos a lo largo del 2008 están por debajo de los límites máximos permisibles que señala la norma.

Tabla 28. Lectura de Temperatura en los Sitios de Monitoreo 2008

NOMBRE ESTACION	FECHA	HORA	TEMPERATURA DEL AGUA (°C)
Canal Endhó	04-mar-08	12:30 p.m.	18.0
Canal Endhó	17-jun-08	02:00 p.m.	22.0
Canal Endhó	27-ago-08	03:00 p.m.	21.0
Río Tula (La Cruz)	04-mar-08	11:30 a.m.	20.0
Río Tula (La Cruz)	17-jun-08	11:30 a.m.	22.0
Río Tula (La Cruz)	27-ago-08	12:30 p.m.	23.0
Descarga Emisor Central	05-mar-08	11:00 a.m.	20.0
Descarga Emisor Central	18-jun-08	12:45 p.m.	22.0
Descarga Emisor Central	26-ago-08	12:00 p.m.	21.5
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	04-mar-08	06:00 p.m.	19.0
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	18-jun-08	09:30 a.m.	20.5
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	26-ago-08	10:00 a.m.	21.0
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	24.0
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	24.5

⁴⁰ La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece los límites permisibles de los contaminantes en las descargas de agua residual en aguas y bienes nacionales

NOMBRE ESTACION	FECHA	HORA	TEMPERATURA DEL AGUA (°C)
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	23.0
Río Tepeji	05-mar-08	12:00 p.m.	18.0
Río Tepeji	18-jun-08	02:00 p.m.	19.0
Río Tepeji	26-ago-08	01:30 p.m.	18.0

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

Potencial de hidrógeno (pH)

El valor que menciona la NOM-127-SSA1-1994⁴¹, para pH es entre 6.5 y 8.5 unidades de pH.

En la tabla Tabla 29. Lectura de pH en los Sitios de Monitoreo 2008 se observa que todos los valores están por debajo de la norma, tanto para las lecturas del pH en el sitio, como para las lecturas del pH en el laboratorio.

Tabla 29. Lectura de pH en los Sitios de Monitoreo 2008

NOMBRE ESTACION	FECHA	HORA	PH SITIO	PH LAB.
Canal Endhó	04-mar-08	12:30 p.m.	7.93	7.60
Canal Endhó	17-jun-08	02:00 p.m.	7.31	7.65
Canal Endhó	27-ago-08	03:00 p.m.	6.40	7.37
Río Tula (La Cruz)	04-mar-08	11:30 a.m.	8.35	7.96
Río Tula (La Cruz)	17-jun-08	11:30 a.m.	8.18	8.42
Río Tula (La Cruz)	27-ago-08	12:30 p.m.	7.55	7.97
Descarga Emisor Central	05-mar-08	11:00 a.m.	7.66	7.41
Descarga Emisor Central	18-jun-08	12:45 p.m.	7.10	7.53
Descarga Emisor Central	26-ago-08	12:00 p.m.	6.84	6.80
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	04-mar-08	06:00 p.m.	7.96	7.60
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	18-jun-08	09:30 a.m.	7.89	7.70
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	26-ago-08	10:00 a.m.	7.92	7.63
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	7.74	7.46
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	7.74	7.71
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	8.05	7.80
Río Tepeji	05-mar-08	12:00 p.m.	7.72	7.37
Río Tepeji	18-jun-08	02:00 p.m.	7.72	7.35
Río Tepeji	26-ago-08	01:30 p.m.	7.72	7.05

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

El pH en el agua se utiliza como parámetro para conocer su tendencia corrosiva o incrustante.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua; entre mayor sea la cantidad de desechos orgánicos en el agua, mayor serán las bacterias presentes para descomponer los desechos.

⁴¹ La NOM-127-SSA1-1994 establece los límites permisibles de del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados.

Los valores mencionados por la NOM-001-SEMARNAT-1996⁴² del límite permisible de la demanda bioquímica de oxígeno son los siguientes:

Tabla 30. Límite Máximo Permissible DBO, NOM-001-SEMARNAT-1996

Parámetros	RIOS		
	Uso en Riego Agrícola	Uso público Urbano	Protección de Vida Acuática
(mg /l)	Promedio Diario	Promedio Diario	Promedio Diario
DBO	200	150	60

Fuente: SEMARNAT

En la Tabla 31. Lectura de DBO en los Sitios de Monitoreo 2008 se observa que para uso de riego agrícola casi todos los valores mostrados se encuentran por debajo del valor de la norma, con excepción en el mes de marzo del 2008 de la descarga del Emisor Central que la supera por 124 mg/l.

Tabla 31. Lectura de DBO en los Sitios de Monitoreo 2008

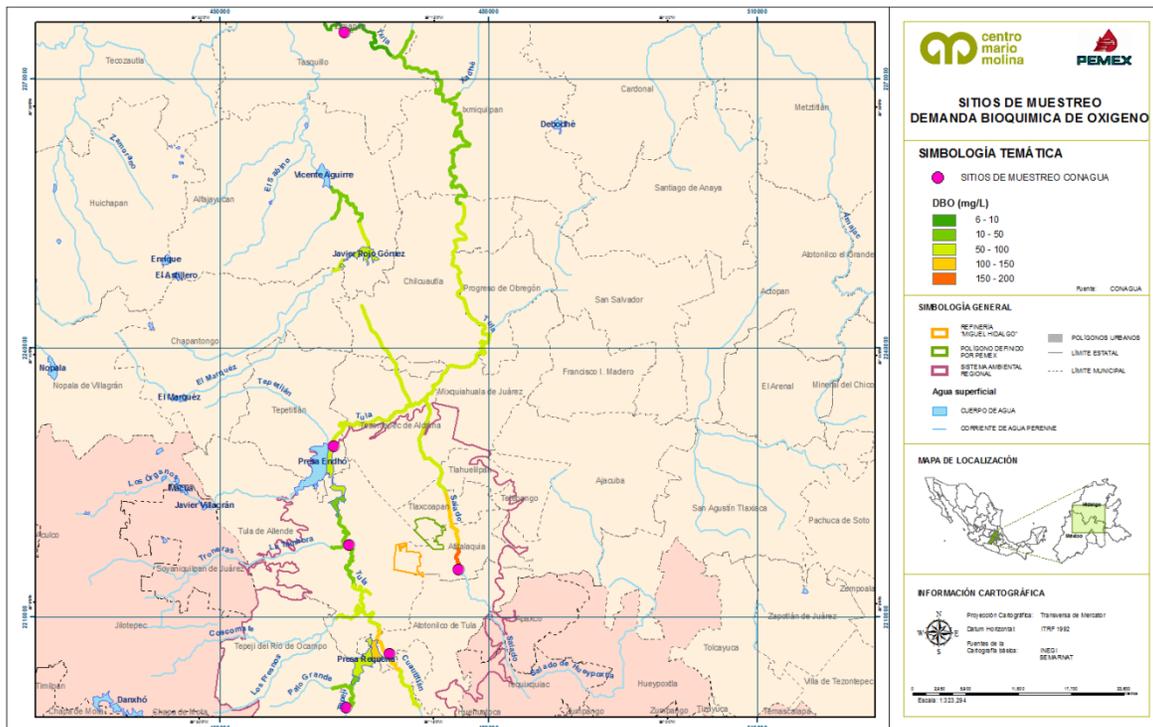
NOMBRE ESTACION	FECHA	HORA	DBO5
Canal Endhó	04-mar-08	12:30 p.m.	71.00
Canal Endhó	17-jun-08	02:00 p.m.	64.00
Canal Endhó	27-ago-08	03:00 p.m.	40.53
Río Tula (La Cruz)	04-mar-08	11:30 a.m.	8.83
Río Tula (La Cruz)	17-jun-08	11:30 a.m.	6.60
Río Tula (La Cruz)	27-ago-08	12:30 p.m.	7.32
Descarga Emisor Central	05-mar-08	11:00 a.m.	324.00
Descarga Emisor Central	18-jun-08	12:45 p.m.	111.50
Descarga Emisor Central	26-ago-08	12:00 p.m.	70.92
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	04-mar-08	06:00 p.m.	165.52
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	18-jun-08	09:30 a.m.	162.00
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	26-ago-08	10:00 a.m.	111.45
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	12.79
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	17.00
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	10.99
Río Tepeji	05-mar-08	12:00 p.m.	
Río Tepeji	18-jun-08	02:00 p.m.	10.90
Río Tepeji	26-ago-08	01:30 p.m.	12.21

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

A continuación se muestra un mapa que muestra la concentración de DBO en mg/l, dentro de los cuerpos más importantes del Sistema Ambiental Regional.

⁴² La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece los límites permisibles de los contaminantes en las descargas de agua residual en aguas y bienes nacionales

Figura 38. Demanda Bioquímica de Oxígeno, Área de Influencia



Fuente: CENTRO MARIO MOLINA

En promedio, en todos los sitios se cumple con el límite máximo permisible establecido por la norma; sin embargo, es elevada la concentración (mg/l) de DBO en la primera estación del Río Salado en el municipio de Atitalaquia; esto, debido a la descarga del Emisor central a este río.

FOSFORO TOTAL

La presencia de fosfatos en aguas residuales se debe a los detergentes descargados en las aguas, así como al uso de fertilizantes que son deslavados de la tierra de cultivo.

Los valores mencionados por la NOM-001-SEMARNAT-1996⁴³ de los límites permisibles del fósforo total son los siguientes:

Tabla 32. Límite Máximo Permisible FOSFORO, NOM-001-SEMARNAT-1996

Parámetros	RIOS		
	Uso en Riego Agrícola	Uso público Urbano	Protección de Vida Acuática
(mg /l)	Promedio Diario	Promedio Diario	Promedio Diario
Fósforo Total	30	30	10

Fuente: SEMARNAT

En la Tabla 33. Lectura de Fosforo en los Sitios de Monitoreo 2008 se observa que tanto para uso de riego agrícola, como para uso público urbano, todos los valores mostrados

⁴³ La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece los límites permisibles de los contaminantes en las descargas de agua residual en aguas y bienes nacionales

se encuentran por debajo del valor de la norma; en el caso de la protección a la vida acuática, sólo dos valores mostrados, uno en la descarga del Emisor Central y otro en la Presa Derivadora Tlamaco-Juandho, se encuentran por encima de ésta.

Tabla 33. Lectura de Fosforo en los Sitios de Monitoreo 2008

NOMBRE ESTACION	FECHA	HORA	FOSFORO TOTAL
Canal Endhó	04-mar-08	12:30 p.m.	2.810
Canal Endhó	17-jun-08	02:00 p.m.	3.504
Canal Endhó	27-ago-08	03:00 p.m.	2.360
Río Tula (La Cruz)	04-mar-08	11:30 a.m.	0.510
Río Tula (La Cruz)	17-jun-08	11:30 a.m.	0.951
Río Tula (La Cruz)	27-ago-08	12:30 p.m.	1.930
Descarga Emisor Central	05-mar-08	11:00 a.m.	14.650
Descarga Emisor Central	18-jun-08	12:45 p.m.	6.758
Descarga Emisor Central	26-ago-08	12:00 p.m.	2.840
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	04-mar-08	06:00 p.m.	15.900
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	18-jun-08	09:30 a.m.	8.536
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	26-ago-08	10:00 a.m.	7.090
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	0.650
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	0.514
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	0.350
Río Tepeji	05-mar-08	12:00 p.m.	3.180
Río Tepeji	18-jun-08	02:00 p.m.	0.435
Río Tepeji	26-ago-08	01:30 p.m.	0.460

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

NITRATOS

El valor mencionado por la NOM-127-SSA1-1994⁴⁴ del límite permisible de los Nitratos es de 10 mg/l; En la Tabla 34. Lectura de Nitratos en los Sitios de Monitoreo 2008 se observa que en los tres muestreos que se realizaron en la Descarga de Pemex en el año 2008, el valor obtenido está por encima del valor establecido en la norma.

Tabla 34. Lectura de Nitratos en los Sitios de Monitoreo 2008

NOMBRE ESTACION	FECHA	HORA	NITRATO
Canal Endhó	04-mar-08	12:30 p.m.	0.20
Canal Endhó	17-jun-08	02:00 p.m.	<0.05
Canal Endhó	27-ago-08	03:00 p.m.	<0.05
Río Tula (La Cruz)	04-mar-08	11:30 a.m.	5.42
Río Tula (La Cruz)	17-jun-08	11:30 a.m.	9.77
Río Tula (La Cruz)	27-ago-08	12:30 p.m.	3.47
Descarga Emisor Central	05-mar-08	11:00 a.m.	0.16
Descarga Emisor Central	18-jun-08	12:45 p.m.	<0.05
Descarga Emisor Central	26-ago-08	12:00 p.m.	0.28
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	04-mar-08	06:00 p.m.	0.18

⁴⁴ La NOM-127-SSA1-1994 establece los límites permisibles de del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados.

NOMBRE ESTACION	FECHA	HORA	NITRATO
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	18-jun-08	09:30 a.m.	<0.05
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	26-ago-08	10:00 a.m.	0.11
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	27.66
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	28.21
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	27.47
Río Tepeji	05-mar-08	12:00 p.m.	0.23
Río Tepeji	18-jun-08	02:00 p.m.	0.82
Río Tepeji	26-ago-08	01:30 p.m.	0.57

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

En las descargas residuales ricas en nitrógeno se pueden ocasionar problemas de reducción de oxígeno, ya que al oxidarse los compuestos de nitrógeno retiran el poco oxígeno presente. Con esto, aumenta el deterioro de la corriente de agua.

SOLIDOS DISUELTOS TOTALES

Lo sólidos disueltos totales son todas aquellas sustancias orgánicas e inorgánicas solubles en agua.

El valor que menciona la NOM-127-SSA1-1994⁴⁵ en sólidos disueltos totales para uso y consumo humano es de 1000 mg/l. Como se aprecia en la siguiente tabla, en varios casos los límites máximos permisibles son rebasados por los valores obtenidos de las muestras.

En el caso de la estación Río Tula (La Cruz), en el muestreo realizado el 04 de marzo del 2008, el valor obtenido está por encima del límite máximo permisible. En los casos de la Presa Derivadora Tlamaco-Juandho y de la Descarga de Pemex, el valor de sólidos disueltos totales está por encima del límite máximo permisible en dos muestreos. El elevado número de sólidos disueltos totales en los dos muestreos de la Descarga de Pemex supera al límite máximo permisible, ya que es casi tres veces más de lo que señala la norma para uso y consumo humano.

Tabla 35. Lectura de Sólidos Disueltos Totales en los Sitios de Monitoreo 2008

NOMBRE ESTACION	FECHA	HORA	SDT
Canal Endhó	04-mar-08	12:30 p.m.	774.0
Canal Endhó	17-jun-08	02:00 p.m.	670.0
Canal Endhó	27-ago-08	03:00 p.m.	520.0
Río Tula (La Cruz)	04-mar-08	11:30 a.m.	1,128.0
Río Tula (La Cruz)	17-jun-08	11:30 a.m.	1,032.0
Río Tula (La Cruz)	27-ago-08	12:30 p.m.	706.0
Descarga Emisor Central	05-mar-08	11:00 a.m.	964.0
Descarga Emisor Central	18-jun-08	12:45 p.m.	960.0
Descarga Emisor Central	26-ago-08	12:00 p.m.	396.0
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	04-mar-08	06:00 p.m.	1,320.0
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	18-jun-08	09:30 a.m.	1,032.0
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	26-ago-08	10:00 a.m.	1,648.0
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	846.0

⁴⁵ La NOM-127-SSA1-1994 establece los límites permisibles de del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados.

NOMBRE ESTACION	FECHA	HORA	SDT
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	3,474.0
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	3,134.0
Río Tepeji	05-mar-08	12:00 p.m.	593.0
Río Tepeji	18-jun-08	02:00 p.m.	668.0
Río Tepeji	26-ago-08	01:30 p.m.	146.0

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) son todas aquellas partículas no solubles que no son lo suficientemente pesadas para sedimentarse en el cuerpo de agua en que están presentes. Este parámetro de la calidad del agua está estrechamente ligado con la claridad del agua.

Los valores de límite máximo permisible de Sólidos Suspendidos Totales mencionados en la NOM-001-SEMARNAT-1996⁴⁶ son los siguientes:

Tabla 36. Límite Máximo Permisible SST, NOM-001-SEMARNAT-1996

Parámetros	RIOS		
	Uso en Riego Agrícola	Uso público Urbano	Protección de Vida Acuática
(mg /l)	Promedio Diario	Promedio Diario	Promedio Diario
SST	200	125	60

Fuente: SEMARNAT

Se observa que para uso en riego agrícola, los valores en el segundo muestreo del Río Tula, en el primer y tercer muestreo de la estación de la Descarga del Emisor, el primer y tercer muestreo de la estación de la Presa derivadora Tlamaco-Juandho y los dos últimos muestreos de la estación del río Tepeji, están por encima de los valores establecidos como máximos permisibles de la norma.

Tabla 37. Lectura de Sólidos Suspendidos Totales en los Sitios de Monitoreo 2008

NOMBRE ESTACION	FECHA	HORA	SST
Canal Endhó	04-mar-08	12:30 p.m.	80.0
Canal Endhó	17-jun-08	02:00 p.m.	10.0
Canal Endhó	27-ago-08	03:00 p.m.	40.0
Río Tula (La Cruz)	04-mar-08	11:30 a.m.	34.0
Río Tula (La Cruz)	17-jun-08	11:30 a.m.	344.0
Río Tula (La Cruz)	27-ago-08	12:30 p.m.	192.0
Descarga Emisor Central	05-mar-08	11:00 a.m.	260.0

⁴⁶ La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece los límites permisibles de los contaminantes en las descargas de agua residual en aguas y bienes nacionales

NOMBRE ESTACION	FECHA	HORA	SST
Descarga Emisor Central	18-jun-08	12:45 p.m.	200.0
Descarga Emisor Central	26-ago-08	12:00 p.m.	490.0
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	04-mar-08	06:00 p.m.	280.0
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	18-jun-08	09:30 a.m.	200.0
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	26-ago-08	10:00 a.m.	980.0
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	38.0
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	0.0
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	32.0
Río Tepeji	05-mar-08	12:00 p.m.	85.0
Río Tepeji	18-jun-08	02:00 p.m.	2,100.0
Río Tepeji	26-ago-08	01:30 p.m.	312.0

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

GRASAS Y ACEITES

Los valores mencionados por la NOM-001-SEMARNAT-1996⁴⁷ del límite permisible de las grasas y aceites son los siguientes:

Tabla 38. Límite Máximo Permissible Grasas y Aceites, NOM-001-SEMARNAT-1996

Parámetros	RIOS		
	Uso en Riego Agrícola	Uso público Urbano	Protección de Vida Acuática
(mg /l)	Promedio Diario	Promedio Diario	Promedio Diario
Grasas y Aceites	25	25	25

Fuente: SEMARNAT

En la tabla a continuación, se observa que en 4 ocasiones se sobrepasan los límites máximos permisibles, dos en la Descarga del Emisor Central y dos en la Presa Derivadora Tlamaco-Juandho.

Tabla 39. Lectura de Grasas y Aceites en los Sitios de Monitoreo 2008

NOMBRE ESTACION	FECHA	HORA	GRASAS Y ACEITES
Canal Endhó	04-mar-08	12:30 p.m.	13.24
Canal Endhó	17-jun-08	02:00 p.m.	10.69
Canal Endhó	27-ago-08	03:00 p.m.	4.72
Río Tula (La Cruz)	04-mar-08	11:30 a.m.	5.50
Río Tula (La Cruz)	17-jun-08	11:30 a.m.	7.25
Río Tula (La Cruz)	27-ago-08	12:30 p.m.	4.22
Descarga Emisor Central	05-mar-08	11:00 a.m.	40.55
Descarga Emisor Central	18-jun-08	12:45 p.m.	36.00

⁴⁷

La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece los límites permisibles de los contaminantes en las descargas de agua residual en aguas y bienes nacionales

NOMBRE ESTACION	FECHA	HORA	GRASAS Y ACEITES
Descarga Emisor Central	26-ago-08	12:00 p.m.	22.71
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	04-mar-08	06:00 p.m.	25.97
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	18-jun-08	09:30 a.m.	20.96
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	26-ago-08	10:00 a.m.	33.33
Descarga Pemex	04-mar-08	02:30 p.m.	6.79
Descarga Pemex	17-jun-08	03:00 p.m.	7.33
Descarga Pemex	26-ago-08	04:00 p.m.	1.01
Río Tepeji	05-mar-08	12:00 p.m.	14.61
Río Tepeji	18-jun-08	02:00 p.m.	3.65
Río Tepeji	26-ago-08	01:30 p.m.	1.39

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

Los problemas y complicaciones que pueden ocasionar las grasas y aceites son que al solidificarse pueden causar bloqueos y obstrucciones en las tuberías.

CONDUCTIVIDAD

La conductividad específica no está delimitada dentro de las normas aquí utilizadas (NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-127-SSA1-1994). A pesar de esto y debido a que la conductividad está estrechamente ligada con la salinidad de los cuerpos de agua, se mencionan los valores de conductividad en los sitios de monitoreo. Los valores mostrados en la siguiente tabla se encuentran en dS/m

Tabla40. Lectura de Conductividad en los Sitios de Monitoreo 2008

NOMBRE ESTACION	FECHA	CONDUCTIVIDAD
Canal Endhó	04-mar-08	1.359
Canal Endhó	17-jun-08	1.077
Canal Endhó	27-ago-08	0.841
Río Tula (La Cruz)	04-mar-08	1.719
Río Tula (La Cruz)	17-jun-08	1.664
Río Tula (La Cruz)	27-ago-08	1.097
Descarga Emisor Central	05-mar-08	1.650
Descarga Emisor Central	18-jun-08	1.330
Descarga Emisor Central	26-ago-08	0.704
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	04-mar-08	2.249
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	18-jun-08	1.566
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	26-ago-08	2.040
Descarga Pemex	04-mar-08	5.886
Descarga Pemex	17-jun-08	4.276
Descarga Pemex	26-ago-08	3.968
Río Tepeji	05-mar-08	
Río Tepeji	18-jun-08	0.152
Río Tepeji	26-ago-08	0.142

Fuente: COMISION NACIONAL DEL AGUA 2008

Según la Organización de Comida y Agricultura de las Naciones Unidas (FAO, por sus siglas en inglés) en su publicación de Calidad de Agua para Agricultura, los límites de conductividad que el agua debe de tener para su uso agrícola (el agua aquí analizada es en su mayoría para uso agrícola) deben ser los siguientes:

Tabla 41. Límites de conductividad marcada por la FAO

NADA DE SALINIDAD	DE LEVE A MODERADA	SEVERO
< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0

Fuente: FAO WATER QUALITY FOR AGRICULTURE

En el caso de la estación en la Descarga de PEMEX se observa que los valores superan los límites establecidos por la FAO en su publicación de Calidad de Agua para Agricultura, por lo que es recomendable disminuir estos valores para que se encuentren mínimo en la categoría de Leve a Moderada Salinidad.

La salinidad en los cuerpos de agua utilizados para la agricultura es un contaminante que provoca una disminución en la calidad del suelo y por consecuencia en el cultivo.

ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA

Para complementar el estudio de los parámetros obtenidos de las mediciones de las seis estaciones de monitoreo y muestreo de la Comisión Nacional del Agua, se aplicó un Índice de Calidad del Agua (ICA); este ICA va en una escala de valores de 0 a 100 en donde 0 es la peor calidad y 100 la mejor. A continuación se muestra el procedimiento⁴⁸ realizado para obtener los valores del ICA.

Con las siguientes fórmulas se obtuvieron los valores llamados “Índice” de cada uno de los parámetros obtenidos en los sitios de muestreo.

INDICE COLOR

$$I_C = 123(C)^{-0.295}$$

Si $C < 2.2$, entonces $I_C = 100$

INDICE CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA

$$I_{CE} = 540 (CE)^{-0.379}$$

Si $CE < 85.5$, entonces $I_{CE} = 100$

INDICE DBO

$$I_{DBO} = 120 (DBO)^{-0.673}$$

Si $DBO < 1.311$, entonces $I_{DBO} = 100$

INDICE FOSFATOS

$$I_{PO_4} = 34.215(PO_4)^{-0.46}$$

⁴⁸ Lineamientos para la elaboración del manual de ordenamiento ecológico del territorio, secretaria de desarrollo urbano y ecología 1988

Si $PO_4 < 0.097$, entonces $I_{PO_4} = 100$

INDICE GRASAS Y ACEITE

$$I_{GYA} = 87.25 (G Y A)^{-0.298}$$

Si $G Y A < 0.632$, entonces $I_{GYA} = 100$

INDICE NITRATOS

$$I_{NNO_3} = 16.2(NNO_3) - 0.343$$

Si $NNO_3 < 4.1$, entonces $I_{NNO_3} = 100$

INDICE OXIGENO DISUELTO

$$I_{OD} = \frac{100 (OD)}{14.492 - 0.364 T + 0.006 T^2}$$

Si $OD > 8$, entonces $I_{OD} = 100$

INDICE pH

$$I_{pH} = 10^{0.2335pH + 0.440}$$

Si $0 < pH < 6.68$

$$I_{pH} = 10^{0.2335pH + 0.440}$$

Si $7.576 < pH < 14$

Si $6.68 < pH < 7.576$, entonces $I_{pH} = 100$

INDICE SOLIDOS DISUELTOS TOTALES

$$I_{SD} = 109.1 - 0.0175 (SD)$$

Si $SD < 520$, entonces $I_{SD} = 100$

Si $SD > 6234$, entonces $I_{SD} = 0$

INDICE SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

$$I_{SST} = 266.5 (SST)^{-0.37}$$

Si $SST < 1.75$, entonces $I_{SST} = 100$

INDICE TURBIEDAD

$$I_{Turb} = 108(Turb)^{-0.178}$$

Si $Turb < 1.5$, entonces $I_{Turb} = 100$

Los valores obtenidos después de haber utilizado las fórmulas anteriores son los siguientes:

Tabla 42. Índice de cada parámetro

NOMBRE	I COLOR	I CONDESP	I DBO	I FOSF	I G Y A	I NNITR	I OD	I PH	I SDT	I SST	I TURB	TEMP
Canal Endho	35.12	38	7	19.218	43.07	100	13.00	95.18	97.38	100.0	64.563	22.0
Rio Tula (La Cruz)	38.79	32	34	35.015	48.35	74.219	73.39	56.62	91.04	30.7	75.273	22.0
Descarga Emisor Central	25.77	35	5	14.207	29.99	100	0.00	100.00	92.3	37.5	58.952	22.0

NOMBRE	I COLOR	I CONDESP	I DBO	I FOSF	I G Y A	I NNITR	I OD	I PH	I SDT	I SST	I TURB	TEMP
Presa Derivadora Tlamaco-Juandho	29.96	33	4	12.760	35.24	100	0.00	92.02	91.04	37.5	58.952	20.5
Descarga Pemex	62.36	23	18	46.470	48.19	51.59	75.09	91.41	48.31	100.0	91.747	24.5
Rio Tepeji	24.42	80	24	50.178	59.32	100	68.67	100.00	97.41	15.7	58.952	19.0

Fuente: Centro Mario Molina

Obtenidos los valores, se procede a asignarles un valor de importancia (Wi) a cada parámetro utilizado. Los valores asignados van de cero a 5 en orden creciente de relevancia, según el uso a que se destina el cuerpo de agua analizado.

Tabla 43. Valor de Importancia de cada parámetro

NOMBRE	COLOR	COND	DBO	FOSF	G Y A	NNIT	OD	PH	SDT	SST	TURB
	Wi	Wi	Wi	Wi	Wi	Wi	Wi	Wi	Wi	Wi	Wi
CANAL ENDHO	1	2	5	3	4	3	5	3	4	4	2
RIO TULA (LA CRUZ)	1	2	5	3	4	3	5	3	4	4	2
DESCARGA EMISOR CENTRAL	1	2	5	3	4	3	5	3	4	4	2
PRESA DERIVADORA TLAMACO-JUANDHO	1	2	5	3	4	3	5	3	4	4	2
DESCARGA PEMEX	1	2	5	3	4	3	5	3	4	4	2
RIO TEPEJI	1	2	5	3	4	3	5	3	4	4	2

Fuente: Centro Mario Molina

Para calcular el Índice de Calidad del Agua se utiliza la siguiente fórmula.

$$ICA = \frac{\sum_1^n (I \times Wi)}{\sum_1^n (I \times Wi)}$$

Una vez aplicada esta fórmula en cada uno de los sitios de muestreo, se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 44: Cálculo de ICA en cada Sitio de Muestreo

NOMBRE	SUM I x Wi	SUM Wi	ICA
CANAL ENDHO	1,947.3	÷ 36.0	= 54.09
RIO TULA (LA CRUZ)	1,967.7	÷ 36.0	= 54.66
DESCARGA EMISOR CENTRAL	1,521.4	÷ 36.0	= 42.26
PRESA DERIVADORA TLAMACO-JUANDHO	1,503.4	÷ 36.0	= 41.76
DESCARGA PEMEX	2,110.2	÷ 36.0	= 58.62
RIO TEPEJI	2,207.1	÷ 36.0	= 61.31

Fuente: Centro Mario Molina

Una vez obtenidos estos datos, se extrapolaron para obtener los valores aproximados del Índice de calidad del agua en los ríos y cuerpos dentro del Área de Influencia y del Sistema Ambiental Regional. A continuación se muestran los mapas que muestran la calidad del agua en el Área de Influencia y en Sistema Ambiental Regional; el ICA tiene una escala de valores de 0 a 100, en donde 0 es la peor calidad y 100 la mejor posible.

Figura 39. Índice de la Calidad del Agua, Área de Influencia

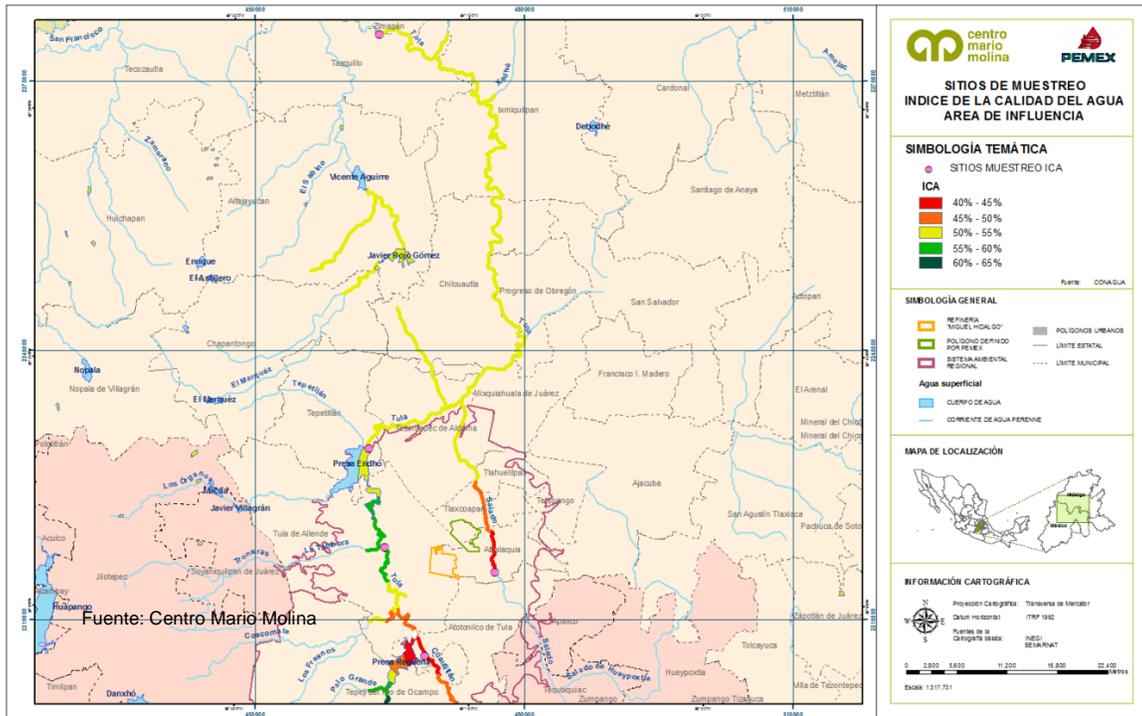
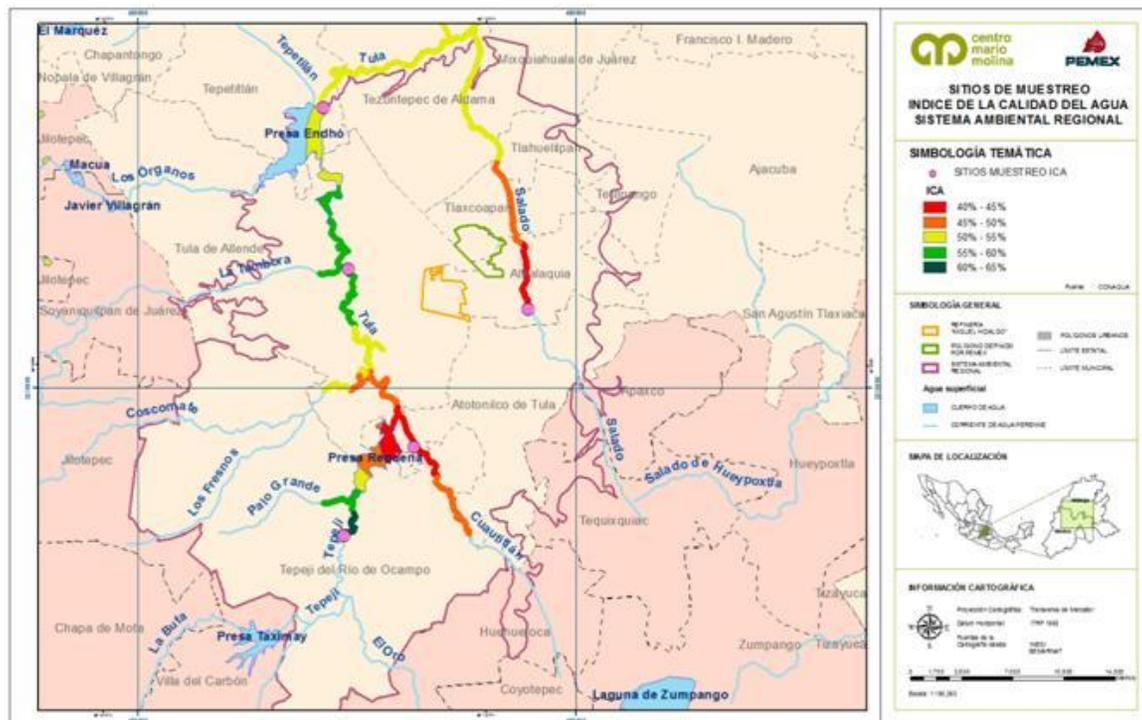
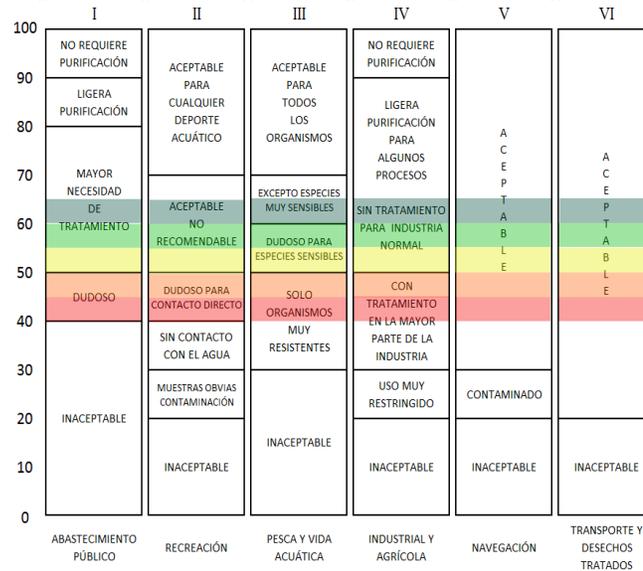


Figura 40. Índice de la Calidad del Agua, Sistema Ambiental Regional



Los parámetros utilizados para diagnosticar la calidad del agua en el área estudiada fueron los siguientes⁴⁹:

Figura 41. Clasificación del Índice de Calidad del Agua



Fuente: Ex Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología

Como se puede observar en la Figura 41. Clasificación del Índice de Calidad del Agua, al comparar los valores de los índices de calidad de agua con la clasificación de éstos, se obtiene el siguiente diagnóstico:

- I. En partes del Río Cuautitlán, del Río Salado, del Río Tula y de la Presa Requena, la clasificación del ICA es dudosa para uso del agua en el abastecimiento público.

En el Río Palo Grande, Río Tepeji, el Río El Marquez y la Presa Javier Rojo Gómez, así como, en parte de la presa Requena, gran parte del Río Tula y la Presa Endhó, se requiere un mayor tratamiento del agua para poderla utilizar para abastecimiento humano.

- II. Para Recreación, el ICA indica que el uso de agua proveniente de estos cuerpos es aceptable, sin embargo no es recomendable.

En el Río Cuautitlán y parte del Río Salado, parte del Río Tula y parte de la Presa Requena, la clasificación es dudosa para contacto directo.

- III. Para Pesca y Vida Acuática, el ICA nos indica que en el Río Cuautitlán, parte del Río Salado, parte del Río Tula y parte de la Presa Requena, solo podrán habitar organismos muy resistentes. Sin embargo, para el Río Palo Grande, el Río Tepeji, el Río El Marquez, la Presa Javier Rojo Gómez, parte de la presa Requena, gran

⁴⁹ Lineamientos para la elaboración del manual de ordenamiento ecológico del territorio, secretaria de desarrollo urbano y ecología 1988

parte del Río Tula y para la Presa Endhó, la calidad del agua es muy dudosa para especies sensibles.

- IV. Para uso Industrial y Agrícola, el ICA nos indica que en el Río Cuautitlán, parte del Río Salado, parte del Río Tula y parte de la Presa Requena, se requiere un tratamiento para poder utilizar el agua en la mayor parte de las industrias.

Para el Río Palo Grande, el Río Tepeji, el Río El Marquez, la Presa Javier Rojo Gómez, parte de la presa Requena, para gran parte del Río Tula y la Presa Endhó, no se requiere tratamiento para su utilización en la mayoría de las industrias.

- V. Para Navegación, el ICA nos indica que esta actividad se puede realizar sin ningún problema en cualquier río y cuerpo de agua en la zona.

- VI. El ICA indica que la calidad del agua es aceptable en estos ríos y cuerpos de agua para realizar las actividades de transporte y desechos tratados.

Respecto a las descargas de origen industrial, un informe⁵⁰ que realizó la CFE señala que en el año 2006 la calidad de la descarga de aguas residuales de la termoeléctrica de Tula fue aceptable, de conformidad con lo siguiente:

- En Sólidos Suspendidos Totales (SST), el promedio diario (P.D.) es de 60 ppm (mg/l), este valor es menor al valor establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 (165 para uso agrícola, 60 uso público urbano).
- En Cobre (Cu), el P.D. es de 0.8 ppm (mg/l), menor el límite que marca la NOM-001-SEMARNAT-1996 (6.0 mg/l tanto para uso agrícola, como para uso público urbano).
- En Zinc (Zn), el P.D. es de 2 ppm (mg/l), menor que los límites máximos que marca la NOM-001-SEMARNAT-1996, tanto para uso agrícola, como para uso público urbano (20 mg/l en ambos casos).
- En Fósforo (P), el P.D. es de 10 ppm (mg/l), menor que el límite establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 (30 mg/l para uso agrícola y 10 mg/l para uso público urbano).
- En Temperatura, el P.D. es de 30°C, menor que el valor marcado por la NOM-001-SEMARNAT-1996 (40°C)

CALIDAD DEL AGUA PARA LA AGRICULTURA

Durante el uso de las aguas residuales en los distritos de riego del Valle del Mezquital, (una mezcla de residuos domésticos e industriales) recibe un tratamiento de infiltración natural en la "tierra" equivalente o superior al tratamiento secundario convencional de agua residual; no obstante, están contaminadas con organismos patógenos y sustancias químicas tóxicas, que constituyen un riesgo para la salud de los agricultores y consumidores de esos productos; los principales cultivos son: alfalfa, maíz, trigo, avena, frijol, cebada, café, cítricos, melón, tomate verde, jitomate, chile y betabel; hay una pequeña, pero importante, producción de cultivos restringidos en una sección menor del Valle (DR 100), que incluye lechuga, col, quintoniles, cilantro, rábano, zanahoria,

⁵⁰ CFE, Subdirección de Generación, Subgerencia de Ingeniería Química y Control Ambiental. Reporte elaborado en Septiembre del 2006

espinacas y perejil; esta restricción de cultivos es parte de la regulación del reúso de aguas residuales para la protección de la salud.

No toda el agua de riego en el Distrito 03 Tula tiene la misma calidad; por ejemplo, a la entrada del Valle, el agua residual tiene un máximo de 6×10^8 coliformes fecales/100 ml, mientras que el suministro de la presa Vicente Aguirre reduce la cantidad a 2×10^1 ; mismo efecto ocurre con los helmintos, la concentración de huevos de *Ascaris* pasa de 135 por litro a la entrada del Valle a menos de uno por litro en el suministro del almacenamiento más bajo (Cortés, 1989; Cifuentes et al., 1994), situación que ha ocasionado que la CONAGUA establezca regulaciones para el riego de productos de consumo crudo.

La construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales en el Municipio de Atotonilco de Tula ha provocado expectativas entre la población de agricultores del distrito de riego 03; al mejorar la calidad del agua de riego en sus parcelas se abre la posibilidad de ampliar la gama de productos ahora controlados, como las hortalizas.

- En el acuífero del Valle de Mezquital

Diversos estudios coinciden en señalar niveles altos de contaminación encontrados en el acuífero, debido principalmente a la infiltración del agua residual para uso agrícola en el Valle del Mezquital; éste cubre una superficie de 45,214 hectáreas, con una lámina bruta media utilizada de 215 cm/año; recibe la infiltración de aguas residuales tanto de tipo doméstico como industrial; por ello, contiene desechos sólidos con altas concentraciones de organismos fecales, materia orgánica y compuestos de nitrógeno, así como la presencia de algunas sustancias tóxicas.

En uno de los estudios analizados (Gutiérrez Susana, Ob. cit.) se encontró que en un muestreo practicado a 36 aprovechamientos, en 26 de ellos no se cumple con la norma establecida por lo menos en un parámetro químico. Sin embargo, se detectó que en 7 pozos cercanos a la zona de Actopan y al suroeste de Mixquiahuala no se cumple con cuatro parámetros: nitratos, sodio, SDT y cloro o flúor, 5 pozos no cumplen con la norma del cloro y los dos restantes están fuera de norma con respecto al flúor. Entre Ajacuba y Tula se presentan seis pozos que no cumplen con tres parámetro, el parámetro común que se sobrepasa de la norma son los Sólidos Totales Disueltos (STD); en la mayoría de los pozos se presentan problemas con nitratos; respecto al análisis de parámetros bacteriológicos, en 25 de los aprovechamientos se rebasa la Norma Nacional de Coliformes Totales, que establece como máximo permisible 2 NMP/100 ml; en los resultados se presentan valores que varían de 4 a 2490 NMP/100ml; en Coliformes fecales se detectó que en 5 aprovechamientos están presentes, con valores que fluctúan de 14 a 318 NMP/100 ml.

Un segundo estudio de referencia⁵¹ muestreó dos posibles pozos de ser explotados en el Valle del Mezquital para el abastecimiento del Valle de México y que coinciden con el área de estudio: Teocalco (pozo 9 de PEMEX) y Tezontepec y en el que se analizaron 276 parámetros (22 físicos; 34 metales, no metales y compuestos inorgánicos; 7 microbiológicos; 213 compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles, carbonatos, pesticidas clorados, PCB's, pesticidas fosforados, trihalometanos, TPH's, toxicidad y radioactividad); los resultados fueron los siguientes:

⁵¹ Pérez Rosalino y otros. ¿El agua del Valle del Mezquital, fuente de abastecimiento para el Valle de México? Instituto de Ingeniería de la UNAM. Sin fecha.

Pozo Teocalco. En este sitio los parámetros que siempre excedieron la norma (NOM-127 SSA1 1994) fueron: coliformes totales (16 vs 2 NMP/100 mL), coliformes fecales (1.3 vs 0 NMP/100 mL), nitratos (24 vs 10 mg/L) y nitrógeno amoniacal (0.7 vs 0.5 mg/L).

En más de dos ocasiones se encontró que el valor máximo (más no el promedio) excedió la norma en los siguientes casos: mercurio (0.002 vs 0.001 mg/L), plomo (0.044 vs 0.025 mg/L), sodio (317 vs 200 mg/L), SAAM (0.6 vs 0.5 mg/L) y SDT (1054 vs 1000 mg/L).

La mayor parte de los estándares internacionales son más estrictos que los de la norma nacional, por ello, se encontró que la dureza total (324 vs 60 mg CaCO₃/L), el NTK (1.5 vs 1.0 mg/L), la alcalinidad (520 vs 49 mg CaCO₃/L), el boro (0.55 vs 0.3 mg/L) y el potasio (32 vs 12 mg/L) los rebasan. En los parámetros restantes no se tuvo ningún resultado adverso.

Pozo Tezontepec. Los parámetros que no cumplen con la norma nacional son: los CT (27 vs 2 NMP/100 mL), los CF (4.2 vs 0 NMP/100 mL), los nitratos (17 vs 10 mg/L) y los SDT (1038 vs 1000 mg/L). Además, se determinó que el fierro (0.94 vs 0.3 mg/L), el manganeso (0.06 vs 0.15 mg/L), el mercurio (0.005 vs 0.001 mg/L), el plomo (0.08 vs 0.025 mg/L) y el sodio (264 vs 200 mg/L), sobrepasaron al menos una vez los valores establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, por lo que el estudio consideró importante tomarlos en cuenta para la selección del sistema de potabilización, en el supuesto de utilizar el recurso para consumo humano y con la finalidad de disminuir los riesgos a la salud.

En relación con los criterios internacionales, y en especial los de la COEDE, rebasaron el manganeso (0.01 mg/L), los cloruros (179 mg/L), la dureza y la alcalinidad total (452 y 511 mg/L respectivamente), el NTK (1.6 mg/L), el níquel (0.011 mg/L), las SAAM (0.14 mg/L), el magnesio (64 mg/L), la plata (0.004 mg/L), el boro (0.63 mg/L) y el potasio (31 mg/L) en adición a los antes señalado.

Este estudio concluye que es posible aprovechar en una primera etapa 6 m³/seg para el abasto del Valle de México, previo tratamiento avanzado a nivel terciario; se recomienda probar a nivel piloto; adicional a implementar otras medidas, como el dar tratamiento a las aguas residuales antes de emplearlas en riego agrícola, dar un manejo adecuado de las láminas de riego a través de un riego con tasa lenta y/o de un flujo superficial y, construir y proteger las fuentes de abastecimiento. La implementación del proyecto requeriría de construir una batería compuesta de aproximadamente 90 pozos, con un promedio de explotación de 70 l/s por cada pozo.

CALIDAD DEL AGUA PARA ABASTECIMIENTO HUMANO EN EL DISTRITO DE RIEGO 03

Otro estudio realizado en la región de estudio por el Instituto de Ingeniería de la UNAM⁵² evaluó las distintas fuentes de abastecimiento de agua potable en diez puntos de muestreo para determinar el riesgo a la contaminación microbiana, virus entéricos, helmintos y tres plaguicidas; encontró que dichos abastecimientos tienen un riesgo de contaminación microbiana de intermedia a baja. La ausencia de helmintos y virus mostraron que en estos términos el agua es confiable; asimismo, no se detectó presencia de los plaguicidas buscados, pero sí de compuestos orgánicos no identificados.

⁵² Sotomayor Garza Claudia y otros. Suministro confiable de agua para consumo humano en el distrito de riego 03. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 2001.

Tabla 45. Principales contaminantes en el agua para consumo humano

Contaminante	NOM-SSA.1.127	Promedio (mg/L)
Coliformes totales	2	9500
Sólidos disueltos totales	1000	1101

El estudio destaca el resultado encontrado en los coliformes totales que sobrepasan en 4500 veces el valor de la norma.

Tabla 46. Principales plaguicidas utilizados en el distrito de riego 03

Tipo	
Carbofurano (Insecticida)	Elevado potencial de lixiviación
Atrazina (Herbicida)	Elevado potencial de lixiviación
2,4-DB (Herbicida)	Elevado potencial de lixiviación
ac. 2,4-D (Herbicida)	Entre alta y baja lixiviación

PLANTAS DE TRATAMIENTO EN LA ZONA DE ESTUDIO

El INEGI reporta que en la región de estudio hasta el 31 de diciembre de 2004 había 23 plantas de tratamiento de aguas residuales, 3 en Atitalaquia, 3 en Tula de Allende y 17 en Tepeji del Río, siendo todas ellas de propiedad privada.

Tabla 47. Plantas de tratamiento de agua residual

Tipo de servicio	Tipo de tratamiento				Capacidad instalada (l/s)	Volumen tratado (Mm3/seg)
	Total	Biológico	Físico-químico	Otros		
Atitalaquia	3	2	-	1	13.81	0.84
- Público	-	-	-	-	-	-
- Privado	3	2	-	1	13.81	0.84
Tula de Allende	3	3	-	-	1,461	26.92
- Público	-	-	-	-	-	-
- Privado	3	3	-	-	1,461	26.92
Tepeji del Río	17	9	7	1	91.48	1.26
- Público	-	-	-	-	-	-
- Privado	17	9	7	1	91.48	1.26

Fuente: INEGI. Anuario estadístico. 2005

REFINERÍA MIGUEL HIDALGO

- Abasto del Agua

El agua que se utiliza en la refinería proviene del manto freático, que se extrae de pozos localizados a 8 km al norte de la refinería, su transporte se realiza mediante acueducto de

36 pulgadas de diámetro, con un caudal aforado de 75,000 m³ al día y que se almacena en tanques localizados en Teocalco y Mangas, en los municipios de Tlaxcoapan y Tezontepec, sitio de donde se distribuye para los siguientes usos: reposición de 8 torres de enfriamiento; alimentación de cinco calderas y calderetas (vapor); contra incendio y servicio sanitario (PEMEX, 1990)⁵³.

- Uso del agua para la generación de vapor

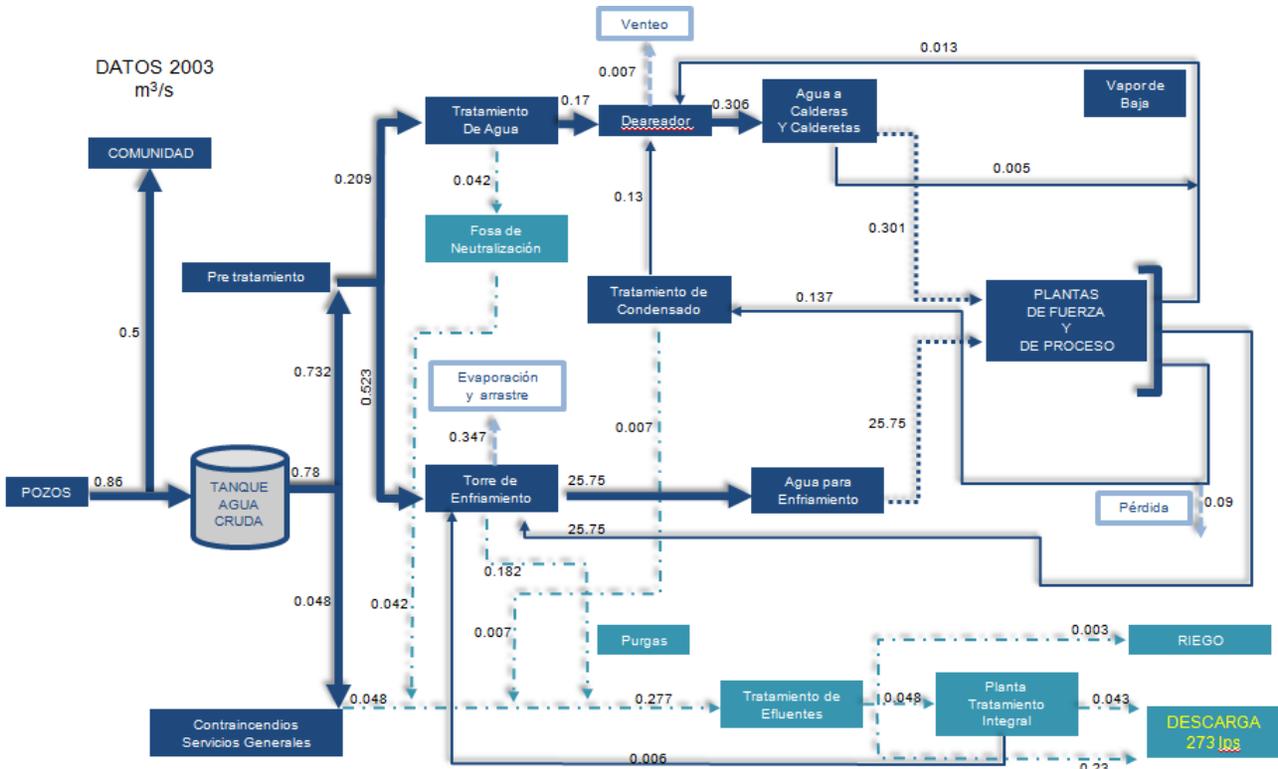
El agua cruda es sometida a un proceso para reducir su dureza y por medio de reacciones de intercambio iónico es desmineralizada (Mg, Ca, NaCl); los minerales sirven como alimentación a cinco calderas donde se obtiene vapor de agua seco de alta presión. El vapor obtenido (60kg/cm²) es utilizado para la generación de energía eléctrica de alto voltaje a través de tres turbo generadores y como medio motriz para el accionamiento de turbinas y compresores que cubren la demanda del aire (PEMEX, 1990)⁵⁴.

- Balance del Agua

Los datos del 2003 del balance del agua en la refinería indican que se extraen 74,805 m³/día (0.86 m³/s) de los pozos en Teocalco y Mangas; de éstos, 4,277 m³/día (0.5 m³/s) se destinan, entre otros usos, para la alimentación de agua en la Col Bojay, en la Col. PEMEX Tula, en el CENDI y en la Col. Ingenieros.

A continuación se observa la figura que representa esquemáticamente el balance de agua de la Refinería Miguel Hidalgo:

Figura 42 Balance de Agua Refinería Miguel Hidalgo



Fuente: Centro Mario Molina

⁵³ Ángel Ángeles Nava. Tesis para obtener el grado en maestro en ciencias: Impacto regional de la refinería Miguel Hidalgo en Tula de Allende, Hidalgo. Diciembre 2002

⁵⁴ Ob cit

De la figura anterior, se concluye que en el 2003 la descarga que tuvo la refinería fue de 23,315 m³/día (0.273 m³/s); las pérdidas por evaporación y arrastre en la torre de enfriamiento fueron del orden de 30,005 m³/día (0.347 m³/s); poco más de dos tercios del agua que ingresa es consumida en el proceso y únicamente un tercio es devuelto al sistema natural como agua residual.

Tabla 48. Balance del agua en la RMH

Balance	Abril 2002		2009	
	M3/día	%	M3/día	%
Insumo	64,016.2	100	74,805	100
Consumo	46,827.2	73	51,490	69
Descarga	17,189.0	27	23,315	31

Fuente: PEMEX

- Sistema de captación de agua de lluvia

El estudio citado señala que en el año 2003 fueron rehabilitadas las fosas oriente y poniente para la captación de agua pluvial, con capacidad total de 32,000 m³, construidas para almacenar grandes caudales de agua.

- Calidad del agua

La RMH cuenta con un sistema para el tratamiento de afluentes acuosos con capacidad de 39,000 m³/día; consiste en cárcamos reguladores, separadores mecánicos de placas API, lagunas de retención, oxidación y estabilización; su objetivo es recuperar el aceite del agua recibida a través de los drenes, enviándolo a reproceso y el agua libre de aceite, hacia las lagunas de oxidación y estabilización, en donde la acción de varios aereadores restituyen las demandas químicas y biológicas de oxígeno. El agua residual tratada es utilizada en riego de áreas verdes y el volumen restante, 20,822 m³/d (80%) restante, depositada mediante un colector al margen derecho del Río Tula.

Adicionalmente, cuatro plantas tratan las aguas amargas de desecho del proceso, eliminando el ácido sulfhídrico y amoníaco, retornándola a las primarias para el desalado del crudo; el sulfhídrico y amoníaco se incorporan al tratamiento de afluentes.

En el margen oeste de la refinería, la empresa ATLATEC opera una planta de tratamiento de algunos efluentes que, según reporta el estudio citado (2002), con insuficientes resultados.

Tabla 49 Descarga contaminante. Abril 2002

PARÁMETROS CONTAMINANTES	KG
Grasas y aceites	4,408.98
Sólidos suspendidos	12,891.75
Nitrógeno total	15,238.05

Demanda biológica de oxígeno	27,330.51
Metales pesados	67.04
Cianuro total	30.94

Fuente: PEMEX, Subsistema de Información en Seguridad Industrial y Protección Ambiental, 2002. En Ob cit (2002)

Como conclusión de la tabla anterior, se señala que la calidad del agua de las descargas de la refinería Miguel Hidalgo cumplen satisfactoriamente con los parámetros establecidos en la NOM-001-ECOL-1996, al no contaminar el agua del cuerpo receptor Río Tula.

Respecto a la conductividad que debe contener el agua para garantizar la calidad para riego de las zonas agrícolas, en los sitios de descarga de la refinería el agua sobrepasa los límites que establece la FAO, así como, de contenidos de nitratos establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, según se aprecia en las tablas Tabla 34. Lectura de Nitratos en los Sitios de Monitoreo 2008 y Tabla 35. Lectura de Sólidos Disueltos Totales en los Sitios de Monitoreo 2008; esta situación se suma al estudio realizado por el IPN (Carlos Alexander, 2002), que reporta altos contenidos de sodio en el suelo, ver Degradación química del suelo.

2.4.3 Residuos sólidos

El desarrollo industrial y el crecimiento poblacional del Sistema Ambiental Regional (SAR); que abarca los municipios de Apaxco, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tlahuelilpan, Tepejí del Río de Ocampo, Tlaxcoapan, Tula de Allende y Tetepango, ha traído consigo la generación de residuos sólidos e industriales; a continuación serán analizados para la planificación de sistemas eficientes en cuanto al manejo, disposición y tratamiento de los mismos:

● Residuos industriales

En el SAR se identificaron 62 industrias⁵⁵ de diversos giros, donde los principales residuos generados en el área se encuentran dentro de las categorías: tóxico y corrosivo, según el código de clasificación vigente CRETIB⁵⁶ para residuos peligrosos.

Tabla 50⁵⁷. Residuos CRETIB en la zona del SAR

CRETIB	Tipos de residuos peligrosos
(T)	Lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas
(T-C)	Soluciones gastadas y residuos provenientes del zincado
(T-C)	Soluciones gastadas y sedimentos de los baños de cianuros en las operaciones de galvanoplastia de Zinc.
(T-C)	Soluciones gastadas de cianuro de los tanques de limpieza con sales en las operaciones de tratamiento en caliente de metales del zincado
(T)	Lodos del tratamiento de aguas residuales provenientes del lavado de metales para remover las soluciones concentradas del zincado.
(T-C)	Soluciones gastadas y residuos provenientes del cromado
(T-C)	Soluciones gastadas y sedimentos de los baños de cianuro en las operaciones de galvanoplastia de Cr

⁵⁵ Centro Mario Molina

⁵⁶ NOM-052-SEMARNAT-1993

⁵⁷ Cabrera Cruz, Elias et al, 2004

CRETIB	Tipos de residuos peligrosos
(T)	Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales en operaciones de cromado (metal)
(T)	Escorias provenientes del horno de fundición de Cu
(T)	Residuos del proceso de extrusión de tubería de Cu
(T)	Escorias provenientes del horno de fundición de acero y hierro gris
(T)	Lodos y polvos del equipo de control de emisiones de hornos eléctricos en la fundición de acero y hierro gris
(T-1)	Residuos de aceite gastado en las operaciones de fundición de acero y hierro gris
(T)	Lodos y polvos del equipo de control de emisiones de hornos eléctricos en la fundición de acero y hierro gris
(T)	Aceites gastados de corte y enfriamiento en las operaciones de talleres de maquinado en la industria metalmeccánica
(T)	Lodos provenientes de la regeneración de aceites gastados en la industria metalmeccánica
(T-C)	Lodos de la solución de cal del lavador de gases en la fundición y refinado de Al
(T-C)	Escorias del horno de fundición de chatarra de Al
(T)	Lodos aceitosos provenientes de la refinación del petróleo
(T)	Catalizadores recuperados o gastados en la refinación del petróleo
(T)	Otros residuos en la refinación del petróleo
(T)	Agentes mordientes gastados, residuales en la industria del algodón.
(T)	Lodos del tratamiento de aguas residuales en la industria del algodón
(T)	Agentes mordientes gastados, residuales en la industria de la lana.
(T-C)	Residuos de detergentes, jabones y agentes dispersantes de la industria lanera
(T-C)	Residuos provenientes del blanqueado de la industria lanera
(T)	Tambos y contenedores con residuos de tintes y colorantes en la industria lanera
(T)	Residuos de adhesivos y polimeros de la industria lanera
(T)	Residuos de agentes enlazantes y de carbonización de la industria lanera
(T)	Lodos del sistema de tratamiento de agua residual de la industria lanera
(T)	Lodos de aguas residuales conteniendo Cr, Pb y fenoles en la industria de la curtiduría
(T-C)	Residuos de la curtiduría

Los principales residuos peligrosos que genera la refinería Miguel Hidalgo son: catalizadores recuperados o gastados, lodos aceitosos y otros residuos de la industria de la refinación⁵⁸; la refinería aporta 4,457 toneladas anuales de estos residuos peligrosos; los datos que reporta el Sistema de Seguridad y Protección al Ambiente de PEMEX indican que la Refinería generó los siguientes residuos industriales en el año 2008:

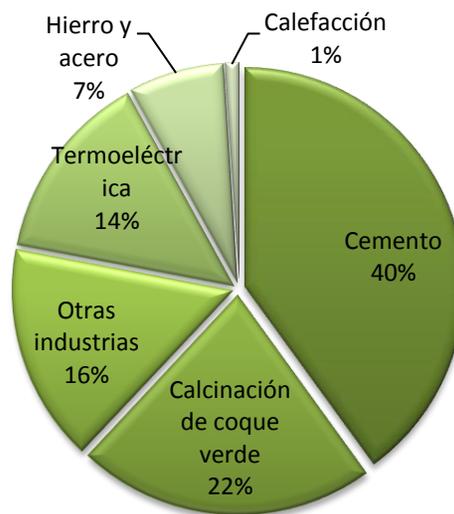
- 1,692 toneladas de alcanis; fueron tratados por una empresa externa a la paraestatal.

⁵⁸ SEMARNAT, 2007

- 2,139 toneladas de catalizadores agotados; solamente fueron tratados por una empresa externa 145 toneladas, equivalentes al 6.8%; 1,994 toneladas restantes permanecieron sin información.
- 7,432 toneladas de lodos aceitosos; el 86.5% fueron dispuestos por una empresa externa a la paraestatal, equivalentes a 6,432 toneladas; queda sin información las 1000 toneladas restantes de estos lodos.

Entre los residuos que se generan en la refinación del petróleo, se encuentra el coque del petróleo, este residuo puede ser aprovechado de diversas formas según su calidad; se puede utilizar para la fabricación de electrodos para la producción de aluminio, de igual forma, se utiliza en la fabricación de electrodos de grafito, también es consumido para ajustar el contenido en carbono del acero y para la fabricación de ánodos para la producción de aluminio.

Gráfica 17. Mercado consumidor de coque de petróleo⁵⁹



En el gráfico anterior se muestran los porcentajes de las industrias consumidoras de coque de petróleo

Se observa que el mayor consumidor de este residuo es la industria cementera; la calcinación de coque verde para la generación de combustibles ocupa el segundo lugar; el giro de la industria termoeléctrica también es un mercado importante, que demanda el 14% del coque generado para la producción de energía eléctrica.

En el municipio de Tepeji del Río, al oeste de la carretera federal México Querétaro y dentro del parque industrial Tepeji del Río, en un predio de aproximadamente 1.7 hectáreas, se localizó una planta procesadora de residuos industriales denominada "Sistemas Integrales en el Manejo de Residuos Industriales" (SIMARI); en el mismo parque industrial, a 750 metros hacia el noroeste, se localiza un segundo predio cercano a 2.4 hectáreas, al parecer pertenece a la misma empresa; con una instalación de bajo nivel

⁵⁹ IEA-COAL, 2004

que, por sus características se presume puede contener residuos industriales; no obstante, este dato no ha sido posible confirmarlo.

Figura 43. Empresa SIMARI



● Residuos municipales

- Ubicación de los vertederos municipales

Para el año 2008, la Secretaría de Desarrollo Social, tenía registrados en el estado de Hidalgo 177 sitios controlados para la disposición final de residuos sólidos urbanos, con lo que, con respecto al año 2007 hubo un incremento de 19 sitios controlados.⁶⁰

De igual forma, el estado de Hidalgo hasta el año 2008 contaba con 458 sitios no controlados con reciclaje en sus instalaciones para el manejo de los residuos.

En el Sistema Ambiental Regional, la disposición final de los residuos sólidos se realiza a cielo abierto: cada uno de los municipios cuenta con un sitio para ello, según informes del Anuario Estadístico 2005 del INEGI; solo Chapantongo, Alfajayucan y Tlaxcoapan no tienen un sitio para este uso. La superficie total de los vertederos se estima en 30 ha.

En el área del SAR, el Gobierno del Estado adquirió un terreno en el que tiene programada la construcción de un nuevo relleno sanitario, que se ubicará al norte de la empresa Clarimex, al oeste del proyecto de la Nueva Refinería Bicentenario y al este de la

⁶⁰ SEDESOL. Dirección general de equipamiento e infraestructura en zonas urbano-marginadas. Abril, 2009

Refinería Miguel Hidalgo; dara servicio a 4 municipios: Atotonilco de Tula, Tlaxcoapan, Tula de Allende y Atitalaquia.

Figura 44. Proyecto de relleno sanitario Regional



Cada municipio del Sistema Ambiental Regional cuenta con su respectivo vertedero. El vertedero de Tula se encuentra ubicado a 6 km aproximados del predio de la nueva refinería; fue construido en el año 1997 y recibe 80% de residuos municipales y 20% de residuos industriales no peligrosos; los residuos proceden del municipio de Tula de Allende; el vertedero cuenta con captadores de gases, mismos que son liberados a la atmósfera, sin ser aprovechados.

El único tratamiento que reciben los residuos del vertedero es con cal; sin embargo, el procedimiento no es realizado por personal capacitado, por lo que se considera insuficiente dicho tratamiento.

Según comentarios del personal responsable de la Comisión Estatal de Ecología, el vertedero de Tula está llegando al final de su vida útil sin que exista un terreno apto para la sustitución del mismo; sin embargo, con la construcción del nuevo relleno sanitario regional en el municipio de Atitalaquia, la disposición y manejo de los residuos de Tula de Allende se prevé serán cubiertos.

Figura 45. Vertedero El Llano



Un segundo vertedero localizado en Tlaxcoapan, a 2.15 km del predio de la nueva refinería, colinda al suroeste con la autopista Arco Norte; este vertedero recibe los

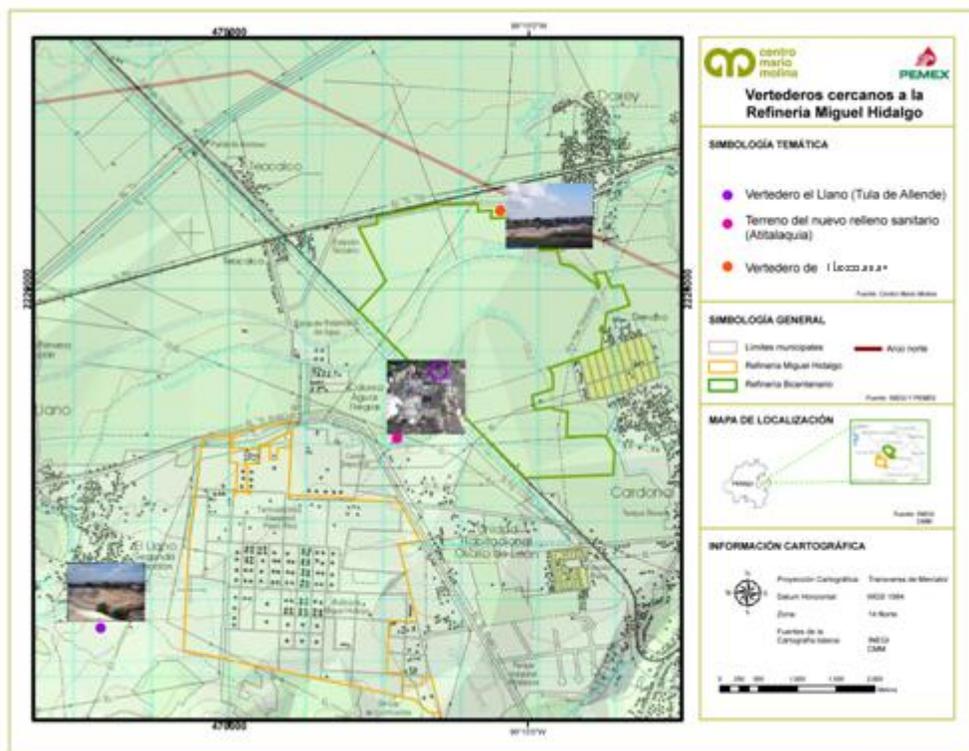
residuos municipales de Tlaxcoapan y cuenta con una superficie aproximada de 22,430 m².

Figura 46. Vertedero de Tlaxcoapan



A continuación se muestran los vertederos ubicados dentro de un radio de 6 km del predio de la nueva refinería:

Figura 47. Vertederos y nuevo relleno sanitario cercanos a la nueva refinería.



- Composición porcentual de los residuos sólidos

La composición de los residuos sólidos municipales está vinculada a los hábitos y costumbres de la población, a sus costumbres alimenticias, al nivel de consumo y al poder adquisitivo de la población.

En la siguiente tabla se muestra la caracterización porcentual de los residuos sólidos municipales de la zona centro de México dentro de la cual se encuentra el estado de Hidalgo y en consecuencia los municipios de interés para el análisis.

Tabla 51. Caracterización porcentual de los residuos sólidos municipales ⁶¹

Subproductos	Composición porcentual de los residuos sólidos municipales (%)
Residuos de jardín	27.33
Residuos alimenticios	24.03
Papel	11.15
Otros	9.60
Papel desechable	7.41
Vidrio transparente	4.15
Residuos finos	3.15
Cartón	3.00
Plástico película	2.15
Vidrio de color	1.86
Lata	1.36
Trapo	1.29
Plástico rígido	1.27
Hueso	0.94
Material ferroso	0.86
Material no ferroso	0.45
Total	100

- Cuantificación de los residuos sólidos por municipio

La estimación de los residuos sólidos generados por los municipios en la región de estudio se realizó mediante la evaluación e interacción de los siguientes dos factores:

El primer factor es la estimación de la población existente para el año 2009; ésta se calculó con los datos poblacionales de los censos de INEGI del año 1995 y 2005 de los municipios de interés; se evaluó partiendo del supuesto que la velocidad de crecimiento de cierta población ($\frac{dp}{dt}$) será proporcional (k) al tamaño de la población.

Por lo tanto, al derivar este supuesto se tiene que:

$$P(t) = P_0 e^{kt}$$

$$P(t) = \text{Población al año 2005}$$

$$P_0 = \text{Población al año 1995}$$

$$k = \text{Constante de proporcionalidad}$$

$$t = \text{tiempo}$$

61 Sedesol, 1994

Al despejar k obtenemos la constante de proporcionalidad, que estima la población del año en curso; la fórmula final utilizada para determinar el crecimiento poblacional se muestra a continuación:

$$P(2009) = P_{1995} e^{kt}$$

A continuación se presenta la estimación de población para los municipios de interés, para con ello obtener un estimado de la generación de residuos sólidos por municipio.

Tabla 52. Población al año 2009 para estimar la generación de residuos.

Municipio	1995 P(0)	2005 P(t)	k	2009 P(14)
Apaxco	21134	25738	0.0197	27849
Atitalaquia	19794	24749	0.0223	27062
Atotonilco de Tula	22607	26500	0.0159	28239
Tlahuelilpan	13400	15412	0.0140	16299
Tepejé del Río de Ocampo	61950	69755	0.0119	73146
Tlaxcoapan	21159	24734	0.0156	26328
Tula de Allende	82333	93296	0.0125	98080
Tetepango	8805	9697	0.0096	10079

Fuente: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) y Centro Mario Molina

El segundo factor que se tomó en cuenta fue la generación de residuos municipales per cápita; sin embargo, se encontraron dos valores distintos para el mismo factor, que se muestran a continuación:

El primer valor, para la generación de residuos municipales per cápita, fue de 0.82 kg/hab*d⁶²; corresponde a la clase semiurbana. El segundo valor corresponde a la zona centro del país; tiene un valor de 0.94 kg/hab*d⁶³.

Con estos valores, se calculó la generación de residuos sólidos por municipio por día, obteniendo los siguientes resultados:

Para el factor 1 de 0.82 kg/hab*d y factor 2 de 0.94 kg/hab*d se tiene que:

Tabla 53. Generación de residuos sólidos por municipio, 2009, factor 1.

Municipio	Generación municipal (t/municipio*d)
Tula de Allende	80.43
Tepejé del Río de Ocampo	59.98
Atotonilco de Tula	23.16
Apaxco	22.84
Atitalaquia	22.19
Tlaxcoapan	21.59
Tlahuelilpan	13.37
Tetepango	8.26

⁶² Organización Panamericana de la Salud - Organización Mundial de la Salud

⁶³ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Tabla 54. Generación de residuos sólidos por municipio, 2009, factor 2.

Municipio	Generación municipal (t/municipio*d)
Tula de Allende	90.23
Tepejí del Río de Ocampo	67.29
Atotonilco de Tula	25.98
Apaxco	25.62
Atitalaquia	24.90
Tlaxcoapan	24.22
Tlahuelilpan	15.00
Tetepango	9.27

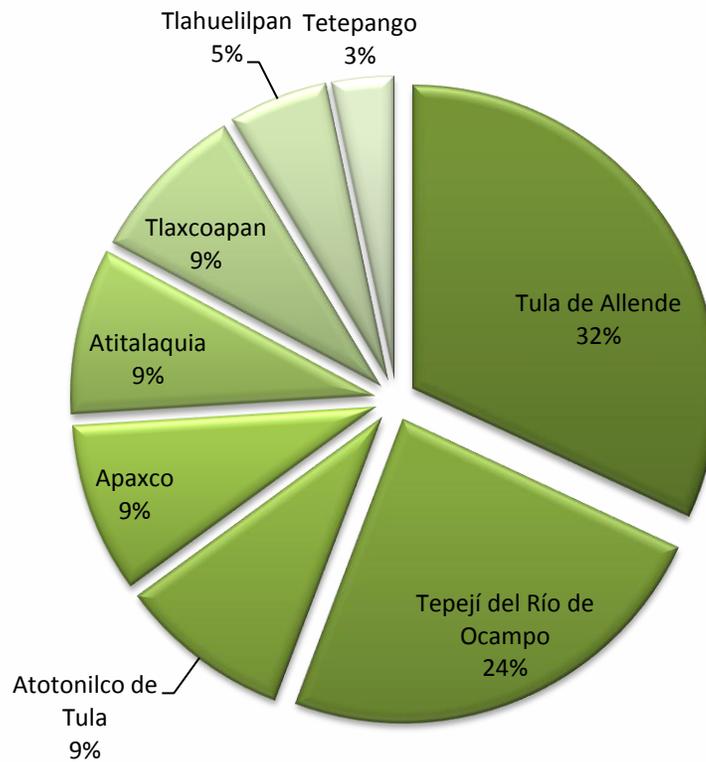
Con los datos anteriores se obtuvo la generación promedio por municipio que se muestra a continuación:

Tabla 55. Generación promedio de residuos sólidos por municipio, 2009

Municipio	Generación promedio municipal (t/municipio*d)
Tula de Allende	86.31
Tepejí del Río de Ocampo	64.37
Atotonilco de Tula	24.85
Apaxco	24.51
Atitalaquia	23.81
Tlaxcoapan	23.17
Tlahuelilpan	14.34
Tetepango	8.87

Como se observa en los datos anteriores, el municipio de Tula de Allende es el que más toneladas de residuos aporta; le sigue el municipio de Tepeji del Río y en tercer lugar, el municipio de Atotonilco de Tula; estos tres municipios son los principales generadores de residuos en el área del SAR, que en conjunto generan el 70% del total de los residuos en el área.

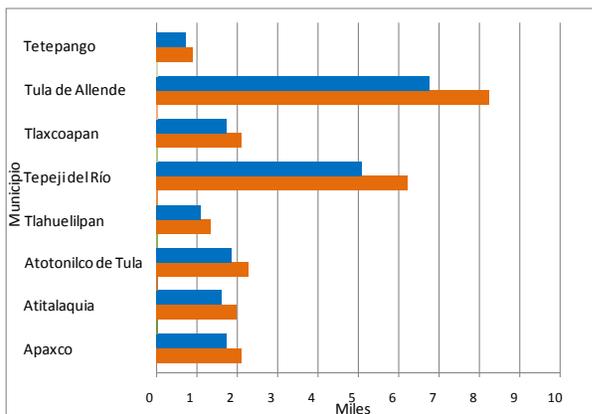
Gráfica 18. Generación porcentual de residuos sólidos por municipio, 2009



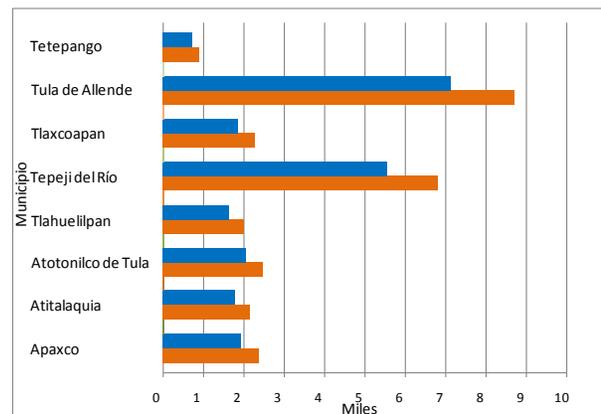
- Generación de residuos sólidos en el periodo 1995-2010

En las gráficas siguientes, se observa que el aumento en la generación de residuos sólidos guarda una relación con el tamaño de la población; a menor población, menor cantidad relativa de residuos; esto se puede deber a que en estos municipios existe un mayor arraigo al consumo de alimentos menos procesados y baja adquisición de bienes.

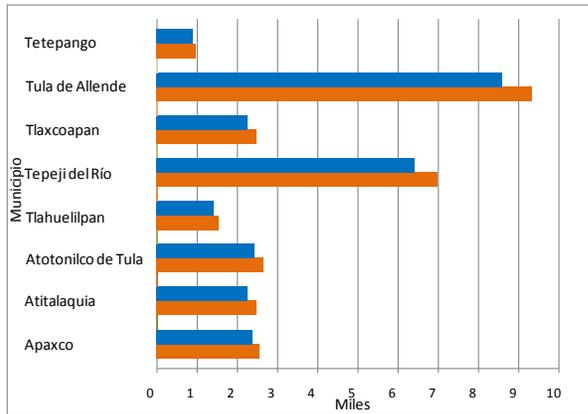
Gráfica 19. Año 1995



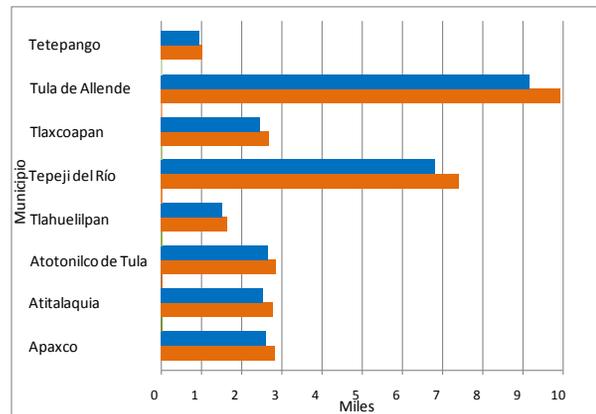
Gráfica 20. Año 2000



Gráfica 21. Año 2005



Gráfica 22. Año 2010



■ Generación de residuos (ton/d)

■ Población

2.4.4 Suelo

● Usos del suelo

- Agricultura

Tula es considerada una de las regiones más contaminadas del mundo; no obstante, cuenta con las tierras agrícolas más productivas del estado de Hidalgo; su sistema de riego profundo de más de 600 kilómetros de canales principales atiende a 85 mil hectáreas de cultivo, de las 583 mil 711 hectáreas productivas del estado.

Mientras una hectárea de temporal produce anualmente una tonelada o menos de maíz, una de riego produce hasta 15 toneladas por año; por esto es que el 65% de la producción agrícola se genera en los distritos de riego 03, 100 y 112.

Desde el siglo XVII el agua proviene de la ciudad de México; primero, de origen pluvial para evitar inundaciones en la capital del país; en la década de los 70, se enviaron las aguas residuales, lo que convirtió la presa Endhó en la principal receptora de agua residual.

De origen la tierra era infértil y árida en las regiones de Tula y el Valle del Mezquital; se volvieron productivas al introducir la infraestructura hidráulica para riego; así se le dio utilidad a las aguas negras provenientes de la zona metropolitana de la ciudad de México, no obstante las elevadas concentraciones de cromo, cadmio, manganeso y coliformes.

El uso agrícola del suelo representa una de las actividades más importantes y rentables que se realizan en la región de estudio, tanto por el valor económico de su producción como por el empleo de la mano de obra que ocasiona; esta actividad sólo es posible debido al aporte de las aguas residuales; se estima ingresa al año en promedio un volumen de 1,734 millones de metros cúbicos. El agua residual cruda, parcialmente tratada o mezclada con agua de lluvia, es altamente valorada por los agricultores, debido

a que mejora la calidad del suelo por su carga de nutrientes, lo que permite aumentar la productividad.

En ejemplo de lo anterior son los altos valores de productividad que reporta el Valle respecto a los estándares nacionales:

Tabla 56. Productividad agrícola en el Mezquital respecto a la media nacional

1990-1992 (Ton/Ha/año)		
Cultivo	Media Nacional	Media Mezquital
Maíz	3,70	5,10
Frijol	1,40	1,80
Avena	4,70	3,70
Cebada	10,80	22,00
Lucerne	66,30	95,50

Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), México 1994 (valores nacionales). CONAGUA, Distritos de riego, Mixquiahuala, Hidalgo, México 1995 (datos del Valle del Mezquital).

Según reporta la CONAGUA⁶⁴, en el Valle del Mezquital se encuentra el Distrito de Riego No. 003, Tula, integrado por 14 municipios, con una superficie dominada de 52 270 has, y una superficie total regable de 34 970 has en el año 2002, que representa al 14.39 % de la superficie total calculada en 2,429 Km².

Tabla 57. Municipios comprendidos en el Distrito de Riego 03

Municipio	Superficie (Ha)
Atitalaquia	2 298.31
Atotonilco deTula	258.56
El Arenal	44.10
Chilcuautla	61.80
Ixmiquilpan	315.59
Mixquiahuala	8 032.17
Progreso	2 218.40
Tepatepec	4 997.28
Tepetlán	1 013.50
Tetepango	666.47
Tezontepec	6 238.36
Tlahuelilpan	1 090.51
Tiaxcoapan	2 599.66
Tula	5 135.47
Total	34,970.18

⁶⁴ CONAGUA. Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo. 30 de abril de 2002

Un segundo estudio en el Valle del Mezquital (2002)⁶⁵ para el periodo de 1993-94 reporta los siguientes datos obtenidos de una publicación de la CONAGUA en 1995, en donde la superficie cubierta está referida como la superficie que es regada con infraestructura de riego y el área de cultivo, incluye algunas parcelas con más de un cultivo por año.

Tabla 58. Superficies cubiertas, cultivadas y número de usuarios en el DR-03

Sistema de riego	Área cubierta (Ha)	Área de cultivo (Ha)	No. usuarios
Distrito 03 Tula	45,214	55,258	27,894
Distrito 100 Alfajayucan	32,118	22,380	17,018
Unidades privadas	5,375	5,450	96
total	82,707	83,088	961,895

- Industria

La actividad industrial constituye la actividad más importante en la región de estudio; representada por la refinería Miguel Hidalgo, una de las más importantes del país, por su capacidad instalada y la porción del mercado que controla; procesa el 24% de crudo total que se refina en México, con una capacidad de refinación de 325,000 barriles por día; otras industrias importantes son, la Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos y las Fábricas Cementeras de Cruz Azul, Tolteca-Cemex y Holcim-Apasco.

Los parques industriales ubicados dentro del SAR albergan varias industrias no tan relevantes como las anteriormente mencionadas; no obstante, de gran importancia para el desarrollo urbano de la zona. Los tres parques industriales con influencia en el SAR son: el Parque Industrial de Atitalaquia, el Parque Industrial de Tepeji del Río y el Parque Industrial de Tula de allende.

Parque Industrial Tula.- Localizado en la Carretera Jorobas-Tula Km. 26, en el Municipio de Atitalaquia; dispone de una superficie total de 97 Ha, 44 de ellas ya urbanizadas; con lote promedio de 1500 m² y un total de 118 lotes.

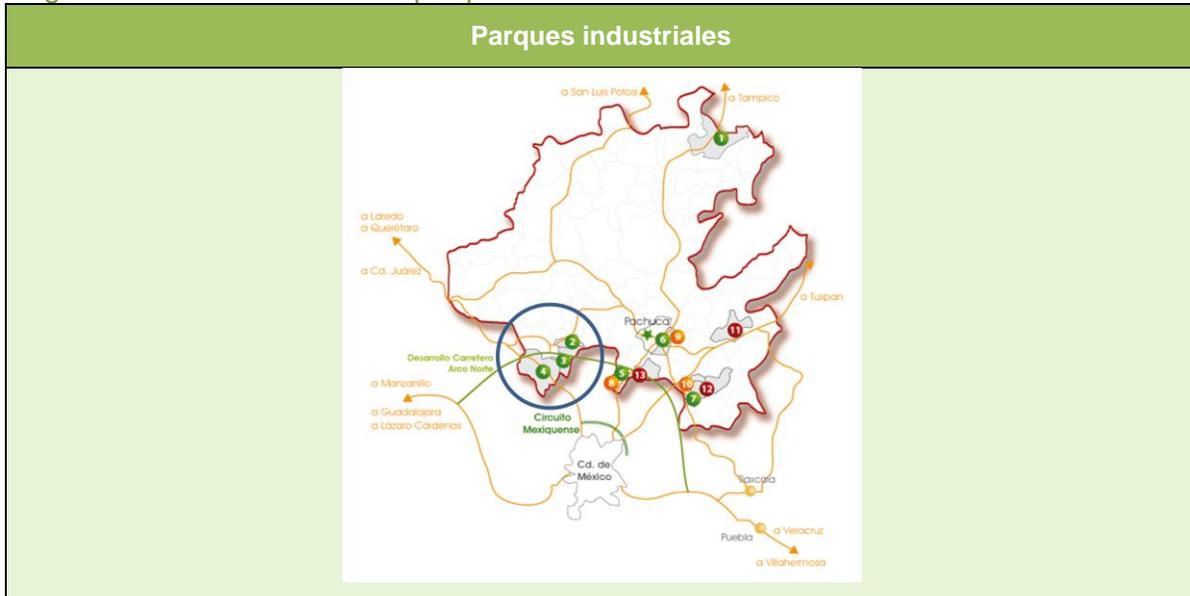
Parque industrial Atitalaquia.- Ubicado a ambos costados de la carretera Tula - Jorobas, en el Km 24; una superficie total de 229 Ha, 150 de ellas ya urbanizadas; una reserva de 50 Ha y un número total de 60 lotes, 24 de ellos ocupados, 22 en operación y 2 en construcción.

Parque industrial Tepeji.- Localizado a un costado de la Autopista México-Querétaro, en el Km 61, dentro del Municipio de Tepeji del Río; desarrollado por Promotora Hidalgo, S.A. de C.V.; dispone de una superficie total de 582.26 Ha, 158.71 están urbanizadas, con un total de 221 lotes industriales, 52 de los cuales disponibles.

Este desarrollo industrial, ha propiciado un crecimiento acelerado de la población en torno a estos centros industriales en los distintos municipios analizado en el SAR.

⁶⁵ IDRC – OPS/HEP/CEPIS. Estudio Complementario Del Caso Mezquital, Estado De Hidalgo, México. 2002

Figura 48. Localización de los parques industriales



Según el estudio realizado por el Centro Mario Molina, las principales industrias son:

Tabla 59 Relación de industrias dentro del S.A.R.

INDUSTRIA	UBICACIÓN	GIRO	LATITUD	LONGITUD
Kaltex	Ant. Carretera México Querétaro Km 11	acabado de fibras, hilos, y textiles	19.93062	-99.3394
Pilgrims Pride	Antigua Carretera México Querétaro Km 72.5	matanza de ganado y aves		
Clarimex Carbon	Atitalaquia	carbón activado	20.05798	-99.26886
Refinería Tula	Atitalaquia Carretera Tula Jorobas Km 26.5	refinación de petróleo	20.05219	-99.2653
Millco	Av. Héroes de Nakosari	alimenticio	20.09441	-99.22512
Canatex	Cantera De Villagrán	textil	19.845	-99.30513
Hidrocarburos Hidalgo	Carretera Jorobas-Tula	petroquímica	20.0177	-99.25191
Cerillera La Central S.A. De C.V.	Carretera Jorobas-Tula Km 24.5	producción de cerillos	20.02913	-99.25189
Calera Dayi	Carretera Progreso Ixmiquilpan, Xochitlan	producción de cal	20.32454	-99.20075

INDUSTRIA	UBICACIÓN	GIRO	LATITUD	LONGITUD
Plexnit	Melchor Ocampo, Tepeji		19.91039	-99.33504
Agromaquilas lam	Parque Industrial Atitalaquia	alimentos	20.03239	-99.2438
Barcel	Parque Industrial Atitalaquia	alimentos	20.03655	-99.25101
Cargill	Parque Industrial Atitalaquia	producción de aceites esenciales	20.03432	-99.2465
Exim Logistic	Parque Industrial Atitalaquia		20.035	-99.24388
Ezbeck	Parque Industrial Atitalaquia	química	20.035	-99.24175
Frialsa	Parque Industrial Atitalaquia	almacenaje productos congelados	20.03751	-99.25159
Griffith	Parque Industrial Atitalaquia	alimentos	20.03432	-99.24655
Grupo Industrial Pritsa	Parque Industrial Atitalaquia	construcción	20.03446	-99.24517
Home Depot	Parque Industrial Atitalaquia	estación de transferencia (almacén)	20.0324	-99.25097
Ica Fluor-Casaflex	Parque Industrial Atitalaquia	construcción	20.03454	-99.24629
Napko	Parque Industrial Atitalaquia	química	20.03404	-99.24408
Plasticos Espuados	Parque Industrial Atitalaquia	plásticos	20.03856	-99.25712
Prixa	Parque Industrial Atitalaquia		20.03429	-99.2465
Sem Materiales	Parque Industrial Atitalaquia		20.03324	-99.24184
Valba	Parque Industrial Atitalaquia	plásticos	20.03413	-99.24793
Aceros 4 Caminos	Parque Industrial Tepeji	acerera	19.8503	-99.2814
Alcusi	Parque Industrial Tepeji	fundición de materiales ferrosos y no ferrosos	19.845	-99.277
Arteche	Parque Industrial Tepeji	transformadores	19.92576	-99.33924
Cards Solution	Parque Industrial Tepeji		20.0209	-99.28879
Citsa	Parque Industrial Tepeji	seguridad automotriz	20.035	-99.24596
Costco	Parque Industrial Tepeji	estación de transferencia	19.845	-99.28155

INDUSTRIA	UBICACIÓN	GIRO	LATITUD	LONGITUD
		(almacén)		
Gamma Acesita	Parque Industrial Tepeji	tubería de acero	19.849	-99.27909
Gasera Simsa	Parque Industrial Tepeji	gas	19.8617	-99.28799
Ind Química Loser	Parque Industrial Tepeji	química	19.855	-99.28668
Maquintex Kimex	Parque Industrial Tepeji	renta de bienes raíces	19.848	-99.2777
Mecanor Tapsa	Parque Industrial Tepeji	automotriz	19.852	-99.28395
N Gas Expresss	Parque Industrial Tepeji	gas	19.847	-99.27982
Procter & Gamble	Parque Industrial Tepeji	química	19.849	-99.27948
Praxair	Parque Industrial Tepeji	gas	19.85754	-99.27968
Prod Parmal	Parque Industrial Tepeji	química	19.847	-99.27996
Schneider	Parque Industrial Tepeji	eléctrica	19.8548	-99.27955
Simari	Parque Industrial Tepeji	manejo de residuos industriales	19.84899	-99.28601
Sony Gasera	Parque Industrial Tepeji	gas	19.86053	-99.29424
Starplast	Parque Industrial Tepeji	elaboración película de polietileno	19.85023	-99.27753
Stergenics	Parque Industrial Tepeji	alimentos	19.8535	-99.28266
Terminal de distribución de gas licuado Tepeji	Parque Industrial Tepeji	petroquímica básica	19.86105	-99.29472
Textiles Hidalgo	Parque Industrial Tepeji	acabado de fibras, hilos, hilados y telas textiles	19.85226	-99.28359
PTAR Requena	Tepeji del Rio	tratamiento de aguas residuales	19.92272	-99.33905
Calera Moreno	Tula de Allende	producción de cal	20.29343	-99.18882
Cruz Azul	Tula de Allende	cementera	19.9765	-99.34217
PTAR CFE	Tula de Allende	tratamiento de aguas residuales	20.06832	-99.27699
PTAR Tula	Tula de Allende	tratamiento de aguas residuales	20.0598	-99.28797
Termo-Eléctrica	Tula de Allende	generación de energía eléctrica	20.06184	-99.2776
Cemex Tula	Tula de Allende	cementera	19.8305	-99.25095
Holcim Apasco	Vito	cementera	19.9785	-99.18236
Lafarge	Vito	cementera	19.992	-99.19726
Tolteca Vito	Vito	cementera	20.00059	-99.21489

El polígono del predio designado para la nueva refinería se localiza a 1.4 Km al nororiente de la refinería Miguel Hidalgo, en una zona de transición; comparte usos urbanos hacia el oriente, con localidades de los Municipios Tlaxcoapan y Atitalaquia; agrícola de riego hacia el norte y este, con el distrito de riego 03 Tula; industrial hacia el suroeste. Colinda con el parque industrial Tula, que une con este uso industrial a los predios de ambas refinерías. Este amplio polígono industrial se delimita por el FFCC a México y la carretera Tula - Jorobas, que se extiende hasta el parque industrial de Atitalaquia; presenta un continuo uso industrial hacia el extremo sur, unificando prácticamente a ambas refinерías, con el parque industrial Tula y con el parque industrial de Atitalaquia.

● Problemática asociada a los suelos

Una causa común que disminuye la cantidad de los suelos dañando con ello su capacidad productiva es la erosión. Por erosión se denomina al proceso de sustracción o desgaste de la roca del suelo intacto (roca madre), por acción de procesos geológicos exógenos como las corrientes superficiales de agua o hielo glaciario, el viento, los cambios de temperatura o la acción de los seres vivos. El material erosionado puede estar conformado por fragmentos de rocas o bien por suelos; entre más descubierto esté el suelo más quedará expuesto a este proceso.

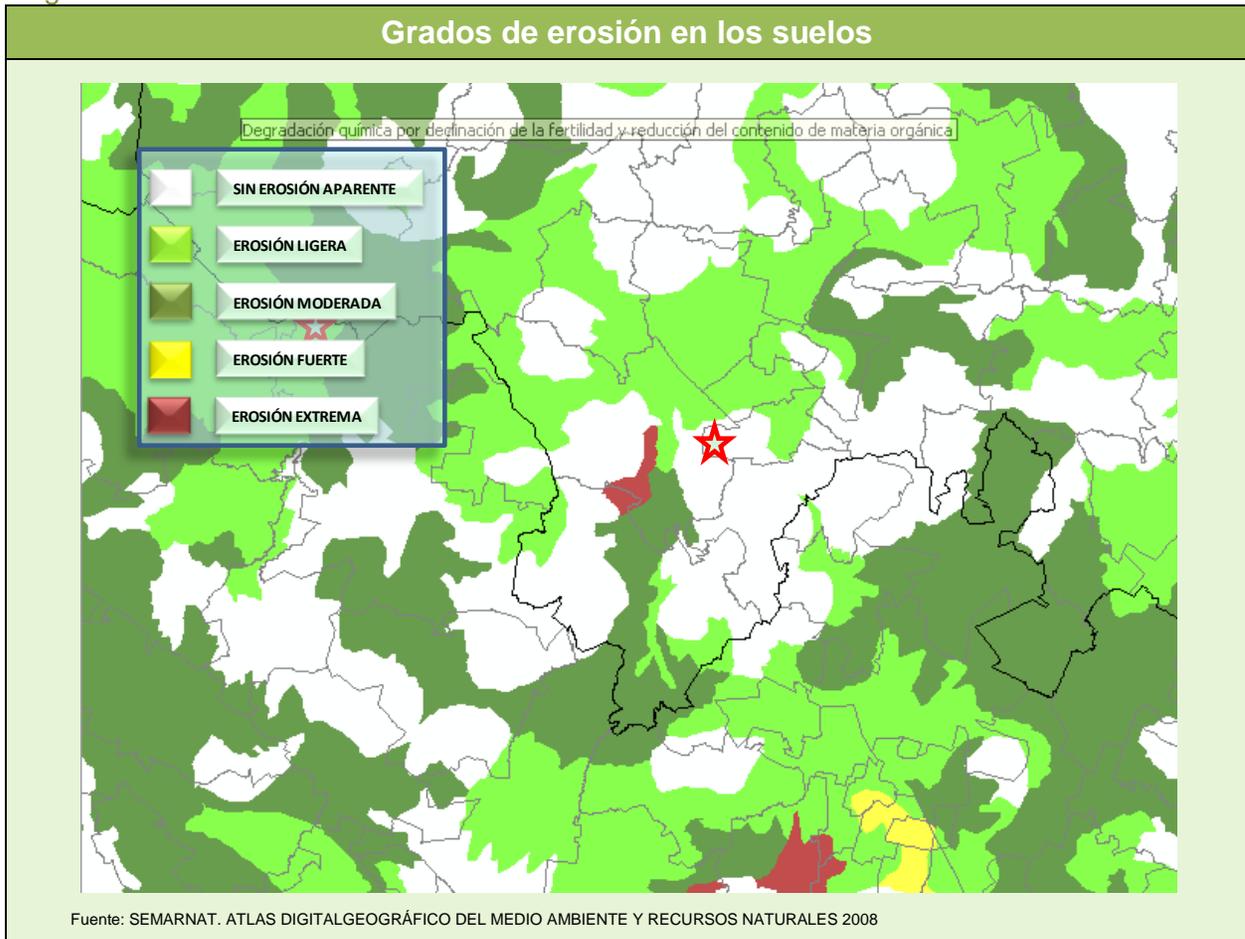
- Erosión laminar

Por erosión laminar se entiende al efecto que ocasiona la presión de la lluvia y el viento sobre el suelo, desnudo o cubierto, donde el flujo del agua lleva láminas de éste hacia la pendiente, que transporta una suspensión de partículas. Cuando la precipitación excede la infiltración a los mantos acuíferos, se produce escurrimiento con transporte de suelo. La turbulencia en el escurrimiento agrava la erosión. La erosión del suelo puede provocar la pérdida total del recurso e incluso la presencia de cárcavas. De información consultada del INEGI y SEMARNAT se encontró que en el área de estudio la situación que predomina es la siguiente:

- La parte media del predio, donde se localiza la refinería y la termoeléctrica y hacia el sur, suroriente y oriente, está identificada como zona sin erosión aparente del suelo.
- La zona localizada al norte del área estudiada, donde se realizan actividades agrícolas con riego, está considerada con una erosión ligera del suelo.
- La zona colindante al área de estudio, al poniente, se identifica con un grado ligero (norte) y moderado (sur) de erosión; coincide con la zona que colinda a la margen derecha del río Tula.
- Finalmente, en los márgenes de la presa Requena y del río Tula, el grado de erosión se torna extrema (ubicada al poniente fuera del polígono de estudio).

De la observación en el sitio se constató que los focos principales de emisión de partículas y polvos se ocasionan por la explotación de calizas a cielo abierto en los bancos de préstamo de material, en la parte sur del Sistema Ambiental Regional; ocupan una superficie de 58.90 Km² y que representan el 1.98% del total del área del SAR; de grado menor aunque también importante, terrenos agrícolas abandonados y desprovistos de vegetación están siendo utilizados como sitios de tiro del material residual de la construcción.

Figura 49. Erosión



Se desconocen los efectos de la mezcla de estas partículas con las emisiones de la industria; a manera de hipótesis se infiere que su efecto las precipite en una distancia menor de las fuentes de combustión, dentro de la misma cuenca, con los consecuentes daños a la salud de la población próxima.

- Degradación química del suelo

La degradación y pérdida de los suelos puede deberse a diversas causas, entre ellas a factores antrópicos: prácticas agrícolas o pecuarias, cambio en el uso del suelo, deforestación, urbanización, sobreexplotación de la vegetación y actividades industriales; estas dos últimas contribuyen en conjunto con menos del 2% de la superficie nacional afectada.

El suelo en el área de estudio se encuentra degradado como consecuencia de la contaminación ocasionada por la actividad industrial y la baja calidad del agua de riego de las actividades agrícolas, de acuerdo con información de la SEMARNAT.

Un estudio sobre contaminación del suelo agrícola en el Distrito de Riego 03⁶⁶ señala que se realizó la extracción secuencial de Boro (B), Sodio (Na), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Plomo (Pb) y el metaloide

⁶⁶ Carlos Alexander Lucho Constantino, Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del IPN y otros. Correlación de Metales Selectos y Variables Físico-Químicas en Suelos y Cultivos de la Zona I, en el Distrito de Riego 03, Estado de Hidalgo-México. 2002

Arsénico (As) de dos fracciones: fácilmente adsorbidos e intercambiables, unidos a materia orgánica y sulfuros; el estudio fue realizado en las zonas identificadas como: Yolotepec, Villagrán, Ixmiquilpan, Dios Padre, San Salvador, San José Doxey y San Antonio Zaragoza; se utilizó una modificación del método de Tessier; concluyó con lo siguiente:

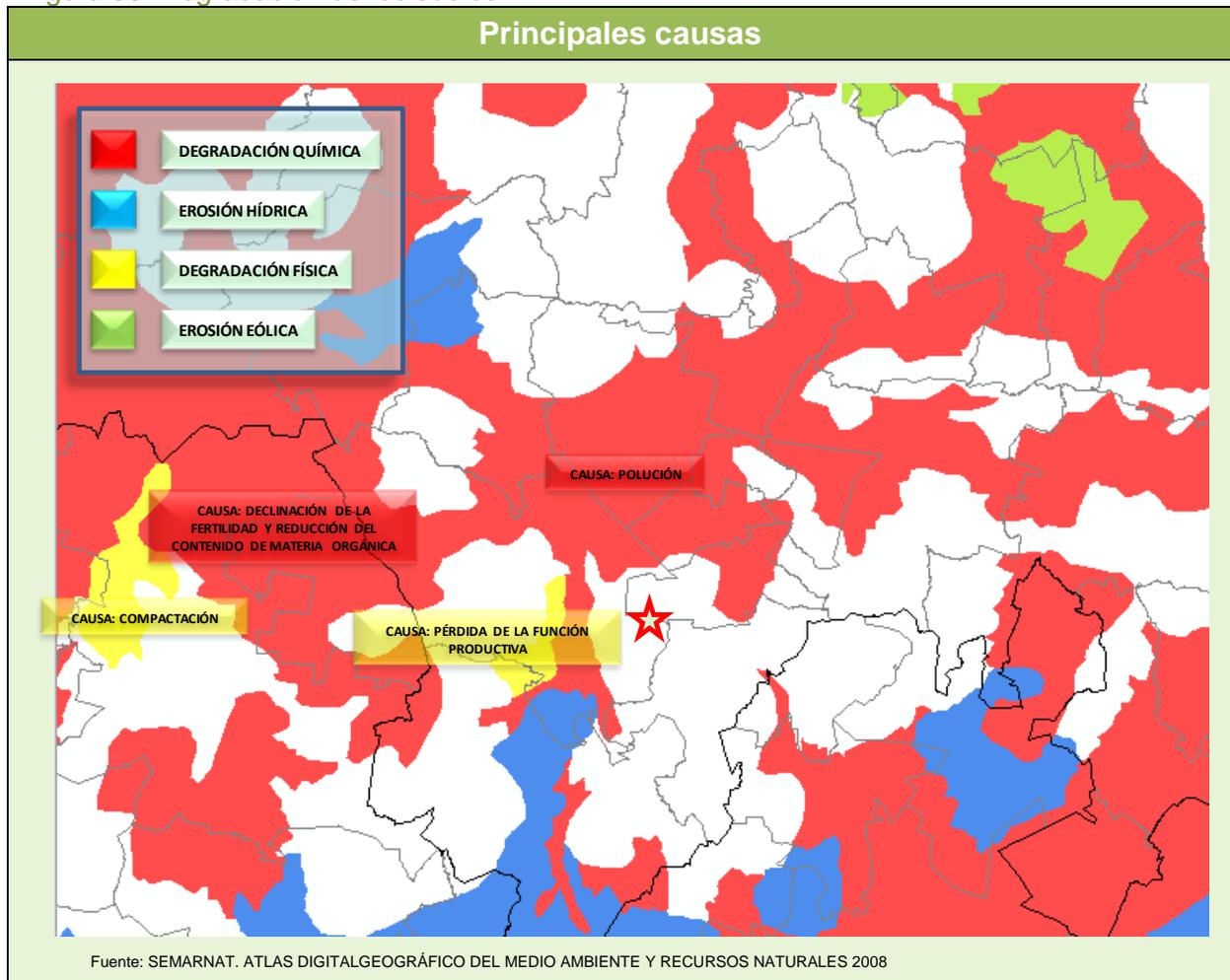
“1. El agua residual utilizada para irrigar suelos agrícolas en el DR03 en la denominada zona I, ha mejorado el contenido de CO y nutrientes; el S4 presenta salinidad alta.

2. La concentración de Cd, Cr y Pb en todos los suelos sobrepasa los límites máximos permisibles por lo menos de 3 países señalados en la propuesta de Kabata-Pendias, 1995, por lo que se pueden considerar estos suelos como fitotóxicos para la agricultura.

3. Los contenidos de As y Hg en los suelos en estudio no representan un problema o riesgo potencial.

4. Es conveniente llevar un seguimiento de las aportaciones de B al suelo; un exceso de dicho oligoelemento puede ser fitotóxico para las plantas.”

Figura 50. Degradación de los suelos



2.4.5 Vulnerabilidad

● Fenómenos químicos

El Programa Estatal de Protección Civil señala que los incendios y las explosiones se han convertido en los agentes perturbadores de origen químico de mayor incidencia en el estado; se ocasionan debido a las crecientes concentraciones humanas y a los procesos propios del desarrollo tecnológico aplicado a la industria, que conlleva al uso amplio y variado de energía y de sustancias y materiales volátiles e inflamables susceptibles de provocar incendios y explosiones.

Otra causa que contribuye al problema ocasionado por los incendios forestales, es debida a los fenómenos climatológicos; aumentan de forma considerable la temperatura y en combinación con las inadecuadas prácticas agrícolas llegan a afectar extensiones boscosas considerables en las zonas serranas del estado.

También, la insuficiente aplicación de programas de seguridad y el incumplimiento de la normatividad urbana, han ocasionado que las zonas urbanas se mezclen con las zonas industriales, convirtiendo a las zonas industriales en áreas de riesgo.

● Fenómenos socio-organizativos

El Programa de Protección Civil refiere tres principales causas que ocasionan conflictos sociales en el estado:

- a) Conflictos ocasionados por el transporte terrestre y aéreo.
- b) Interrupción en la prestación de los servicios públicos vitales.
- c) Comportamiento desordenado en las concentraciones de la población.

3. Descripción de los instrumentos normativos, de gestión y planeación vigentes

3.1 Ordenamiento ecológico del territorio

En el Estado de Hidalgo se han elaborado y se encuentran en la etapa de elaboración varios Programas de Ordenamiento Ecológico:

Tabla 60. Programas de Ordenamiento Ecológico en Hidalgo

Denominación	Municipios	Modalidad	Situación
POEs DECRETADOS EN EL ESTADO DE HIDALGO			
Ordenamiento ecológico Territorial del Estado de Hidalgo	Totalidad del Estado de Hidalgo	Estatad, escala 1:250,000	Decretado el 2 de abril de 2001
Ordenamiento ecológico Territorial de la Región Tula - Tepeji	Ajacuba, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tepeji del Río, Tepetitlán, Tetepango, Tezontepec de Aldama, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan, Tula de Allende	Regional, escala 1:50,000	Decretado el 10 de junio de 2002
Ordenamiento ecológico Territorial de la Región Valle de Pachuca- Tizayuca	12 municipios del sur del Estado	Regional, escala 1:50,000 (UAEH)	Decretado el 21 de junio de 2004
Ordenamiento ecológico Territorial del Municipio de Tepeji del Río	Tepeji del Río	Municipal, escala 1:20,000 (IPN)	Decretado el 28 de junio de 2004
Ordenamiento ecológico Territorial del Municipio de Huasca de Ocampo	Huasca de Ocampo	Municipal, escala 1:50,000	Decretado el 30 de octubre de 2000
POEs EN PROCESO EN EL ESTADO DE HIDALGO			
Ordenamiento ecológico Territorial de la Cuenca del Valle de México	Municipios incluidos en las cuencas del Valle de México y del Río Tula	Regional Federal, escala 1:250,000	En coordinación interinstitucional y acuerdos de participación con Estados
Ordenamiento ecológico Territorial de la Cuenca del Río Tuxpan	Agua Blanca, Huehuetla, Metepec, San Bartolo, Tutotepec, Tenango de Doria	Regional Federal, escala 1:250,000	Se integro comité el 17 de marzo del 2005 en la ciudad de Puebla
Ordenamiento ecológico Territorial del Río Necaxa-Laxaxalpan	Acacochitlan, Cuauatepec y Almoleya	Regional	En gestión y coordinación interinstitucional
Ordenamiento ecológico Territorial de Tulancingo	Cuauatepec, Santiago Tpec, Acacochitlan, Metepec, Agua Blanca, Tulancingo, Acatlan	Regional	En gestión y coordinación interinstitucional
Ordenamiento ecológico Territorial de la Presa de Zimapán	Zimapán	Local	Concluido técnicamente
Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región Parque Nacional Los Mármoles	Jacala de Ledezma, Nicolás Flores, Pacula y Zimapán	Regional	En elaboración

Tres Programas de Ordenamiento Ecológico ya decretados comprenden parcial o totalmente la Región de estudio: Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Hidalgo, Ordenamiento ecológico Territorial de la Región Tula - Tepeji y Ordenamiento ecológico Territorial del Municipio de Tepeji del Río.

Programa de Ordenamiento Ecológico del Estado de Hidalgo⁶⁷.- El Programa fue elaborado por la Comisión Estatal de Ecología del Gobierno del Estado de Hidalgo; colaboraron profesores e investigadores de la Facultad de Geografía de la Universidad de La Habana, Cuba y participaron diversas instituciones de Gobierno, tanto federales como estatales: federales: CONAGUA, SMN, INEGI, INIFAP y, estatales: SIC, SDR, SCT, DEE.

El POE reconoce un alto grado de dependencia de la región sur de Hidalgo con el área metropolitana: comerciales, migratorios y de empleos, entre otros; destaca a los municipios de Tepeji del Río de Ocampo, Tula de Allende, Atotonilco de Tula, Tizayuca, Pachuca, Tepeapulco y Tulancingo; los señala con una alta dinámica económica, de infraestructura productiva y de servicios, que tiene su inicio en los procesos de descentralización promovidos en la década de los ochenta; concentra sus beneficios en unas cuantas localidades y en ciertos sectores de la población; el interior de la Entidad, básicamente en las áreas rurales, el proceso económico depende de subsidios y vínculos externos. Señala que el desarrollo industrial se ha basado en una política de atracción de inversiones, sin un proceso que regule su distribución espacial y su impacto económico, social y ambiental.

Como consecuencia, el POE señala un incremento en la ocupación de mano de obra y un desequilibrio económico regional; una alta concentración de actividades económicas en algunas ciudades del Estado, que se desarrollan con mayor rapidez que el resto de las ciudades que integran el sistema de asentamientos; en ellas, se reporta una mayor oferta de empleos, mejores niveles de educación y acceso a la misma, disposición de una gran variedad de servicios, mejoramiento de la infraestructura vial y de transporte, coberturas más amplias en la comunicación y un aumento en los ingresos económicos de la población, con un aumento en los niveles de confort de la población urbana; las principales ciudades funcionan como centros de atracción para las corrientes migratorias.

El estudio desarrolla un índice de calidad ambiental por municipio, que considera un total de 21 indicadores agrupados en siete clases: recurso suelo, recurso agua, recurso biótico, población, desarrollo social y humano, desarrollo económico y desechos, teniendo el mayor valor el municipio de Pachuca (57.03) y el menor, el municipio de Huautla (29.04); los resultados para el área estudiada son los siguientes:

Tabla 61. Índice de calidad ambiental

Municipio	Posición	Valor del índice
Pachuca ^(a)	84	57.03
Tula de Allende	80	47.73
Tepeji del Río	79	46.78
Tlaxcoapan	76	45.69
Progreso	73	44.65
Atitalaquia	72	44.55
Tepetitlán	71	44.51
Atotonilco de Tula	70	44.23
Mixquiahuala	67	43.88
Tlahuelilpan	63	43.58
Tetepango	57	42.26

⁶⁷ Programa Estatal de Ordenamiento Ecológico. Gobierno del Estado de Hidalgo. 2 de abril de 2001

Tezontepec	56	42.19
Ixmiquilpan	47	39.90
El Arenal	42	39.33
Chilcuautla	34	37.98
Huautla ^(a)	1	29.04

(a) Fuera del área estudiada, se incluyen sólo como referencia.

Los resultados del Índice de Calidad Ambiental indican que el área de la región de estudio contiene una mejor calidad ambiental que el promedio del Estado; por ejemplo, los reportados para los municipios de Tula (47.73), Tepeji del Río (46.78) y Tlaxcoapan (45.69). Los resultados distan mucho de reflejar la realidad ambiental de la entidad: su diseño consideró solo los aspectos socioeconómicos y bióticos; omitió aspectos como la calidad ambiental (aire, agua y suelo); en general, el POE reporta para la zona un índice de calidad ambiental alto, entre 40 y 50.

El modelo de ordenamiento ecológico de este Programa comprende una superficie total de 20,905.12 km², con 84 municipios, compuesto de tres elementos:

- a) Propuesta de usos del suelo o zonificación geoecológica,
- b) Uso del suelo apropiado al potencial y a la demanda y
- c) Políticas o sistema de medidas para implantar actividades socioeconómicas y proteger al medio ambiente.

El área estudiada está comprendida en las UGAs XXVIII y XXIX, con vocación de uso del suelo "Ag" agrícola y una Política de Restauración, asignada en la parte oeste del río Tula y de Aprovechamiento al este del mismo.

Tabla 62. Modelo de Ordenamiento Ecológico

UGA	Política ambiental	Uso predominante	Uso compatible	Uso incompatible
XXVIII	Restauración	Agrícola	Pecuario Turismo alternativo Ecológico Flora y fauna	Industrial Infraestructura Urbano Minero
XXIX	Aprovechamiento	Agrícola	Pecuario Turismo alternativo Ecológico	Industrial Infraestructura Urbano Minero

La UGA XXVIII tiene como uso predominante el agrícola, con niveles críticos de deterioro; se deberán aplicar medidas de restauración y mantener su uso actual. Abarca una parte de los municipios de Tepeji del Río de Ocampo, Tula, Chapantongo, Nopala y Tepetitlán; entre sus principales problemas señala los siguientes: limitada diversificación productiva, sequía, marginación, zona de expulsión poblacional, sobrepastoreo y erosión.

La UGA XXIX atiende gran parte de la zona conocida como Valle del Mezquital, con parte de los municipios de Atotonilco de Tula, Tula, Atitalaquia, Tlaxcoapan, Ajacuba, Tetepango, Tlahuelilpan, Tezontepec, Mixquiahuala, Francisco I. Madero, San Salvador, Actopan, El Arenal, Chilcuautla, Progreso, Santiago de Anaya, Ixmiquilpan, Chapantongo, Alfajayucan, Tasquillo y Cardonal; entre sus principales problemas destaca: crecimiento

industrial alto y dinámico, zona de atracción poblacional, descargas industriales, contaminación de corrientes y cuerpos de agua, contaminación atmosférica, competencia por uso de agua, cambios de uso de suelo, alta generación de residuos industriales y contaminación del suelo.

Programa de Ordenamiento Ecológico de la Región Tula Tepeji.- Comprende 10 municipios de la Región Sureste del Estado de Hidalgo, con superficie cubierta total de 1,649.25 Hectáreas; elaborado por la Comisión Estatal de Ecología del Gobierno del Estado de Hidalgo, con la colaboración del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Esta región, señala el Programa, se caracteriza por concentrar una mayor infraestructura industrial y comercial a nivel estatal; los efectos del deterioro ambiental se manifiestan con gran intensidad, debido al acelerado cambio en el uso del suelo, la ampliación de la frontera agrícola, la contaminación del suelo, del agua y del aire; generados por procesos industriales, actividades agrícolas con aplicación de riego con aguas negras, inadecuado manejo de desechos sólidos municipales, así como, por contradicciones particulares concretas de tipo socioeconómico en el contexto de desarrollo regional, entre otros.

Las UGA (UGA_ AR) “Unidad de Gestión Ambiental Agricultura de Riego” se concentran preferentemente en la parte centro de la región Tula-Tepeji; todas dependen de la aportación de aguas negras que provienen de las descargas urbano - industriales de los municipios occidentales de la región, como de las descargas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Su potencial productivo se basa en la aportación de aguas negras cargadas de materia orgánica que incrementa fuertemente la productividad agrícola. Las aguas negras no solo aportan materia orgánica útil para la agricultura, sino también contienen metales pesados, agroquímicos, hidrocarburos, detergentes y otras sustancias que en un plazo corto podrán sodificar y salinizar el suelo, ahora productivo; la política que aplica es de aprovechamiento con conservación.

La UGA (UGA_ AT) “Unidad de Gestión Ambiental Agricultura de Temporal” se localiza en el área de estudio a ambos lados, este y oeste del distrito de riego; se caracteriza por fuertes limitaciones de recursos hídricos que impiden una sustentabilidad a largo plazo; se requiere de insumos costosos para incrementar su productividad, no solo en términos de agua, sino también en términos de fertilizantes y de tecnologías apropiadas; la política que aplica es de aprovechamiento con conservación.

La UGA (UGA_ ALEN) “Unidades de Gestión Ambiental Agua Lenticas” se aplica a los embalses artificiales receptores de aguas negras Requena y Endho; en sus márgenes se realizan actividades antrópicas y productivas diversas y variadas, que operan como unidades de producción dentro del desarrollo de la región: actividades agrícolas, urbanas, recreativas, industriales; también se realizan obras de ampliación de la infraestructura de riego para dotar a zonas agrícolas de la región centro-norte de Tula y Mixquiahuala; estas unidades tienen un enorme valor agregado desde la perspectiva de un desarrollo sustentable; la política que aplica es de aprovechamiento con conservación.

La UGA (UGA_ U) “Unidades de Gestión Ambiental Urbana” se aplica al área urbana e industrial comprendida en el corredor Tula - Tepeji; la política que aplica es de aprovechamiento con conservación.

El predio designado para la nueva refinería Solidaridad comprende dos Unidades de Gestión Ambiental con política de Aprovechamiento: AR_9 y AT_8; en ambas se deberá modificar el uso asignado de agricultura al industrial.

Tabla 63 Unidades de gestión ambiental del POE Tula - Tepeji del Río

UGA	Uso Predominante	Uso Condicionado	Uso Compatible	Uso Incompatible
AR_9 "Llanuras y cerros con agricultura de riego, temporal y matorral xerófilo"	Agrícola de riego	Pecuario Minería	Flora y fauna	Urbano Industria
AT_8 "Cerros y lomeríos con vegetación xerófila, pastizal y agricultura de temporal"	Agrícola de temporal	Minería Pecuario	Flora y fauna	Urbano Industria

Se concluye que son dos los programas que regulan el uso del suelo en el predio: el POE Estatal y el POE Regional Tula - Tepeji del Río; ambos instrumentos de la legislación ambiental consideran como uso predominante el agrícola y como incompatible el industrial, lo que hace necesario su revisión para adecuarlos.

3.2 Gestión del agua de la Cuenca del Río Tula

El 16 de agosto de 1995 se firmó el Acuerdo de Coordinación que establece el Consejo de Cuenca del Valle de México, entre el Gobierno Federal y los Gobiernos del Distrito Federal y de los Estados de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala.

El Consejo de Cuenca del Valle de México es una instancia de coordinación y concertación entre representantes de los gobiernos Federal, Estatal y Municipal, así como de los diversos usuarios; tiene como objetivo principal formular y ejecutar programas para mejorar la administración del agua, desarrollar la infraestructura hidráulica y sus servicios, y coadyuvar en la conservación y restauración integral de las cuencas del Valle de México y Río Tula.

Con fecha del 20 de octubre de 2008 se publicó el Acuerdo que da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Xochimilco, Río La Compañía, Tochac-Tecocomulco, Río de las Avenidas de Pachuca, Texcoco, Ciudad de México, Río Cuautitlán, Presa Requena, Presa Endhó, Río Salado, Río Actopan, Río Alfajayucan y Río Tula, que conforman la región hidrológica denominada Valle de México y Río Tula. Asimismo, la CONAGUA publicó en abril de 2002 la “Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo”.

● Proyectos hidráulicos en Tula⁶⁸

Como parte de los trabajos que realiza la CONAGUA para dar salida a las aguas negras del sistema de drenaje del Valle de México, está en proyecto la construcción de un nuevo emisor “Oriente”, que funcionará de manera alterna al “Emisor Central” y que eliminará los riesgos de inundación de la Ciudad de México, según informa la Entidad; el proyecto a realizar comprende la construcción de una nueva planta de tratamiento de aguas residuales denominada “El Salto”, en una superficie de 160 Ha, localizada en el municipio de Atotonilco de Tula, prevista para iniciar operaciones en el año 2012, con un gasto medio anual de 23 m³/s.

El proyecto también contempla la construcción de una nueva planta potabilizadora en Tula⁶⁹, con un gasto de 5 m³/s; la fuente será el acuífero de Tula; con lo que se prevé la cancelación de pozos.

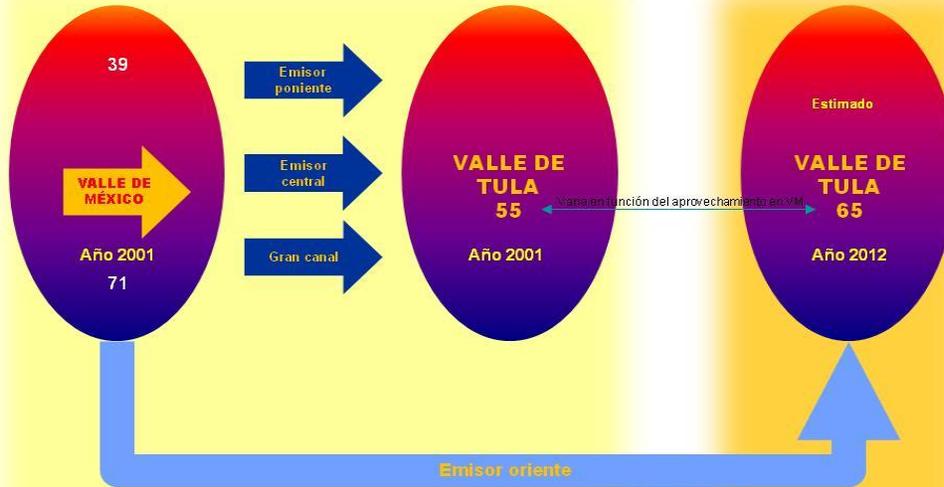
⁶⁸ Programa Regional de Saneamiento y Recuperación de Acuíferos del Valle de México. SEMARNAT. Coordinación de Proyectos de Agua Potable y Saneamiento del Valle de México. Diciembre 2007

⁶⁹ Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipio de Atotonilco de Tula Estado de Hidalgo. SEMARNAT. Coordinación General de los Proyectos de Agua Potable y Saneamiento del Valle de México. Julio 2008

CNA: Programa regional de saneamiento y recuperación de acuíferos del Valle de México

I/III

Aportación (m³/seg.)

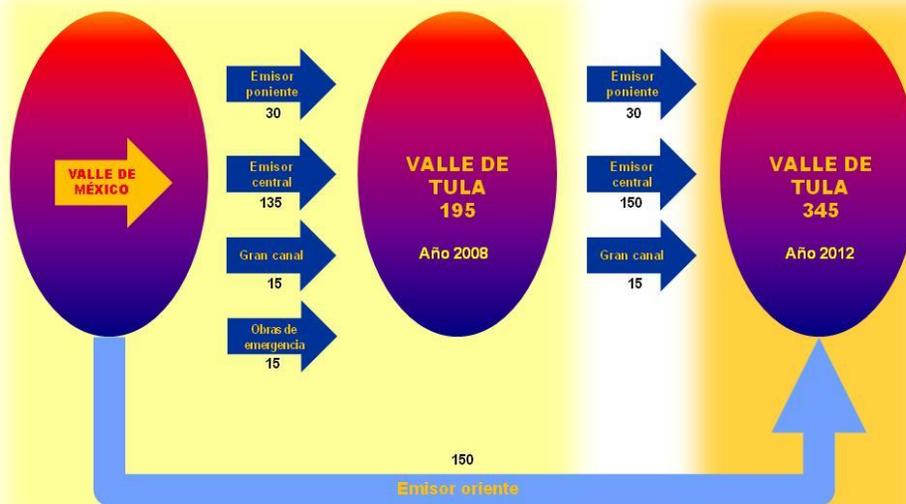


Fuente: CNA. Programa Regional de Saneamiento y Recuperación de Acuíferos del Valle de México. 16 de diciembre de 2007

CNA: Programa regional de saneamiento y recuperación de acuíferos del Valle de México

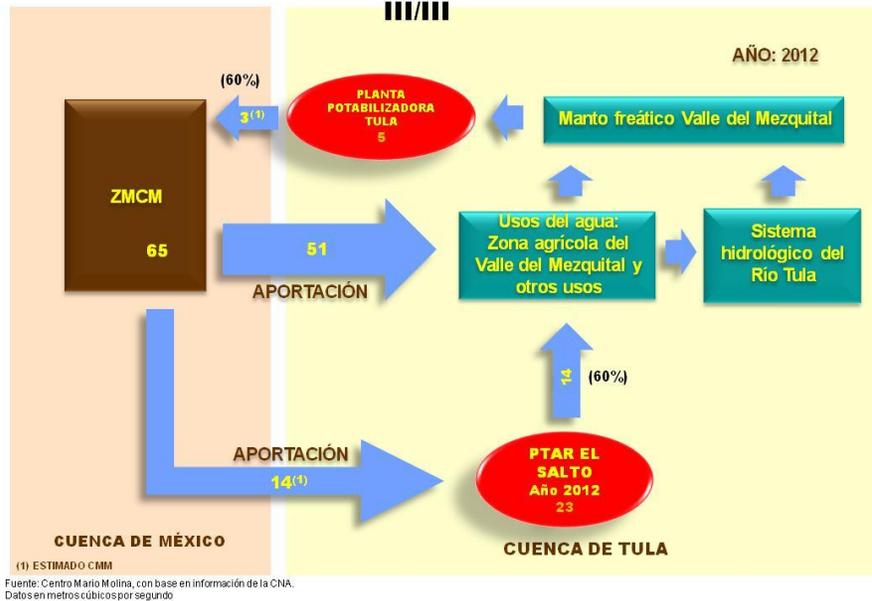
II/III

Capacidad de desalojo (m³/seg.)



Fuente: CNA. Programa Regional de Saneamiento y Recuperación de Acuíferos del Valle de México. 16 de diciembre de 2007

CNA: Programa regional de saneamiento y recuperación de acuíferos del Valle de México



En virtud de lo anterior, es recomendable atender las necesidades hidráulicas de la Región, con un enfoque de manejo integral de cuenca, que enmarque las necesidades del proyecto de la Nueva Refinería en un marco de sustentabilidad.

● Propuestas de Abastecimiento de Agua a la Nueva Refinería

Tomando como base el esquema de cogeneración CFE-PEMEX y el diseño de una nueva refinería “seca”, un primer conjunto de opciones serían las siguientes:

- Opciones de Decisión Directa

- Incrementar la extracción de agua de pozo.
- En la actualidad, en los pozos Teocalco y Mangas que explota PEMEX, se extraen del orden de los 68,000 m³/día; en el 2003 se explotaban 75,000 m³/día. Una opción que tiene PEMEX para el abasto parcial de agua de la nueva refinería, es continuar explotando los 75,000 m³/día.
- Aprovechar los ahorros en el consumo de agua cruda ocasionados por un mayor uso de agua tratada en la actual refinería, así como la reducción de pérdidas de vapor de 10.5% a 2% (13,165 m³/día máx. = ±44%).
- En la refinería Miguel Hidalgo, la descarga de agua sin tratar es del orden de 7,271 m³/día y la descarga de la PTAR es de 1,848 m³/d; aprovechar ambos efluentes para la nueva refinería, previo tratamiento.

- Opciones Externas

- Abastecer de agua a la nueva refinería mediante la perforación de nuevos pozos en la zona, previo permiso de la Comisión Nacional del Agua.
- Solicitar a la CONAGUA la transferencia de derechos de aprovechamiento de agua de los predios adquiridos por el gobierno del estado y construir una planta de

tratamiento para poder utilizar esta agua en los procesos necesarios de la nueva refinería.

- Establecer con la CONAGUA un contrato de compra de agua de la nueva planta de tratamiento de Atotonilco (El Salto).
- Convenir con la CFE la dotación de agua residual tratada de su planta, mediante la ampliación de su obra de toma y el aumento de capacidad y nivel de tratamiento.

3.3 Áreas Naturales Protegidas

Las áreas naturales protegidas (ANP) son espacios terrestres o acuáticos que la sociedad destina para la conservación de la naturaleza a perpetuidad; en ellas existen características naturales de singular valor, como ecosistemas, especies de plantas y animales, paisajes, manantiales, etc.; las autoridades han tomado medidas legales, administrativas y de concertación con la sociedad para evitar el deterioro de sus recursos naturales.

Las ANP son esenciales para el desarrollo de la sociedad humana por diversas razones: mantienen la estabilidad del ambiente (como por ejemplo, la protección ante inundaciones, sequías, la conservación del suelo y agua, la regulación del clima, etc.); mantienen la capacidad productiva de la naturaleza; aseguran la disponibilidad continua de agua, productos animales y vegetales y, proveen oportunidades para la educación ambiental, para el desarrollo rural, para la recreación y para el turismo.

En el Estado de Hidalgo, a abril de 2008, se disponía de 38 áreas naturales protegidas, de carácter federal, estatal y municipal; cubren 138 mil 793 hectáreas, 8 por ciento de la superficie del estado de Hidalgo⁷⁰; de acuerdo con la CONAMP, esta cifra se ha incrementado a 43. En el área de estudio o próximas a la misma, se localizan las siguientes:

Tabla 64 Sistema de Áreas Naturales Protegidas federales

Nombre	Superficie (Ha)	Categoría	Fecha
Barranca de Metztitlán	96,043.00	federal	27/nov/00
Parque nacional El Chico	2,739.02	federal	06/jul/82
Parque nacional Los Mármoles	23,150.00	federal	08/sep/36
Parque Nacional Tula	99.50	federal	27/may/81
Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán	96,042.95	federal	27/nov/00 01/ago/03
Área de Protección de Recursos Naturales	9,491.10	federal	20/oct/38
Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa			09/sep/02

Fuente: CONAMP

● Parque Nacional de Tula

De categoría federal; se localiza con dirección O-NO de la refinería actual y a una distancia aproximada de seis kilómetros; limita en su perímetro sur con la zona urbana de la ciudad de Tula de Allende; sus coordenadas son: 20° 08" Latitud Norte y 99° 16" Longitud Oeste. El ANP fue decretada con categoría de Parque Nacional el 27 de mayo

⁷⁰ COEDE, Gobierno del Estado de Hidalgo. 2008

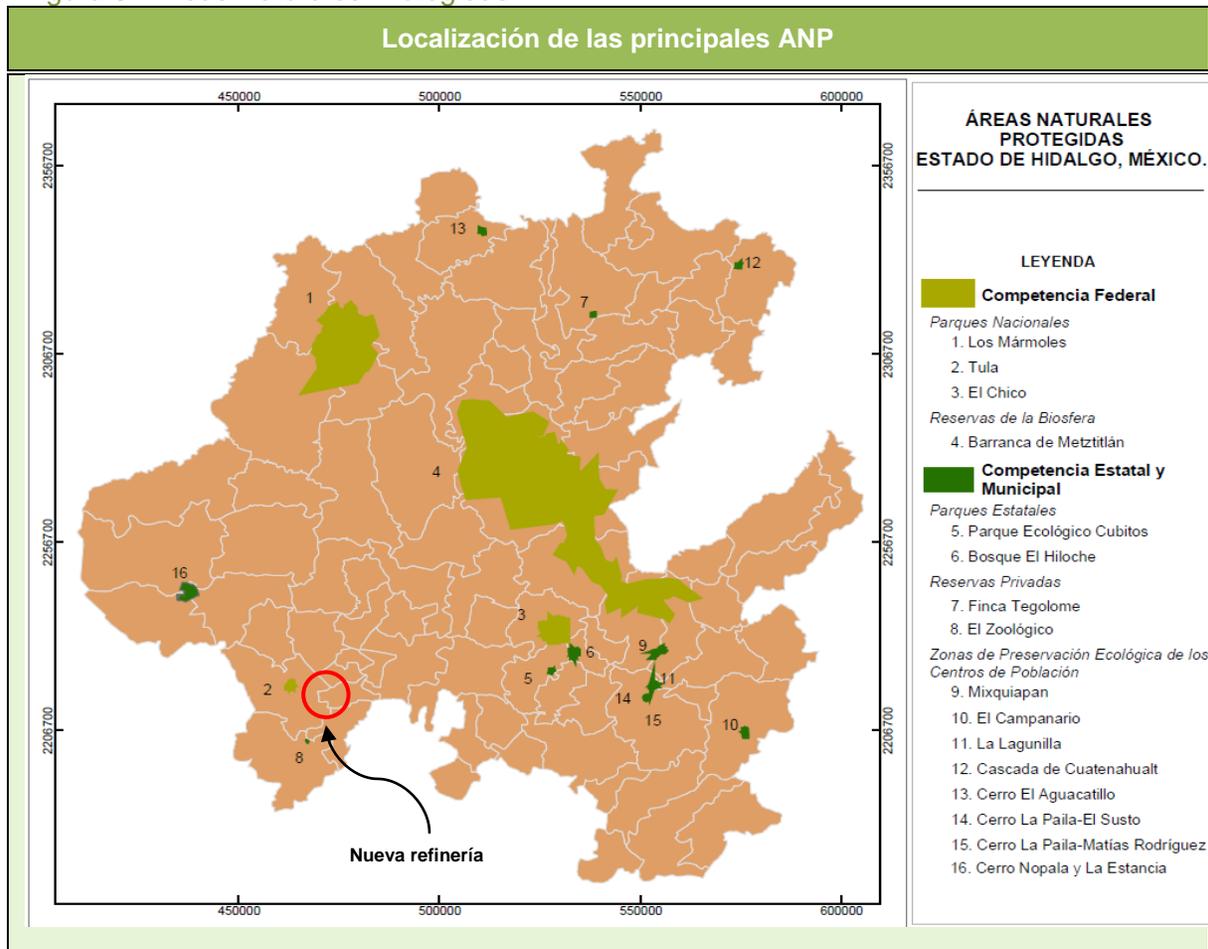
de 1981, con superficie de 99.5 Ha, ocupadas 106 Ha; su propiedad de origen ejidal actualmente es federal.

Los usos del suelo que contiene son forestal, arqueológico y turístico; en el área próxima, urbano y agrícola. La vegetación es matorral xerófilo y pastizal natural.

Su administración recae en la CONANP y el INAH; la CONANP realiza estudios para su re-categorización.

Dado que el parque nacional es meramente arqueológico, la problemática se ha concentrado en la restitución o indemnización de terrenos expropiados, tanto a ejidatarios como a propietarios, trayendo como consecuencia la invasión de terrenos que se encuentran dentro del parque, tal es el caso de los terrenos agrícolas que quedaron dentro del parque que aún se cultivan, y el pastoreo se sigue dando sin control dentro del área considerada como parque, desplazando a la fauna silvestre y deteriorando la vegetación, así como provocando la pérdida del suelo por levantamiento. Asimismo el quedar en la periferia de la ciudad de Tula, ha provocado el deterioro de los monumentos por la contaminación atmosférica, causada por las industrias, acelerando el intemperismo físico; aunado a esto, se da la destrucción constante del cercado perimetral.

Figura 51 Áreas Naturales Protegidas



FUENTE: Gobierno del Estado de Hidalgo

La fauna silvestre está representada por especies menores de reptiles, mamíferos y aves; entre los primeros están: una tortuga de tierra, diferentes especies de lagartijas y camaleones, así como diferentes especies de culebras y víboras. Entre las aves encontramos: gavilanes, aguilillas, guajolotes, codornices, tórtolas y lechuzas, además de una gran variedad de aves canoras y pequeños roedores.

● Parque Nacional El Chico

Declarado el 13 de julio de 1982 por el Gobierno Federal con categoría de Parque Nacional; se localiza en las coordenadas 20° 12" Latitud Norte y 98° 44" Longitud Oeste, a una distancia aproximada de 58 Kilómetros hacia el Este de la refinación actual; cuenta con una superficie de 2,739 Ha; se localiza en la zona minera de Pachuca; fue el primer Parque Nacional que funcionó en el país, desde junio de 1898 que se le concedió dicho estatus para proteger el área de la tala inmoderada.

La altitud que presenta este parque, desde los 2,320 msnm en la porción norte hasta los 3,090 msnm en la porción sur, y los rasgos fisiográficos particulares, permiten una alta cantidad de hábitats para la vida silvestre; su paisaje se compone de montañas cubiertas por bosques de pino, encino y oyameles, interrumpidos por pequeños valles entre los que surgen formaciones rocosas. Entre los animales que habitan el bosque están: tlacuaches, mapaches, armadillos, coyotes, gabilancillo, pájaro carpintero, salamandras, camaleones y la víbora de cascabel.

● Zona de Protección Forestal Valle del Mezquital

El área que comprende la zona de estudio fue declarada el 3 de mayo de 1947 como zona de protección forestal; no ha funcionado de acuerdo a los objetivos de su creación debido a la indefinición de límites, hecho que ha ocasionado su ocupación por los asentamientos humanos, industria y actividades agrícolas. La LGEEPA no considera a éstas como una categoría de manejo, por lo que no tienen una validez jurídica.

● Parque Ecológico Cubitos

Ubicado en los Municipios de Pachuca de Soto y Mineral de la Reforma, fue declarado el 28 de noviembre de 2002 por el ejecutivo estatal como Área Natural Protegida en la categoría de Parque Ecológico, con una superficie de 904,506.20 m²; modifica su categoría anterior de Zona Sujeta a Conservación Ecológica prevista en el Programa de Ordenamiento Urbano de la zona conurbada Pachuca - Mineral de la Reforma, publicado el 28 de marzo de 1994 en el Periódico Oficial del Estado.

Tabla 65 Áreas Naturales Protegidas estatales

Nombre	Superficie (Ha)	Categoría	Fecha ⁽¹⁾
1. Parque Ecológico Cubitos, Pachuca	90.45	PE ⁽²⁾	30/12/2002
2. Parque Estatal Bosque El Hiloche, Mineral del Monte	99.88	PE	06/09/2004
3. Finca Tegolome, Tlanchinol	8.00	RE ⁽³⁾	20/09/2004
4. El Zoológico, Tepeji del Río	9.46	RE	S/D

(1): Fecha de publicación en el Periódico Oficial del Estado, excepto el Certificado, que corresponde a la fecha de la firma, por el DGCOEDE

(2) PE: Parque Estatal

(3) RE: Reserva Privada certificada como área productiva dedicada a una función de interés público donde se prioriza la protección e investigación de la flora y fauna nativa de los bosques mesófilos de la Sierra Hidalguense

Fuente: Consejo Estatal de Ecología del Gobierno del Estado de Hidalgo

Tabla 66 Áreas Naturales Protegidas municipales

Nombre	Superficie (Ha)	Categoría	Fecha ⁽¹⁾
1. Mixquiapan, Acatlán	80.98	Z.P.E.C.P.	31/10/2003
2. La Lagunilla, Singuilucan	28.38	Z.P.E.C.P.	12/04/2004
3. El Campanario, Cuauhtepic de Hinojosa	41.50	Z.P.E.C.P.	26/04/2004
4. Cascada de Cuatenahuatl, Huautla	17.65	Z.P.E.C.P.	06/12/2004
5. Cerro El Aguacatillo, Chapulhuacan	44.86	Z.P.E.C.P.	13/12/2004
6. Cerro La Paila-El Susto, Singuilucan	11.98	Z.P.E.C.P.	31/01/2005
7. Cerro La Paila-Matías Rodríguez, Singuilucan	24.27	Z.P.E.C.P.	13/06/2005
8. Cerro Nopala y La Estancia, Nopala de Villagrán	1,753.75	Z.P.E.C.P.	05/12/2005
9. Alcantarillas, Apan	911.39	Z.P.E.	05/06/2007
10. Cocinillas, Apan	77.80	Z.P.E.	05/06/2007
11. La Gloria, Apan	59.58	Z.P.E.	05/06/2007
12. Tezoyo, Apan	493.40	Z.P.E.	05/06/2007
13. Coatlico, Almoloya	231.80	Z.P.E.	05/06/2007
14. Rancho Nuevo, Almoloya	627.61	Z.P.E.	05/06/2007
15. San MateoTlajomulco, Singuilucan	484.36	Z.P.E.	05/06/2007
16. Matías Rodríguez, Tepeapulco	1,068.66	Z.P.E.	05/06/2007
17. Bondojito, Huichapan	67.97	Z.P.E.	07/06/2007
18. Dandhó, Huichapan	30.00	Z.P.E.	07/06/2007
19. Dothí, Huichapan	20.00	Z.P.E.	07/06/2007
20. Mamithí, Huichapan	10.00	Z.P.E.	07/06/2007
21. Zóthe, Huichapan	20.00	Z.P.E.	07/06/2007
22. La Cañada Huixcazdha, Huichapan	234.00	Z.P.E.	07/06/2007
23. Rancho Huixcazdha, Huichapan	392.00	Z.P.E.	07/06/2007
24. La Laguna, Huichapan	115.00	Z.P.E.	07/06/2007
25. Rancho Ñathu, Huichapan	216.06	Z.P.E.	07/06/2007
26. Arroyo Nogales, Atotonilco El Grande	164.37	Z.P.E.	13/06/2008
27. Cruz de Plata, Atotonilco El Grande	399.82	Z.P.E.	13/06/2008

(1) ZPECP: Zona de Protección Ecológica de los Centros de Población

(2) ZPE: Zona de Protección Ecológica

Antes de la modificación de la LGEEPA en 1996, el Estado contaba con 12 Zonas Protectoras Forestales; en sus decretos de creación no se precisó la superficie que abarcaban; sin embargo, se estima que en conjunto cubrían más de 450,000 hectáreas. Estas áreas se encuentran actualmente en un régimen de protección indefinido, hasta en tanto la SEMARNAT realice los estudios y análisis que justifiquen la modificación de sus decretos y promueva ante el Ejecutivo Federal la expedición del decreto correspondiente:

Tabla 67 Zonas Protectoras Forestales

Nombre	Fecha Del Decreto (DOF)
1. Terrenos Montuosos de Fray Francisco	04/01/1937
2. Ciudad de Pachuca	11/09/1937
3. Ciudad de Zacualtípán	20/04/1939
4. Valle del Mezquital	03/05/1947

5. Presa Endhó	03/08/1949
6. Presa La Esperanza	03/08/1949
7. Presa La Peña-R. Gómez	03/08/1949
8. Presa Vicente Aguirre	03/08/1949
9. Presa Requena	03/08/1949
10. Presa Taxhimay	03/08/1949
11. SNR Núm. 03	03/01/1934
12. SNR Núm. 08	03/01/1934

Al respecto, el 22 de noviembre de 2002 el Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales firmó un acuerdo por el cual “*se recategorizan como áreas de protección de recursos naturales, los territorios a que se refiere el Decreto Presidencial de fecha 8 de junio de 1949, publicado el 3 de agosto del mismo año*” (DOF 07/11/2003). Sin embargo, el Decreto al que hace referencia, no precisa áreas ni superficies.

En el caso de la Zona Protectora Forestal Valle del Mezquital, personal consultado de la CONANP informó que no ha sido re clasificada conforme alguna categoría aceptada en el Sistema Nacional de Áreas Naturales protegidas, según lo indica la LGEEPA y su Reglamento en esta materia y mientras esto no suceda, esta publicación no surte efectos ni consecuencia jurídica alguna.

3.4 Desarrollo urbano

El personal del H. Ayuntamiento del Municipio de Tula de Allende responsable de operar el Plan informó que se encuentra en proceso de actualización el Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Tula de Allende y hasta en tanto no se defina la ubicación de la nueva refinería, el plan de desarrollo urbano vigente no estará a disposición pública para su consulta. No obstante, se presume que los terrenos designados para la localización de la refinería Bicentenario se localizan en áreas con un uso de suelo designado de agrícola de riego; el uso del suelo del Plan de Desarrollo Urbano deberá de modificarse, de no urbanizable a urbanizable; es decir, de Conservación a uso Industrial; en los terrenos aledaños se deberá evitar ocupar con usos antagónicos, como los urbanos.

En sesión ordinaria del 28 de julio de 2009, el Congreso del Estado de Hidalgo acordó emitir un exhorto al Poder Ejecutivo Estatal para que inicie la elaboración del Plan de Desarrollo Urbano Metropolitano de Tula, que defina las áreas de crecimiento urbano, los usos y destinos del suelo, las áreas para la infraestructura y equipamiento regional y demás áreas estratégicas, que ayuden a tener un desarrollo armónico de los habitantes del lugar; responda a la decisión de ubicar la nueva refinería y prevea su desarrollo sustentable; la Coordinación de Desarrollo Metropolitano será responsable de formularlo.

El 29 de septiembre de 2009, el Gobernador de Hidalgo presentó el “Plan Maestro para el Desarrollo Sustentable de la Región de Tula” que tiene como propósito que la región se convierta en un Polo Energético, para que junto con las actuales instalaciones de Pemex, la termoeléctrica y la nueva refinería Bicentenario, puedan detonar inversiones e incluso la creación de nuevos parques industriales.

El Plan Maestro, para lograr alcanzar el nivel de desarrollo sustentable en la Región, diseña su estrategia en cinco polos de desarrollo: Energético, Industrial, Agropolos, Logístico y Turístico, Comercial y de Servicios; el Polo Industrial considera que la construcción de la Nueva Refinería “Bicentenario” generará múltiples oportunidades de inversión y de negocios; se impulsarán y fortalecerán las actividades productivas actuales y potenciales de la región y del Estado; se sumarán proyectos vinculados a la Comisión Metropolitana del Valle de México (CMVM); se fortalecerá la atracción del Estado a la inversión productiva, con ventajas competitivas de la región, en materia de infraestructura conectiva -carretera, ferroviaria y aeroportuaria-, así como a su proximidad y accesibilidad a los mercados de la ZMCM y hacia los puertos marítimos y la frontera norte; se sumará el capital humano de la región, que otorgará sustentabilidad a este Polo.

El Plan propone consolidar y ampliar la infraestructura industrial con nuevos parques y zonas industriales, con estándares internacionales, que respondan a la demanda generada por la construcción y operación de la Nueva Refinería.

La estrategia del Plan para los agropolos se sustenta en el Programa Regional de Saneamiento y Recuperación de Acuíferos del Valle de México que lleva a cabo la CONAGUA: se incrementará el caudal de agua residual en la Región de Tula y se mejorará su calidad, al tratar 23 m³/seg en El Salto; hechos que permitirán reconvertir el cultivo de productos agrícolas, en más de 80 mil hectáreas en los distritos de riego, de producción forrajera hacia nuevos productos, como frutos y hortalizas.

El Plan será operado por la Corporación para el Desarrollo Sustentable de la Región de Tula, Organismo Público Descentralizado de la Administración Pública Estatal, con

personalidad jurídica y patrimonio propio, que se crea como espacio de participación de los Gobiernos Federal, Estatal y Municipales, del sector privado y de la sociedad civil organizada. Su sede estará en el Municipio de Tula de Allende.



La prioridad que manifiesta el plan maestro es lograr que el crecimiento en esa región se haga de forma ordenada y con planeación a futuro, en un horizonte de planeación de largo plazo, de 50 años; en donde los principales aspectos sean el ordenamiento territorial, la protección y cuidado del medio ambiente y la generación de empleo. El Plan comprende a 13 Municipios con una superficie total de 1,698 Km² y con una población al 2005 de 384,846 habitantes; entre los objetivos que plantea está la ordenación del territorio, que incluye la creación de un cinturón industrial alrededor de la nueva refinería así como, la creación de un desarrollo habitacional de bajo impacto para 5000 viviendas nuevas.

Tabla 68. Cobertura del Plan Maestro

Municipio	Pob. 2000	Pob. 2005	Superficie (Km)	%
Ajacuba	14,507	16,103	192.7	4.18
Atitalaquia	21,636	24,126	64.2	6.26
Atotonilco de Tula	24,848	26,219	30.8	6.81
Mixquiahuala de Juárez	35,065	37,677	138.1	9.79
Tetepango	8,935	9,611	56.5	2.49
Tepetitlán	8,498	8,885	179.9	2.30
Progreso de Obregón	19,041	19,634	106.0	5.10
Tepeji del Río de Ocampo	67,858	68,523	393.2	17.80
Tlahuelilpan	13,936	15,338	31.3	3.98
Tezontepec de Aldama	38,718	41,719	120.8	10.84
Tlaxcoapan	22,641	24,676	79.3	6.41
Tula de Allende	86,840	92,335	305.8	23.99
Total regional	362,523	384,846	1,698.0	100.00
Total estatal	2,235,591	2,345,514	20,987.0	-

Fuente: Gobierno del Estado de Hidalgo, Plan Maestro para el Desarrollo Sustentable de la Región de Tula (2009)

Dentro de la cartera de proyectos del Plan Maestro sobresalen por su importancia para el proyecto de la Nueva Refinería los siguientes:

- La conformación de un cinturón industrial alrededor de la Nueva Refinería compatible con la industria instalada.
- La constitución de una franja de amortiguamiento que evite el acercamiento de la mancha urbana poblacional de al menos 500 m en toda la periferia del cinturón industrial, que será reforestada con vegetación nativa.
- La restauración de bancos de materiales explotados en la región Tula - Tepeji, con acciones de conservación de agua y suelo, estabilización de taludes y

reforestación preferentemente con especies nativas, en socavones existentes y abandonados.

- Construcción de un relleno sanitario regional.
- Acciones de forestación y reforestación en la Región Tula - Tepeji.
- Medidas y acciones para reducir la emisiones de contaminantes atmosféricos.
- Actualización del inventario de emisiones 2008 en la región Tula - Tepeji.
- Actualización del Programa de Ordenamiento Ecológico (Tula, Atitalquia, Atotonilco, Tlaxcoapan, Tezontepec)

Se prevé que el impulso adicional que el Gobierno del Estado le pretende imprimir a la Región puede revertirse en contra de la misma refinera, de no adoptarse varias medidas preventivas, que contengan los procesos especulativos y sinergias sobre el uso del suelo en las proximidades del predio de la nueva refinera, como nuevos desarrollos habitacionales, antes de que el Gobierno del Estado instrumente el cerco que pretende construir al alrededor de la nueva refinera.

Para evitar que el impacto del Plan Maestro se revierta en contra del proyecto de la nueva refinera, se recomienda dar un seguimiento estrecho a la coordinación de esfuerzos declarados por el Gobierno del Estado; tener idea clara del esquema regional que más conviene a PEMEX en la vecindad de la nueva refinera e impulsar medidas candado que den certeza al proyecto de vida útil a largo plazo.

- Asentamientos humanos

El crecimiento urbano presente en la región ha sido importante, hecho que ha valido para que el Gobernador del Estado, en Acuerdo del 18 de junio de 2008 declarara legalmente reconocido el fenómeno de Metropolización entre los Municipios de Atitalquia, Atotonilco de Tula, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan y Tula de Allende y constituyera la Comisión Permanente de Metropolización, a efecto de dirigir la planeación y administración urbana de su territorio.

El predio de la nueva refinera se localiza a 1.4 Km al nororiente de la refinera Miguel Hidalgo, en una zona de transición; comparte usos urbanos hacia el oriente, con localidades de los Municipios Tlaxcoapan y Atitalquia; usos agrícolas de riego hacia el norte y este; con el distrito de riego 03 Tula e industrial hacia el suroeste. En la parte oriente del predio adquirido se localiza la localidad Ejido de San Miguel, con cuatro habitantes y hacia el oeste, próximo al entronque del FFCC México - Querétaro con la calle Venustiano Carranza (Cardonal), la localidad El Gavillero, con tres habitantes, según reporta el conteo de población 2005 del INEGI.

Las localidades más próximas al predio son las siguientes:

Tabla 69 Localidades próximas al predio de la nueva refinera

Población total municipal y localidad 2005	
Municipio Tlaxcoapan:	11,746 habitantes
Doxey	6,540 habitantes
Tlaxcoapan	13,425 habitantes
Teocalco	947 habitantes
Ejido San Miguel	4 habitantes
El Gavillero	3 habitantes
Municipio Atitalquia:	24,749 habitantes

Cardonal	8,006 habitantes
La Vega	19 habitantes
Atitalaquia	5,932 habitantes
U.H. Antonio Osorio de León (Bojay)	2,398 habitantes
La Loma de Ixtzacuala (La Loma)	22 habitantes
Tlamaco (San Gerónimo Tlamaco)	2,920 habitantes
Colonia Empleados Pemex	288 habitantes
Municipio Tula de Allende:	129,935 habitantes
Praderas del Llano	138 habitantes

4. Identificación y análisis de los procesos de cambio en el sistema ambiental regional

4.1 Estructura y función del sistema ambiental regional

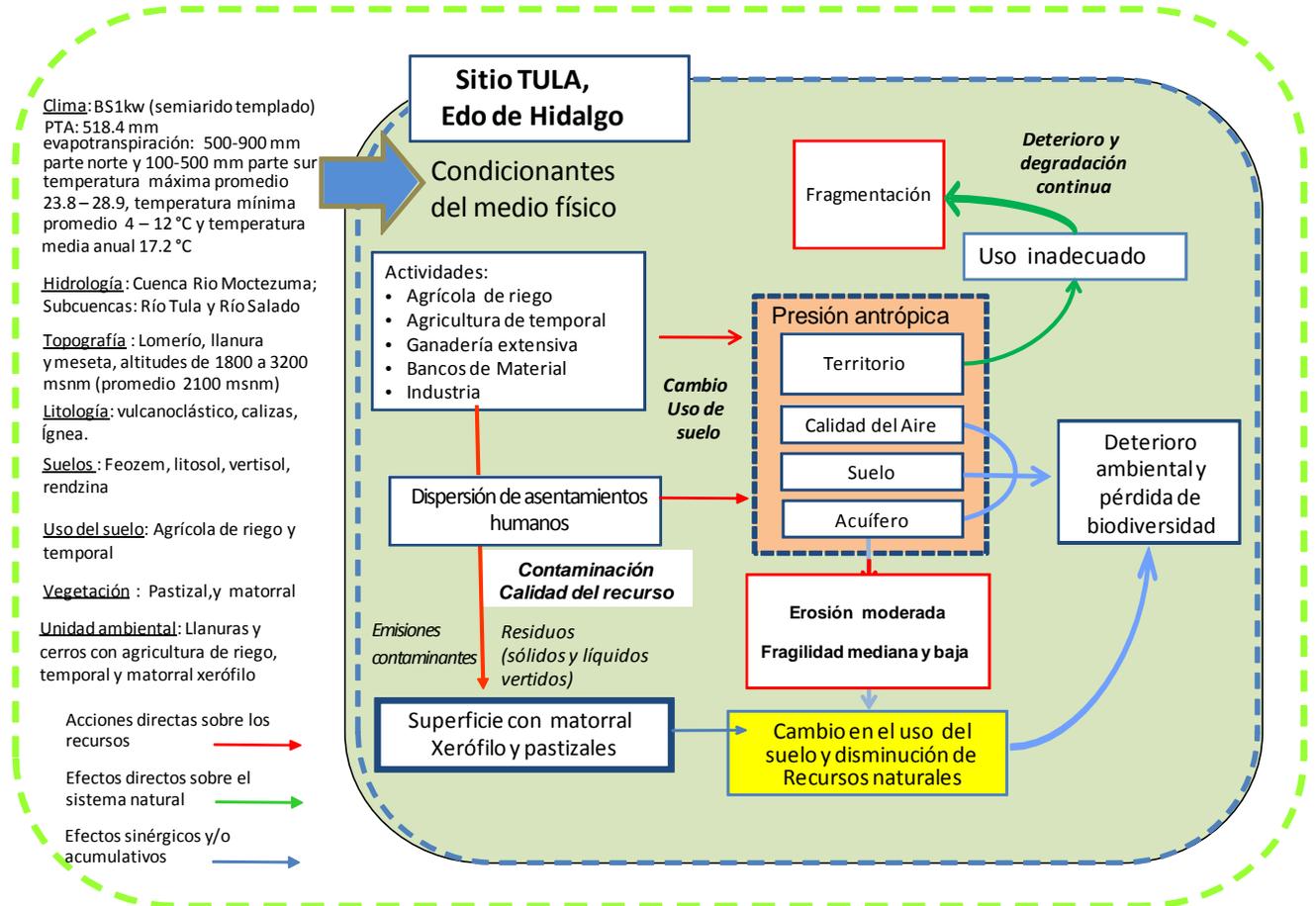
El sistema ambiental regional que comprende la nueva refinería Bicentenario se caracteriza por constantes cambios ocasionados por dos factores principales: la transferencia de aguas residuales provenientes de la Cuenca del Valle de México, con cambios significativos en los modos de producción, de sistemas de subsistencia a una agricultura de riego tecnificada y, la instalación de la refinería Miguel Hidalgo, la termoeléctrica Francisco Pérez Ríos y varias industrias relacionadas con el cemento, el vestido y los alimentos, principalmente. Los cambios que manifiesta de manera relevante el Sistema Ambiental Regional son los siguientes:

- La construcción de una compleja red de comunicaciones terrestres.
- Desarrollo industrial desarticulado; predominan tres parques industriales: Tula, Atitalaquia y Tepeji del Río.
- El crecimiento desordenado de varias localidades alrededor de la zona industrial; mayor en los Municipios de Tula, Atitalaquia, Tepeji del Río, Tlaxcoapan y Atotonilco de Tula.
- Índices elevados de crecimiento social de la población con predominio de estratos laborales de baja calificación.
- La ampliación progresiva de su zona agrícola de riego.
- La cada vez mayor superficie de explotación de bancos de préstamo de materiales que abastecen la creciente demanda en la industria del cemento.
- Una fuerte dependencia económica con la región centro del país y política con la capital del Estado, que limita su desarrollo pleno.

Estos hechos ocasionan un cuadro ambiental con los siguientes síntomas críticos:

- Fragmentación del paisaje natural y pérdida progresiva de los recursos naturales endémicos. Estrato vegetativo representado por matorral xerófilo dominante asociado con bosque tropical caducifolio.
- Niveles elevados de contaminantes en la atmósfera que dañan a la salud de sus habitantes: NO_x, SO y partículas, principalmente. La zona al sur es la más dañada.
- Alto contenido en materia orgánica en el agua, tanto superficial como subterránea. Los niveles más elevados se localizan en las márgenes del río Tula y Salado, a partir de los sitios de descarga de los vertederos residuales.
- Déficit en la prestación de los servicios públicos, con descargas residuales sin tratamiento y, manejo y disposición ineficiente de los residuos sólidos urbanos e industriales.
- Usos del suelo incompatibles, que estrezan las relaciones entre las principales actividades del Sistema Ambiental Regional: urbano, industrial y agrícola, con predominio del primero.
- Niveles de calificación municipales nulos o limitados para atender los problemas y rezagos en materia ambiental que padece la región.
- Recursos económicos escasos e insuficientes destinados para atender la compleja problemática ambiental.

Figura 52 Sistema Ambiental Regional



4.2 Fortalezas, oportunidades debilidades y amenazas del proyecto

● Fortalezas:

1. Suelo: Terreno apto para el uso industrial pretendido; plano con ligera pendiente hacia el norte; resistente, con buena capacidad de carga y bien comunicado.
2. Proximidad con redes de infraestructura de comunicaciones: Predio con excelente estado de comunicaciones: por carretera, en su extremo oriente colinda con el Arco Norte y próximo (1Km) al poniente, con la carretera de doble sentido Tula - Conejos - Autopista México - Querétaro; ferroviario, en su extremo poniente colinda con el FC México - Querétaro y en su extremo norte con el FC México - Pachuca; aeroportuario, a 40 Km de la pista aérea de Tizayuca y 80 Km del aeropuerto internacional Benito Juárez y, portuario, a 341 Km del puerto de Tuxpan, Veracruz.
3. Ubicación: Predio con una inmejorable localización y con todos los servicios necesarios para el proyecto de nueva refinería: dentro de un área de influencia industrial; dispone de infraestructura vial y ferroviaria, petrolera (ductos), eléctrica (líneas de alta tensión de 230 KV), canales de irrigación y próximo a la principal zona de abasto (80 Km).
4. Suficiencia de agua cruda: Agua suficiente en los tres canales que atraviesan el predio, así como, un balance hidráulico favorable, tanto en la cuenca como en el acuitardo.
5. Uso del suelo en la Región: La vocación social del suelo es industrial, por la refinería actual, la termoeléctrica, los tres parques industriales, las industrias del cemento, así como, las demás industrias instaladas; con un total superior al medio centenar de industrias, hecho que facilitará la generación de sinergias del proyecto con las demás industrias.
6. Generación de empleos: La construcción y operación de la nueva refinería generará del orden de los 12 mil empleos directos, entre 10 y 11.5 mil en la etapa de construcción y 1300 a 1400 en la operación, más los indirectos.
7. Desarrollo regional: Se prevé una derrama económica local de 8,171 millones de dólares en la refinería, que coadyuvará al desarrollo regional.
8. Calidad ambiental: Con la gasolina ultraligera o de bajo contenido de azufre que se producirá en la refinería nueva y la existente una vez reconfigurada y la cancelación de la producción de combustóleo se obtendrán menores emisiones contaminantes en la atmósfera, lo que contribuirá a la disminución del calentamiento global.
9. Suficiencia nacional en la producción de combustibles: La puesta en operación de la nueva refinería contribuirá a lograr la suficiencia energética nacional y a reducir los costos de importación.
10. Disponibilidad del Estado: Existe buena disposición de los gobiernos, federal, estatal y municipal, así como, del Congreso de la Unión para apoyar la construcción de la nueva refinería.
11. Concepto sustentable del proyecto: Disposición de PEMEX Refinación por desarrollar el proyecto con un enfoque regional integral y sostenido; incorporar tecnologías limpias y de punta; sumar acciones con organismos como la CFE para la cogeneración energética y propiciar la creación de nuevas cadenas productivas.

● **Debilidades:**

1. *Uso del suelo en el predio:* El uso actual del terreno para la nueva refinería es agrícola; se disminuirá la superficie de riego y en consecuencia su producción forrajera.
2. *Normatividad:* El uso industrial es considerado incompatible en los Programas de Ordenamiento Ecológico, tanto en el Estatal como en el de la Región Tula Tepeji; en los Programas de Desarrollo Urbano de Tula, Atitalaquia y Tlaxcoapan, el uso industrial del suelo está prohibido; se requerirá modificar estos ordenamientos para legalizar el uso.
3. *Uso del agua:* El uso del agua en los canales de riego que abastecen el predio es para agricultura; su aprovechamiento requerirá de previa autorización del Consejo de Cuenca.
4. *Contaminación atmosférica:* Los niveles de contaminación en la región se incrementarán.
5. *Contaminación del agua:* El agua de los afluentes presenta niveles elevados de contaminación por su origen residual; para aprovecharla se requiere su tratamiento.
6. *Nivel de educación bajo:* El nivel educativo promedio en la zona es de 8 años, equivalente al segundo año de secundaria; ligeramente menor en las mujeres que en los hombres. El nivel medio que requiere la industria del petróleo es superior (once años en la industria de la extracción del petróleo). La fuerza de trabajo local podrá ser utilizada durante la etapa de construcción; en la etapa de operación provendrá de otros sitios, probablemente del centro del país.
7. *Sindicatos:* Se deberá considerar la presencia del sindicato petrolero en el diseño y aplicación de políticas sociales y de empleo, tanto en la etapa de construcción como de operación; pueden representar un obstáculo para el desarrollo regional.
8. *Situación económica nacional:* La situación económica por la que atraviesa el país puede ocasionar rezagos en el cumplimiento de metas de la nueva refinería.

● **Oportunidades:**

1. *Demanda de refinados:* Existe interés por abastecer satisfactoriamente el mercado nacional de gasolinas evitando su importación.
2. *Cercanía con zonas de mercado:* Su proximidad con el área metropolitana de la Ciudad de México como principal consumidora de gasolina disminuye los costos de transportación.
3. *Proximidad con la termoeléctrica:* Posibilidad de mejoras competitivas en la producción de energéticos mediante la co-generación, así como, favorece la reducción de residuos con su reuso en los procesos.
4. *Cadenas productivas:* Por la vocación de la región, existe la posibilidad de propiciar la generación de cadenas productivas relacionadas con insumos y productos derivados de la refinación del petróleo y con ello se favorece el desarrollo regional.
5. *Proximidad con la Refinería Miguel Hidalgo:* Con la reconfiguración de la refinería Miguel Hidalgo se pueden complementar procesos de producción y compartir tratamientos de residuos; por ejemplo, de las aguas residuales (el mismo canal comunica al predio de la nueva refinería con la planta de tratamiento de la refinería Miguel Hidalgo).

6. Cercanía con la empresa Simari (manejo de residuos industriales): Al disponer en un lugar cercano los residuos del proceso de producción, se obtiene la consecuente disminución de riesgos y costos de transportación.

7. Infraestructura de comunicaciones: La infraestructura instalada en la región del proyecto es excelente. Carreteras: Autopista México - Querétaro, Arco Norte, Tula - Conejos, entre otras; ferrocarril: México - Querétaro y México - Pachuca; aeroportuario: pista aérea de Tizayuca (40 Km) y aeropuerto internacional Benito Juárez (80 Km); portuario: Tuxpan, Veracruz (341 Km).

8. Planificación urbana y ambiental: En la región de estudio están vigentes planes y programas de ordenamiento ecológico y de desarrollo urbano, lo que manifiesta una mayor cultura en la ordenación del territorio.

● Amenazas:

1. Crecimiento de la mancha urbana: La proximidad al oriente con el área de crecimiento urbano de Cardonal, Dendhó y Doxey, mancha urbana de los municipios de Atitalaquia y Tlaxcoapan, puede ocasionar inconsistencias en el uso del suelo y del agua, contaminación y limitaciones en la operación de la nueva planta; amenaza que debe valorarse en función del crecimiento del área metropolitana del Valle de México; considerando su mayor cercanía relativa con la entrada en operación del arco norte.

2. Decremento en la calidad del aire de la cuenca atmosférica: Con las emisiones de la nueva refinería se podrá disminuir la calidad del aire en la región, lo que ocasionaría presiones sociales por los incrementos en los índices de morbilidad.

3. Presiones de usuarios agrícolas por el recurso agua: Las fuertes presiones que ejercen los actuales usuarios del agua, particularmente en el Distrito de Riego 003, puede dificultar la asignación del recurso a la nueva refinería.

4. El uso del coque como combustible: El uso indiscriminado del coque como combustible en la termoeléctrica, caleras y cementeras puede elevar drásticamente el índice de calidad del aire en la región, con el consecuente daño en la salud de los habitantes del área.

5. Cambio en el uso del suelo: Al instalar la refinería en una zona agrícola y próxima al área urbana se pueden desencadenar procesos de cambio de uso del suelo y especulativos inadecuados para la vida útil del proyecto y la seguridad de sus habitantes.