



ESTUDIO TÉCNICO JUSTIFICATIVO
PARA DECLARAR ZONA DE
RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EL
ÁREA DE INFLUENCIA DE LA PRESA
ENDHÓ
JUNIO DE 2024

SEMARNAT 2024

Cítese:

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2024. Estudio Técnico Justificativo (ETJ) para declarar Zona de Restauración Ecológica el Área de Influencia de la Presa ENDHÓ. 187 páginas, incluyendo anexos.

Foto de portada: El Sol de Hidalgo. 19 de marzo de 2024. Sigue a la baja nivel de presas. Recuperado de <https://www.elsoldehidalgo.com.mx/local/disminuye-7.9-el-nivel-de-presas-en-hidalgo-11619315.html#:~:text=Siguen%20a%20la%20baja%20nivel,Guti%C3%A9rrez%20%2F%20El%20Sol%20de%20Hidalgo&text=En%20un%20periodo%20de%202029,entidad%2C%20disminuy%C3%B3%207.9%20por%20ciento>

El presente documento fue elaborado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; por conducto del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC); Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA); Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA); Comisión Nacional del Agua (CONAGUA); Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); Comisión Nacional Forestal (CONAFOR); Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP); Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA); y Unidades Administrativas de la SEMARNAT, así como por la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME).

DIRECTORIO

María Luisa Albores González

Titular de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Alonso Jiménez Reyes

Subsecretario de Regulación Ambiental

Germán Ruiz Méndez

Director de Relaciones Interinstitucionales de Fomento y Normatividad Ambiental

AUTORIZÓ

María Luisa Albores González

Titular de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

VALIDÓ

Alonso Jiménez Reyes

Subsecretario de Regulación Ambiental

REVISÓ

Germán Ruiz Méndez

Director de Relaciones Interinstitucionales de Fomento y Normatividad Ambiental

Con fundamento en los artículos 6, fracción XXXIV, 9, fracción XXVI y 69, fracción XXIII del Reglamento Interior de la SEMARNAT, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 27 de julio de 2022.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. INFORMACIÓN GENERAL.....	2
A) NOMBRE DEL ÁREA PROPUESTA	2
B) SUPERFICIE.....	2
C) VÍAS DE ACCESO.....	4
D) MAPA CON LA DESCRIPCIÓN LIMÍTROFE	8
E) NOMBRE DE LAS ORGANIZACIONES, INSTITUCIONES, ORGANISMOS GUBERNAMENTALES O ASOCIACIONES CIVILES PARTICIPANTES EN LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO JUSTIFICATIVO (ETJ)	9
F) ENTIDAD FEDERATIVA Y MUNICIPIOS EN DONDE SE LOCALIZA EL ÁREA.....	9
III. DESCRIPCIÓN AMBIENTAL.....	11
A) DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	11
FISIOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA	11
GEOLOGÍA	13
TIPOS DE SUELOS.....	16
HIDROLOGÍA.....	18
CLIMA	20
IV. ASPECTOS SOCIECONÓMICOS.....	23
A) CONDICIONES SOCIALES DE LA PROPUESTA DE LA ZRE	23
B) ACTIVIDADES ECONÓMICAS.....	25
C) ASENTAMIENTOS HUMANOS.....	28
D) TENENCIA DE LA TIERRA	30
E) LITIGIOS ACTUALMENTE EN PROCESO	32
F) USOS DEL SUELO	32
G) USOS DEL AGUA	33
V. INSTITUCIONES QUE HAN REALIZADO PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN LA PROPUESTA DE LA ZRE.....	37
VI. DIAGNÓSTICO.....	39
A) DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS ACCELERADOS DE DESERTIFICACIÓN, DEGRADACIÓN O AFECTACIONES IRREVERSIBLES DE LOS ECOSISTEMAS O SUS ELEMENTOS.....	51

B) IDENTIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS O FENÓMENOS NATURALES QUE CONDUJERON A LA DEGRADACIÓN, TALES COMO: INCENDIOS, INUNDACIONES, PLAGAS Y OTRAS SIMILARES.....	105
C) IDENTIFICACIÓN DE LOS RECURSOS DE MUY DIFÍCIL REGENERACIÓN, QUE SE HAYAN PERDIDO Y QUE PRETENDAN RECUPERARSE O RESTABLECERSE	112
D) RELEVANCIA, A NIVEL REGIONAL Y NACIONAL, DE LOS ECOSISTEMAS A RESTAURAR	124
E) RAZONES QUE JUSTIFIQUEN EL RÉGIMEN DE RESTAURACIÓN.....	126
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	129
VIII. ANEXOS.....	144

I. INTRODUCCIÓN

El Valle del Mezquital es una región con una amplia historia, tiene una cultura arraigada y una economía basada en la agricultura e industria. Este Valle ha sido reconocido como el sitio más importante a nivel nacional en el reúso de aguas residuales en campos de cultivo, y segundo a nivel mundial (García-Salazar, 2020). Estas aguas provienen principalmente de Ciudad de México y del Estado de México que se descargan en el sistema de redes de captación de aguas denominados “Gran Canal del Desagüe”, “Interceptor Poniente”, y “Emisor Central” (Lesser-Carrillo L. *et al.*, 2011).

Como consecuencia de la irrigación de cultivos con agua residual, diversos estudios han reportado la acumulación de metales pesados en el suelo, mismos que migran a los cultivos (Vázquez *et al.*, 2001; Prieto-García *et al.*, 2007; y García *et al.*, 2001); entre ellos destacan el cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), arsénico (As), y mercurio (Hg). Algunos autores consideran que estos metales también están asociados al uso de plaguicidas (Acosta M., 2007).

El Valle también se ha visto afectado por la presencia de la industria cementera, química, metalúrgica, energética y de hidrocarburos, así como por la existencia de basureros y tiraderos a cielo abierto. Este estudio realiza un análisis en ocho municipios del Valle del Mezquital del estado de Hidalgo que son:

Atitalaquia: con una población de 31,525 habitantes (INEGI, 2020), es un municipio con presencia de la industria del petróleo, carbón y, asfalto; así como una central termoeléctrica de ciclo combinado, refinería y un parque industrial (Atitalaquia, 2020).

Atotonilco de Tula: es el noveno municipio de mayor población del estado con 62,470 habitantes, y el de mayor tasa de crecimiento poblacional con 7.4% (INEGI, 2020).

Tepeji del Río de Ocampo: es el octavo municipio con mayor población en Hidalgo, con 90,546 habitantes (INEGI, 2020). En este municipio, está presente la industria alimenticia, textil, química, de plásticos, entre otras manufactureras.

Tepetitlán: cuenta con una población de 10,830 habitantes, con una densidad poblacional de 60.77 habitantes por km² y una tasa de crecimiento media anual de 2.0%. Este municipio se encuentra conformado por 169 unidades económicas (INEGI, 2020).

Tezontepec de Aldama: con una población de 55,134 habitantes (Secretaría de Economía, 2020). Este municipio cuenta con la presencia de 298 unidades económicas dedicadas a la industria manufacturera, además, de un sitio de disposición final de Residuos Sólidos Urbanos (Secretaría de Economía, 2020).

Tlahuelilpan: está conformado por 19,067 habitantes, cuenta con 1,263 unidades económicas registradas a 2021 (Tlahuelilpan, 2020).

Tlaxcoapan: es un municipio con 28,626 habitantes, donde la industria representa el 35.5% de la actividad económica total equivalente a 2,414 unidades económicas (Tlaxcoapan, 2020).

Tula de Allende: el sexto municipio con mayor población en el estado, equivalente a 115,107 habitantes (INEGI, 2020), con una densidad poblacional de 341.4 habitantes por km². Este municipio tiene una economía basada principalmente en la industria cementera y de transformación (energética), y en menor escala en la industria agropecuaria (solo el occidente del municipio), es conocido principalmente por la Planta Cementera Cruz Azul y la Central Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos (PMDUOT, 2020-2024).

II. INFORMACIÓN GENERAL

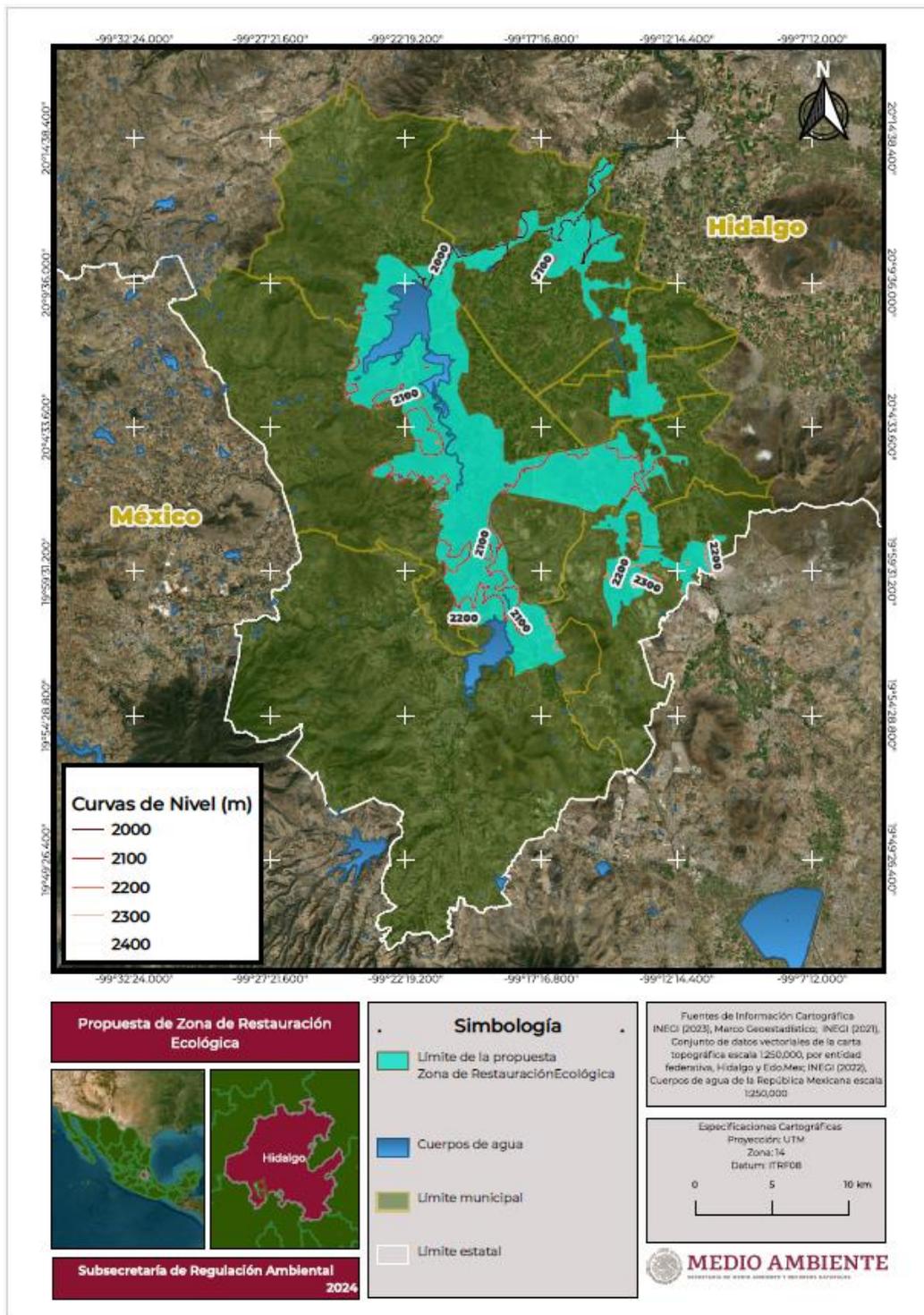
A) NOMBRE DEL ÁREA PROPUESTA

Zona de Restauración Ecológica el Área de Influencia de la Presa Endhó (ZRE).

B) SUPERFICIE

La superficie total de la propuesta de ZRE es de 24,684.28 hectáreas (ha). La mayor proporción se encuentra entre los 2,000 y 2,100 metros sobre nivel del mar (msnm) y en menor proporción hay elevaciones que van de 2,100 a 2,400 msnm. Figura 1.

Figura 1. Curvas de nivel en la propuesta de la ZRE



C) VÍAS DE ACCESO

Las principales vías de comunicación y acceso para llegar a la propuesta de la ZRE se muestran en la Figura 2:

Vías de acceso vehicular a la Zona de Restauración Ecológica			
1	Avenida 16 de Enero	31	Avenida Ignacio Altamirano
2	Avenida 16 de Enero de 1869	32	Avenida Ignacio Zaragoza
3	Avenida 16 de Septiembre	33	Avenida Independencia
4	Avenida 20 de Noviembre	34	Avenida Industrial
5	Avenida 5 de Mayo	35	Avenida Insurgentes
6	Avenida Adolfo López Mateos	36	Avenida Insurgentes Poniente
7	Avenida Amado Nervo	37	Avenida Jacarandas
8	Avenida Azteca	38	Avenida Juan Aldama
9	Avenida Bartolomé Vargas Lugo	39	Avenida Juan de Dios Peza
10	Avenida Benito Juárez	40	Avenida Juandho
11	Avenida Campo Deportivo	41	Avenida La Campana
12	Avenida Cedros	42	Avenida La Herradura
13	Avenida De las Violetas	43	Avenida La Palma
14	Avenida de los Cedros	44	Avenida Melchor Ocampo
15	Avenida Del Canal Requena	45	Avenida Miguel Hidalgo
16	Avenida del Ejido	46	Avenida Morelos
17	Avenida del Ferrocarril	47	Avenida Nicaragua
18	Avenida del Norte	48	Avenida Primero de Mayo
19	Avenida Del Tezontle	49	Avenida Principal
20	Avenida del Trabajo	50	Avenida Reforma

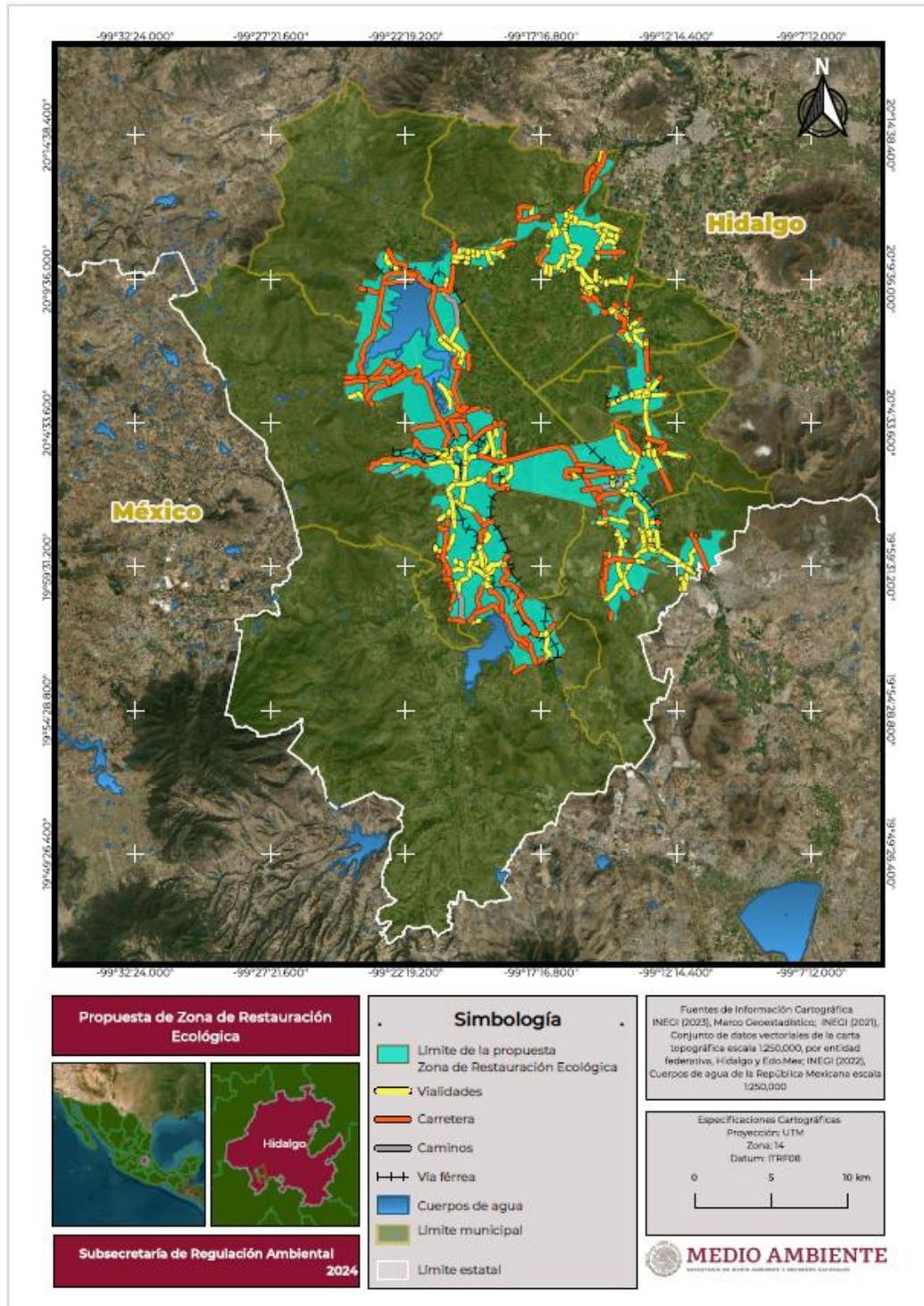
Vías de acceso vehicular a la Zona de Restauración Ecológica			
21	Avenida Emiliano Zapata	51	Avenida Requena
22	Avenida Fernando Soto	52	Avenida Revolución
23	Avenida Ferrocarril Norte	53	Avenida San Francisco
24	Avenida Ferrocarril Sur	54	Avenida Sergio Butrón Casas
25	Avenida Francisco I. Madero	55	Avenida Tecnológico
26	Avenida Francisco Villa	56	Avenida Tula
27	Avenida Fresnos	57	Avenida Universidad
28	Avenida Hidalgo	58	Avenida Venustiano Carranza
29	Avenida Hidalgo (Carretera a Tlaxcoapan)	59	Avenida Vicente Guerrero
30	Avenida Hombres Ilustres	60	Boulevard De los Volcanes

Vías de acceso vehicular a la Zona de Restauración Ecológica:		Acceso vías ferroviarias:	
61	Carretera Atotonilco - Conejos	1	Ferrocarril Mexicano S.A. de C.V.
62	Carretera El Refugio - Atotonilco	2	Ferrosur S.A. de C.V.
63	Carretera Ent. Jorobas - Tula	3	Kansas City Southern de México
64	Carretera Ent. Tepeji del Río - Tlahuelilpan		
65	Carretera Francisco I. Madero - Tula de Allende		
66	Carretera Libramiento Norte de la Ciudad de México		
67	Carretera Libramiento Tula - Santa Teresa		
68	Carretera Los Reyes - El Tephé		

Vías de acceso vehicular a la Zona de Restauración Ecológica:		Acceso vías ferroviarias:
69	Carretera N/D	
70	Carretera Tezontepec Santa María	
71	Carretera Tula - Tepetitlán	
72	Carretera Tula - Tepetitlán (Tula - Chapantongo)	

FUENTE: Elaboración propia, con información del conjunto de datos vectoriales de la carta topográfica escala 1:250 000 por entidad federativa (2021), Hidalgo.

Figura 2. Vías de comunicación y acceso de la propuesta de ZRE



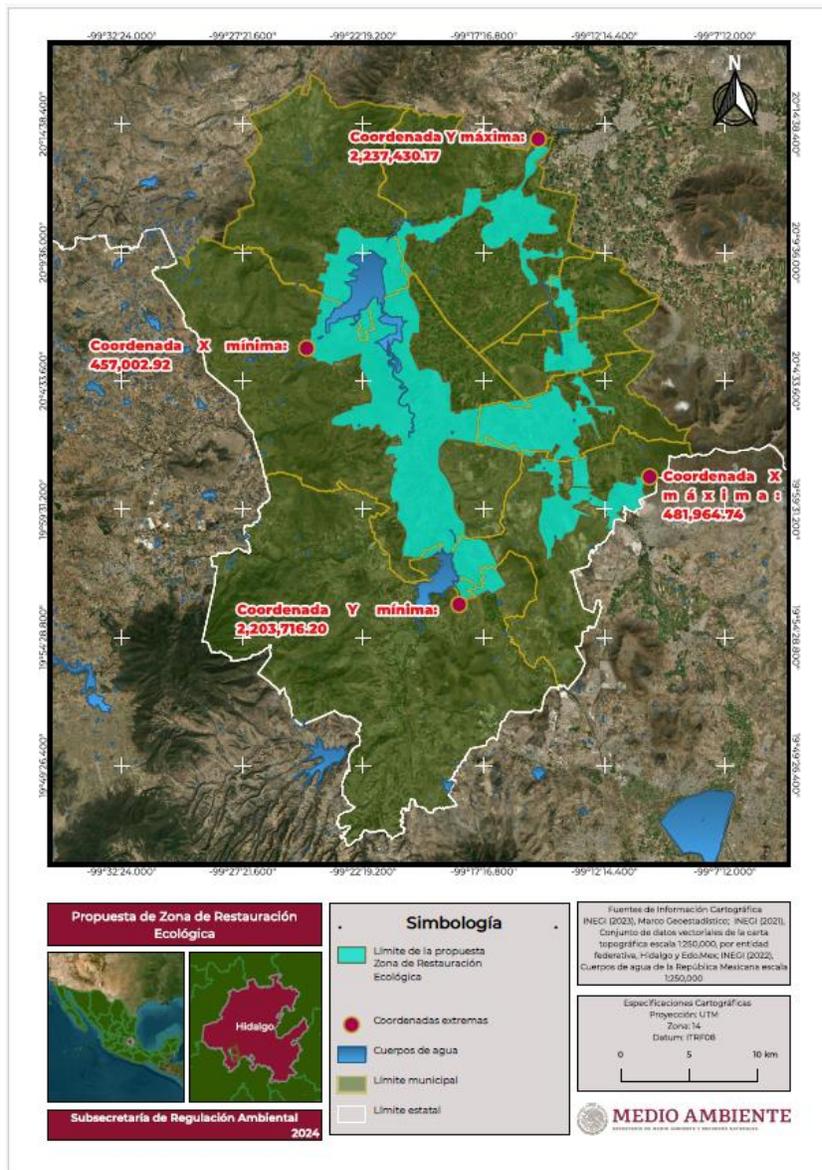
D) MAPA CON LA DESCRIPCIÓN LIMÍTROFE

Las coordenadas extremas de la propuesta de la ZRE (Figura 3), son las siguientes:

Coordenadas	X	Y
Mínima	457,002.92	2,203,716.20
Máxima	481,964.74 N	2,237,430.17

El Cuadro de Construcción se establece en el Anexo 1.

Figura 3. Mapa de la descripción limítrofe de la propuesta de la ZRE



E) NOMBRE DE LAS ORGANIZACIONES, INSTITUCIONES, ORGANISMOS GUBERNAMENTALES O ASOCIACIONES CIVILES PARTICIPANTES EN LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO JUSTIFICATIVO (ETJ)

La presente propuesta fue elaborado por: el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC); la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos (ASEA); el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA); la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA); la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR); la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP); la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA); las Unidades Administrativas de la SEMARNAT: Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas (DGGIMAR) y Dirección General de Industria, Energías Limpias y Gestión de la Calidad del Aire, adscritas a la Subsecretaría de Regulación Ambiental (SRA); Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME);

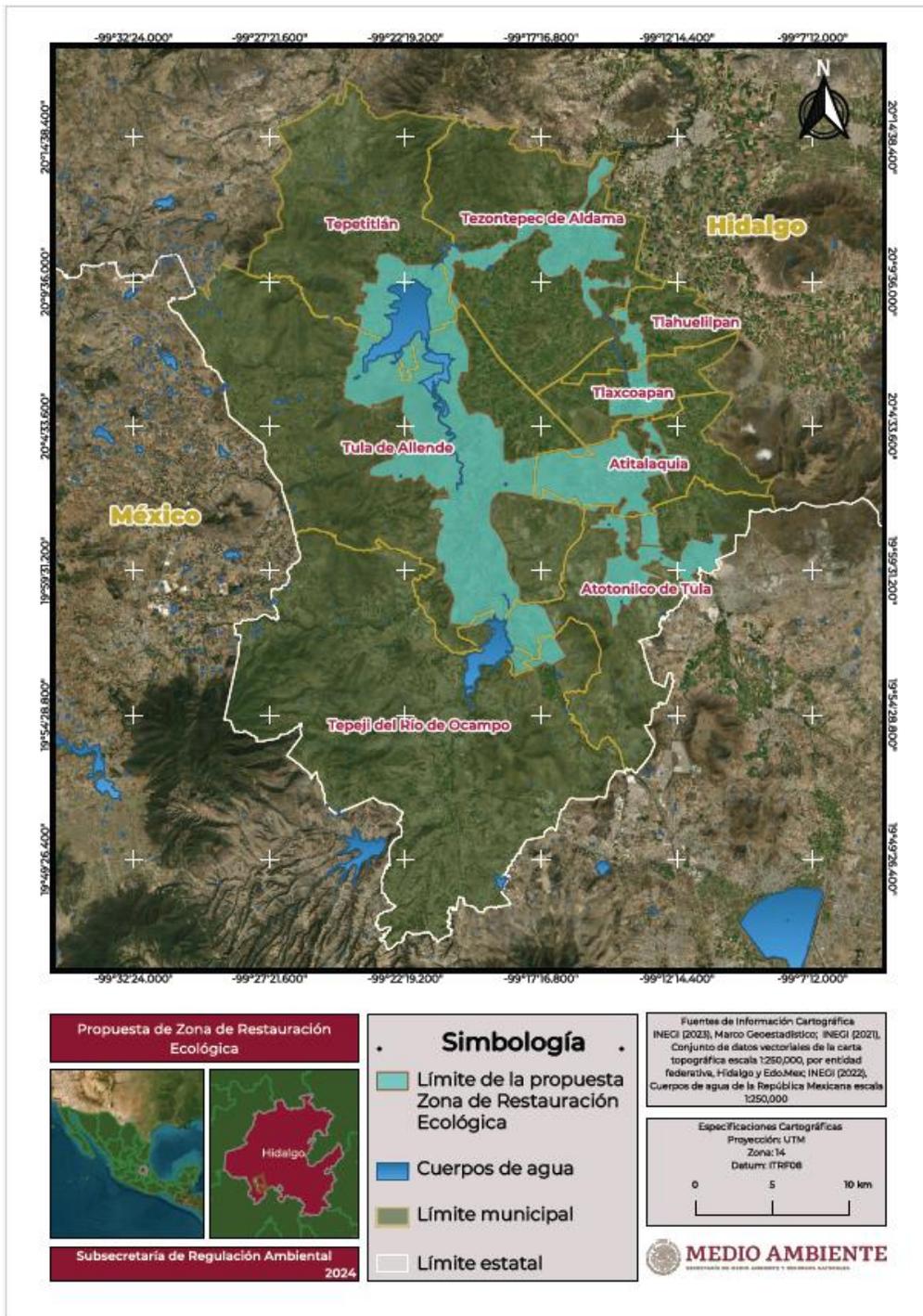
F) ENTIDAD FEDERATIVA Y MUNICIPIOS EN DONDE SE LOCALIZA EL ÁREA

La propuesta de la ZRE se localiza en el estado de Hidalgo, en los municipios de Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tepeji del Río de Ocampo, Tepetitlán, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan, Tula de Allende y Tezontepec de Aldama. Tabla 1, Figura 4.

Tabla 4. Superficie por municipio dentro de la propuesta de la ZRE

Municipio	Superficie (ha)
Atitalaquia	3,081.787
Atotonilco de Tula	3,187.214
Tepeji del Río de Ocampo	380.858
Tepetitlán	2,935.371
Tezontepec de Aldama	3,172.384
Tlahuelilpan	368.890
Tlaxcoapan	822.173
Tula de Allende	10,735.601
Total	24,684.28

Figura 4. Localización de la propuesta de la ZRE



III. DESCRIPCIÓN AMBIENTAL

A) DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

FISIOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA

Los valles de la región son: Mezquital, Actopan, Ixmiquilpan, Alfajayucan-Chapantongo, Ajacuba, y Tepeji del Río. Por su importancia, destaca el Valle del Mezquital, el cual tiene una ligera pendiente hacia el norte y elevación de aproximadamente 1,840 m s.n.m. Se extiende por una superficie de alrededor de 200,000 ha.

Los valles de la región están rodeados por mesetas, cerros y sierras de varios cientos de metros de altura. Las elevaciones topográficas, corresponden a diferentes aparatos volcánicos de composición variable, del Cenozoico y con diferente grado de destrucción y erosión.

Los valles de la región se ubican en el Altiplano Mexicano, dentro de la provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico (ENV), en donde se forma un amplio valle dividido por serranías y cerros separados, este Eje, se caracteriza por planicies construccionales escalonadas o valles fluviales, aluviales y lacustres, poco disectados.

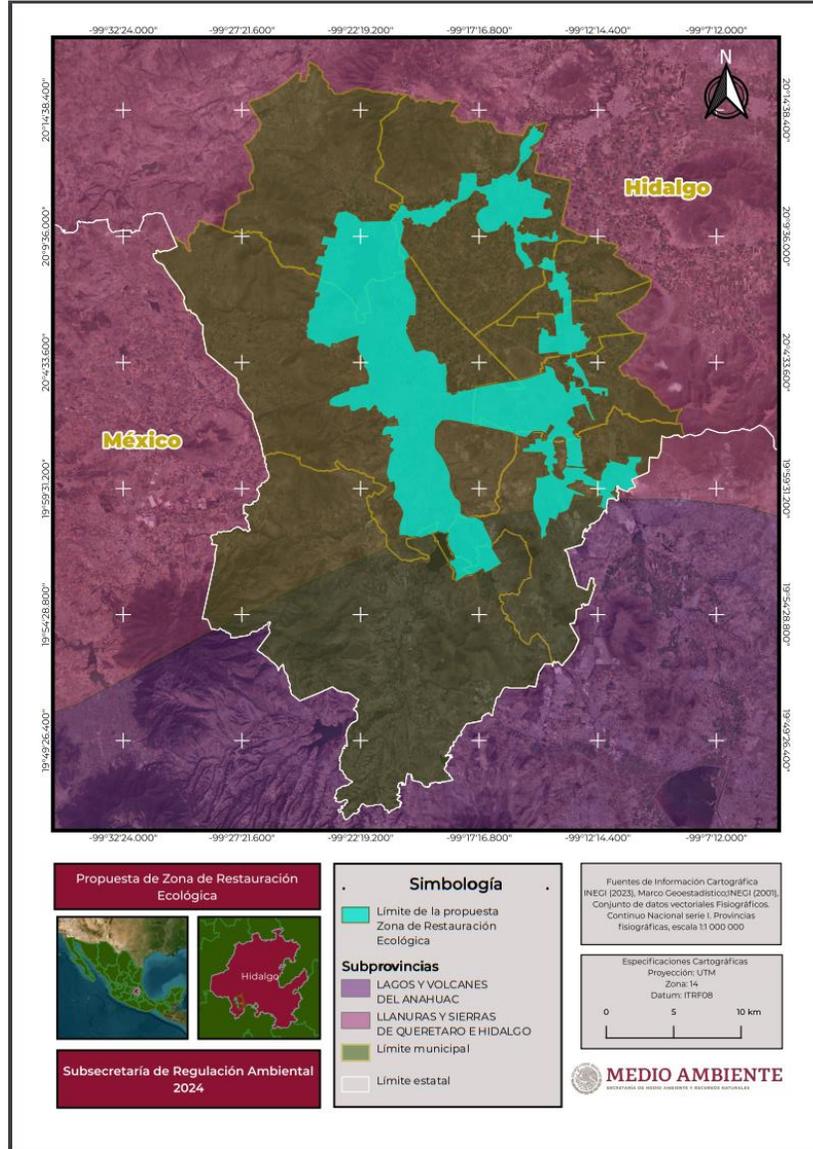
Las elevaciones volcánicas que rodean al Valle del Mezquital son: Al poniente un conjunto de sierras (Las Canoas, El Templo, La Bruja, y La Joya), que alcanzan elevaciones hasta de 3,000 msnm y lo separan del Valle de Alfajayucan –Chapantongo; al sur los lomeríos piroclásticos de la zona de Apaxco y los cerros Zincoque y Jalpan y; al norte la sierra de Xinthé que lo separa del Valle de Ixmiquilpan. El Valle de Ajacuba está rodeado por mesetas lávicas de los cerros Los Pechitos, El Corrión, Mexe y Chinfi. El Valle de Actopan está limitado al poniente por la Sierra de Actopan y la Sierra de Pachuca y, al sur por los cerros Chinfi y la Cantera. (IMTA, 2022).

El Valle del Mezquital está situado en una depresión geográfica, lo que le confiere un clima semiárido. El río Tula atraviesa este valle y es una de las principales fuentes de agua, así como los ríos San Juan Alfajayucan, Arroyo Zarco, Rosas, Salado, Tecozautla, Tlautla, y Actopan (López F. y Fourier P., 2009).

El Valle de Mezquital se localiza entre la Sierra Madre Oriental, así como la Faja Volcánica Transmexicana y el gran Altiplano Mexicano. Estas características geográficas han propiciado la existencia de una gran variedad de ecosistemas, y una amplia población de especies de plantas y animales en el estado (CONABIO, 2017).

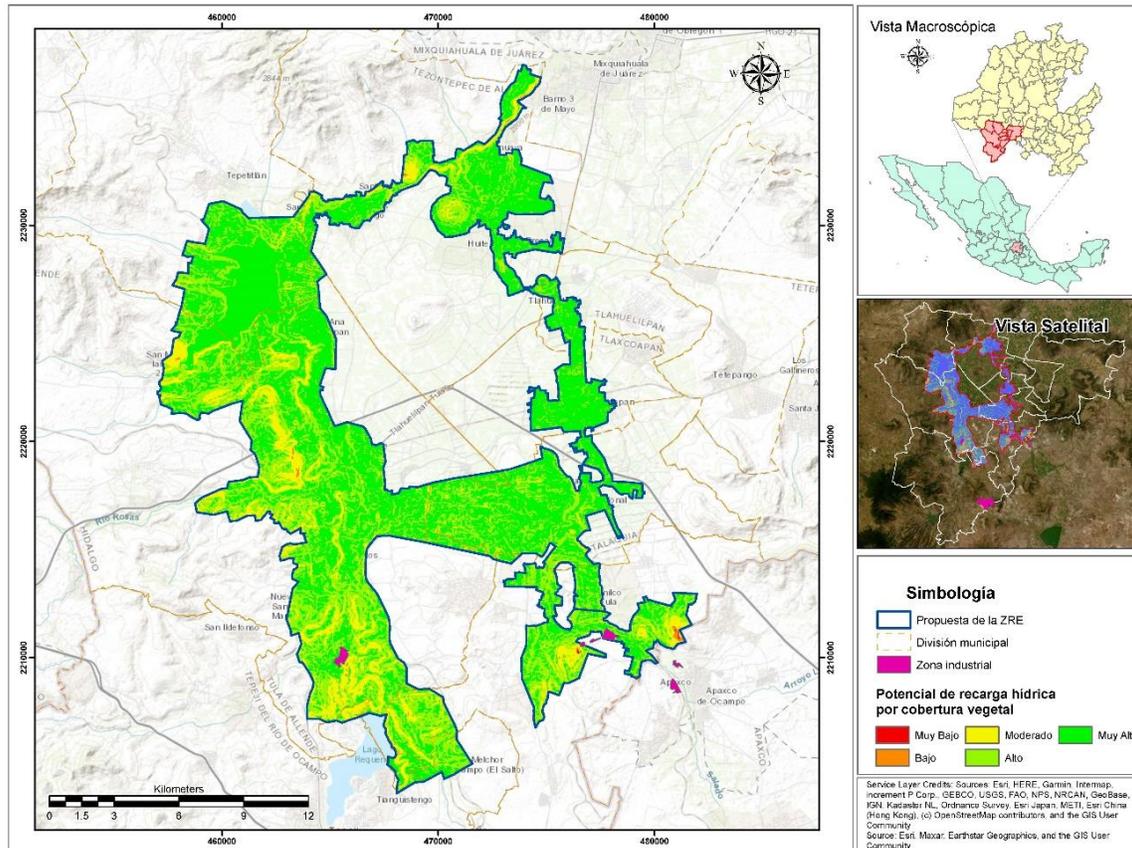
La propuesta de la ZRE se encuentra entre la subprovincia fisiográfica: “Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo”, que ocupa principalmente la cuenca hidrológica de la presa Endhó en un 83% y la subprovincia fisiográfica “Lagos y Volcanes del Anáhuac”, en las cuencas de Requena y Cuautitlán. Figura 5.

Figura 5. Provincias fisiográficas de la propuesta de ZRE



La propuesta de la ZRE presenta un relieve casi plano con una pendiente que va de 0% a 6% en inclinación con una posibilidad de recarga muy alta, es decir, la zona casi en su totalidad presenta una geomorfología de valle o llanuras, de color amarillo se presentan zonas de potencial de recarga moderada con un relieve de tipo ondulado que va de 15% a 45% de inclinación con una geomorfología de colinas y mesetas. De color rosa se presenta la zona industrial, ubicada en una pendiente baja. Figura 6.

Figura 6. Pendientes reclasificadas de la propuesta de la ZRE



FUENTE: Elaboración propia con datos de CONAFORI

GEOLOGÍA

Al norte centro y este, de la propuesta de la ZRE, la geología superficial, se caracteriza por la presencia de rocas volcánicas extrusivas ácidas e intermedias, de origen Terciario y Cuaternario, compuestas por las formaciones de Don Guinyó², Fm Pachuca³ y Basaltos del Cuaternario⁴. Estas últimas rocas afloran en el río Tula siguiendo la aparente trayectoria de una falla geológica normal.

¹ Los mapas elaborados con datos de CONAFOR, fueron generados por la Promotoría de Desarrollo Forestal de Hidalgo, con base en la ejecución de apoyos derivados de las convocatorias respectiva.

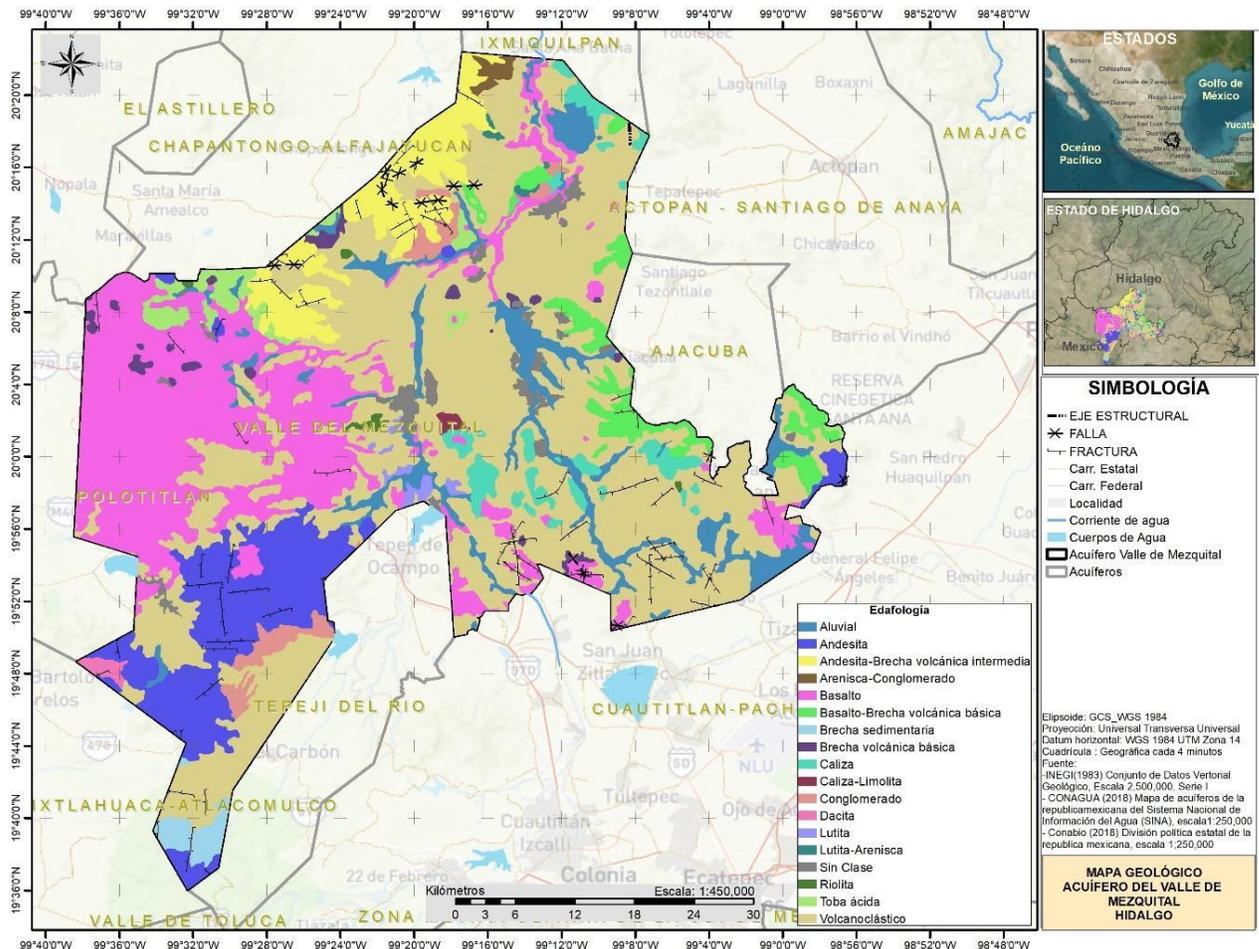
² El Léxico estratigráfico de México propone este nombre para referirse a las tobas y brechas presentes entre los poblados de Ixmiquilpan y Huichapan, Hidalgo (Servicio Sismológico Mexicano, 2009)

³ El Léxico estratigráfico de México propone informalmente esta unidad como formación Pachuca, se trata de un cuerpo clástico tobáceo formado por material bien estratificado y litificado, (Servicio Sismológico Mexicano, 2009)

⁴ El basalto es la roca ígnea extrusiva más común, afanítica, de grano fino y de color verde oscuro a negro, compuesta fundamentalmente por piroxeno (máfica) y plagioclasa rica en calcio con cantidades menores de olivino y anfíbol, (Tarbuck, E. J.; Lutgens, F. K., y Tasa, D., 2005)

Por otro lado, al sur de la propuesta de ZRE, en un alto estructural cerca de la zona de Tula, afloran rocas calizas masivas compuestas por grandes estratos, pertenecientes a la Formación "El Doctor" y que son consideradas como el basamento del acuífero terciario del Valle del Mezquital (CONAGUA, 2013). Figura 7.

Figura 7. Mapa geológico de la propuesta de ZRE



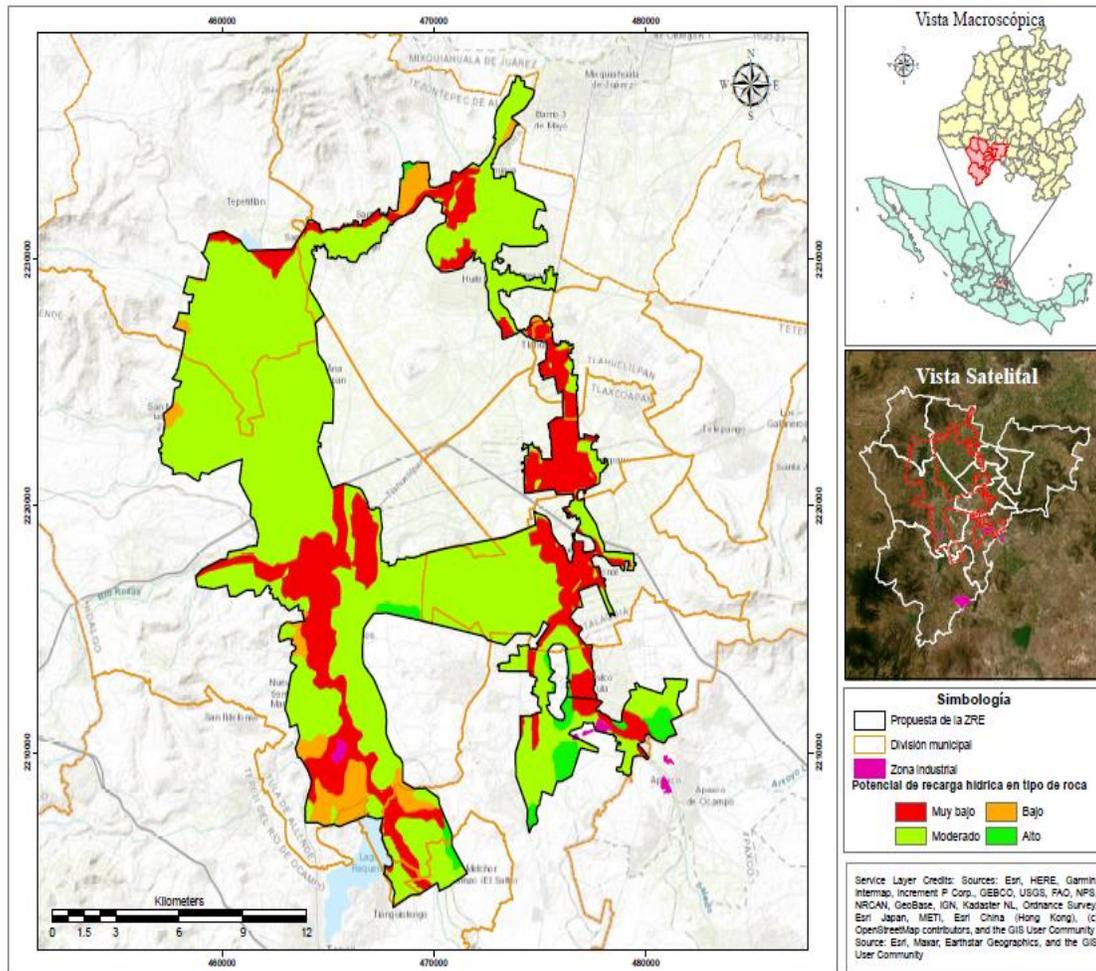
En la propuesta de la ZRE, se localizaron rocas aluviales que pertenecen al Periodo Cuaternario, son suelos sedimentarios formados por materiales transportados por diferentes agentes de erosión de agua y aire, este tipo de litología se encuentra principalmente en las llanuras, es una combinación entre gravas con arcillas, provocando una permeabilidad muy baja. Las rocas encontradas son:

- Andesita y andesita-brecha volcánica, son rocas ígneas extrusivas que pertenecen al Periodo Neógeno, son rocas de composición intermedia con texturas porfídicas con partículas muy finas sin presencia de fracturas, con una permeabilidad baja.

- Basalto y basalto-brecha volcánica básica, son rocas ígneas extrusivas pertenecientes al Periodo entre el Cuaternario y Neógeno, presentan un grano fino con conexiones entre sus poros, por lo cual se le atribuye una permeabilidad moderada.
- Brecha volcánica básica, es una roca ígnea extrusiva del Neógeno, son conglomerados formados por una fracción de clastos de tamaños >2mm de diámetro, son rocas poco permeables con presencia de fracturas interconectadas, de permeabilidad baja.
- Caliza y caliza-limolita, tienen una dureza muy blanda su mineral principal es el calcio, es importante en la producción de fertilizantes, metales, entre otras cosas, presenta diferentes tipos de texturas, por lo cual, los procesos de disolución las hacen muy porosas y permeables con poca cementación, otorgándole una permeabilidad alta.
- Conglomerado, es una roca ígnea extrusiva perteneciente al Neógeno, se conforma de distintos fragmentos de otras rocas más grandes, presenta una matriz de sedimentos con grano fino, tiene una permeabilidad con poros intercalados, con posibilidad de recarga alta.
- Lutita, es una roca sedimentaria del Neógeno, formada de sedimentos muy finos de arcillas, a comparación del conglomerado, tiene una permeabilidad promedio más baja.
- Riolita, es una roca ígnea extrusiva del Neógeno, de grano fino, presenta una permeabilidad baja.
- Toba ácida, perteneciente al Neógeno, es una roca porosa que se formó por la acumulación de cenizas, lo cual la hace una roca poco permeable.

En la Figura 8 se presentan en color rojo los polígonos con potencial de recarga muy bajo conformados por rocas que no tienen buena permeabilidad, de color naranja los de potencial de recarga baja y rocas con poca permeabilidad, lo que hace que su infiltración sea muy lenta, de color verde los de potencial de recarga moderado. Por su parte el color verde representa las áreas con mayor potencial de recarga hídrica considerando el tipo de pendiente.

Figura 8. Mapa de tipo de roca reclasificada para microcuencas



TIPOS DE SUELOS

Del análisis de mapas respecto a sus elementos biofísicos de pendiente y micro relieve, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso del suelo, se encontró que los tipos de suelo predominantes en la propuesta de la ZRE son:

- Luvisol, suelo que tiene un incremento de acumulación de arcilla en el subsuelo; tiene un horizonte Árgico, el cual tiene arcillas de alta actividad y alta saturación de bases a ciertas profundidades (INEGI, 2016)⁵. Los Luvisol Crómico muestran una capacidad de infiltración moderada, los luvisoles tienen un alto contenido en arcilla con textura media, son fértiles y apropiados para el uso de agricultura por

⁵ INEGI. Diccionario de Datos Edafológicos. Escala 1:250 000 (versión 4). 2016. Disponible en línea: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825092023.pdf

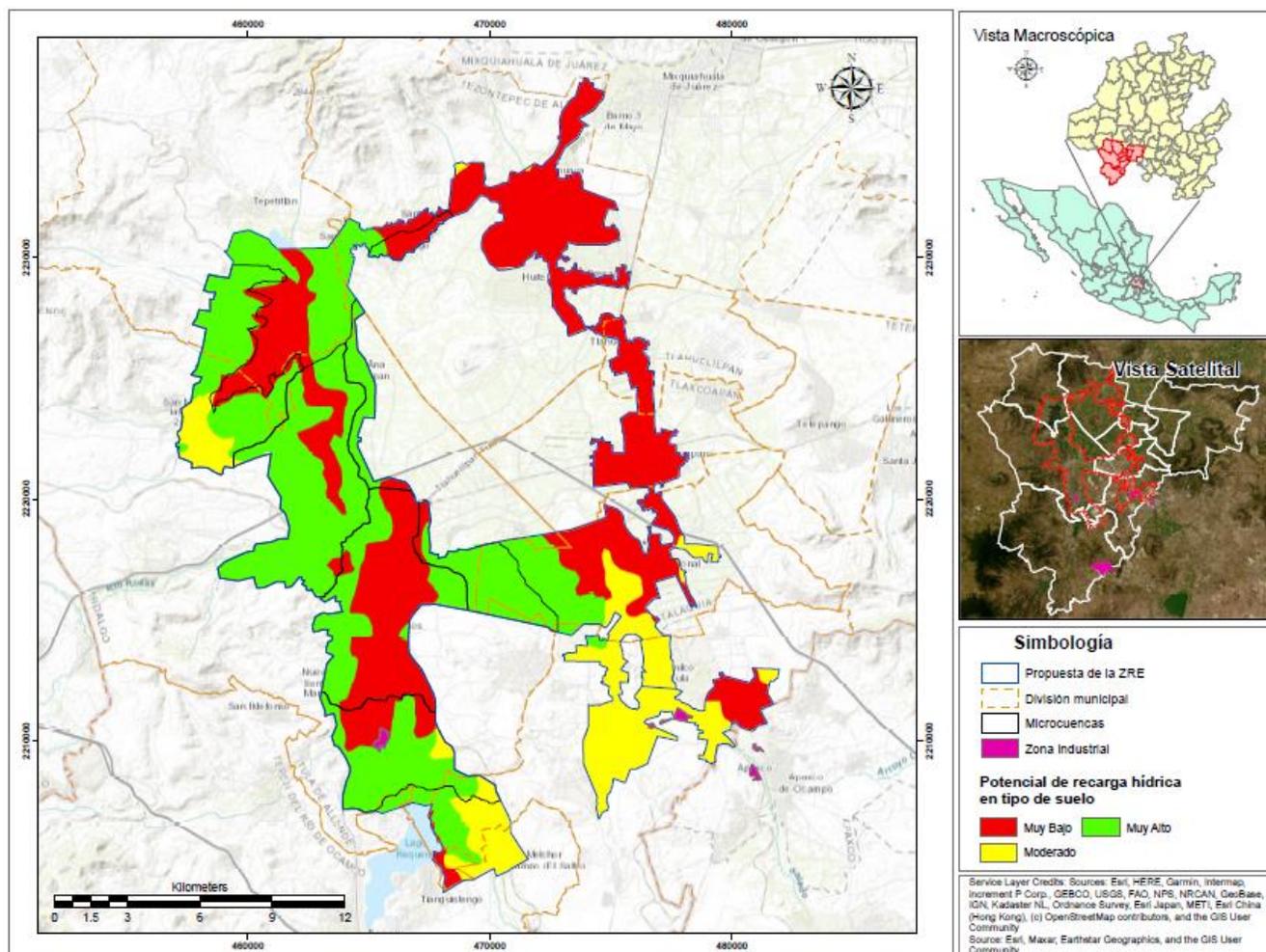
su contenido en limo. Los suelos tipo Litosol tienen una capacidad de infiltración de agua baja;

- Planosol, suelo con un horizonte superficial de textura gruesa abruptamente sobre un subsuelo denso y de textura más fina, típicamente en tierras planas estacionalmente inundada (INEGI, 2016);
- Feozem, (o Phaeozem) suelo oscuro rico en materia orgánica, alta saturación de bases, poroso, fértil y es excelente tierra agrícola, (INEGI, 2016). Los suelos tipo Feozem, se encuentran principalmente en pastizales relativamente húmedos y en regiones forestales, tienen un horizonte superficial en humus como la de pastos altos y/o bosques, de igual manera pueden o no tener carbonatos;
- Andosol, suelos originados a partir de vidrio volcánico bajo casi cualquier clima; pueden desarrollarse en otros materiales ricos en silicatos bajo meteorización ácida en climas húmedos (INEGI, 2016).
- Por otra parte, el Vertisol Pélico se conforma de arcillas que tienen potencial en agricultura para el pastoreo y quema de carbono; con capacidad de infiltración muy baja.

En la Figura 9, se observa en color amarillo la presencia de un suelo franco limosos con granulometrías, que van de medianos a finos y tienen una capacidad de filtración que va de 2-12.7 cm/h, por lo cual la posibilidad de recarga es moderada, sin embargo, de lado derecho se presenta de color rojo los suelos arcillosos, que son suelos muy pesados en cuanto a su materia ya que se conforma de partículas finas, se encuentran compactados y por esta razón la filtración es muy lenta, menos de 0.13 cm/h por lo que la posibilidad de recarga es muy baja.

Los suelos en color rojo son de tipo Feozem Calcárico, con una capacidad de recarga muy baja ya que no permite la infiltración; en color amarillo son suelos tipo Feozem Háptico, que tiene una posibilidad de infiltración moderada; y por último en color verde, suelos tipo Feozem Lúvico, con una buena capacidad de infiltración.

Figura 9. Mapa de tipo de suelo reclasificado de la propuesta de la ZRE



FUENTE: Elaboración propia con datos de CONAFOR⁶

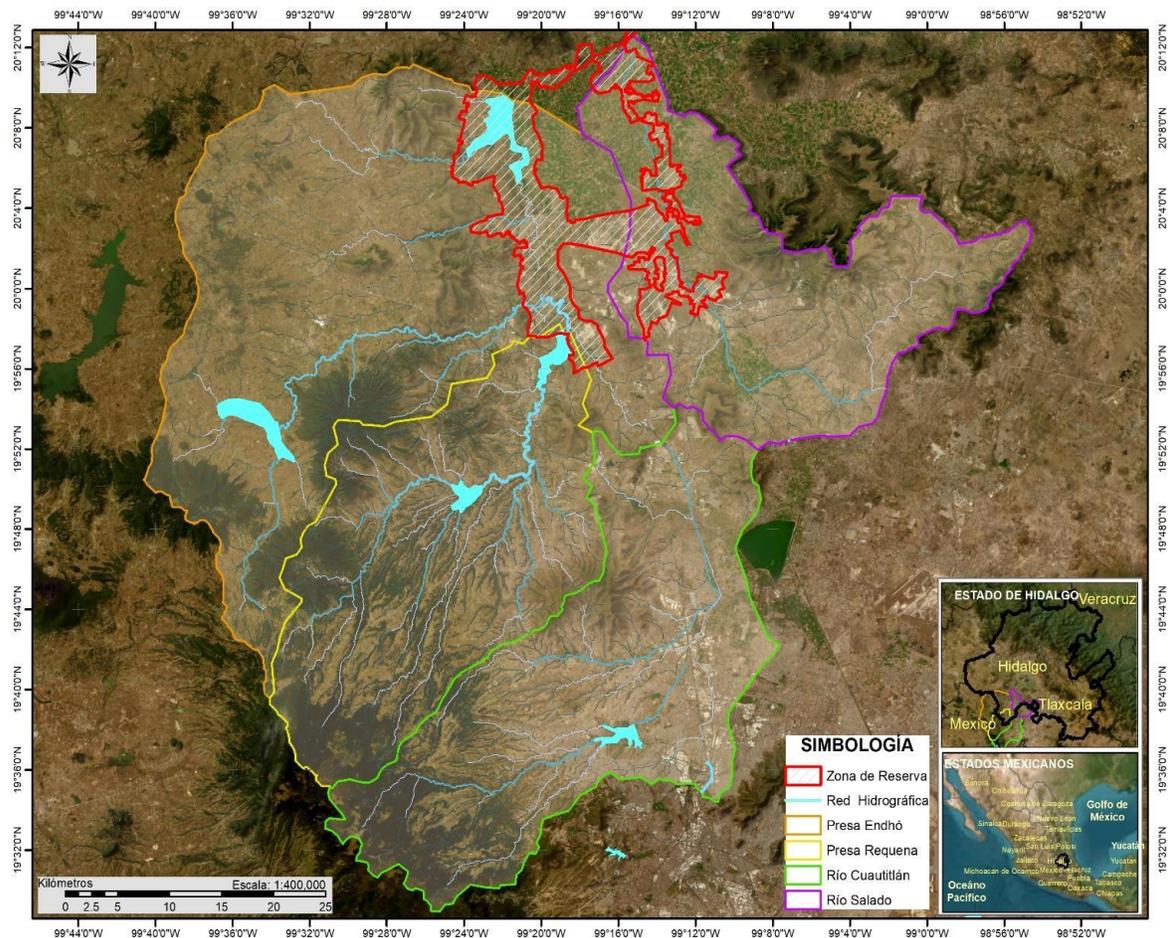
HIDROLOGÍA

Conforme al “Acuerdo por el que se dan a conocer los límites de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 27 de mayo de 2016 (DOF, 2016), se consideran las siguientes cuencas hidrológicas, las cuales tienen influencia en la propuesta de la ZRE:

⁶ Los mapas elaborados con datos de CONAFOR, fueron generados por la Promotoría de Desarrollo Forestal de Hidalgo, con base en la ejecución de apoyos derivados de las convocatorias respectiva.

- Río Salado (2674), la cuenca comprende desde los túneles de Tequixquiac hasta la confluencia del río Salado con el río Tula, con una superficie de aportación de 671.3 ha;
- Río Cuautitlán (2671), la cuenca incluye desde el nacimiento de varios arroyos que conforman el río Cuautitlán y su afluente el río Tepotzotlán, hasta su confluencia con el río Tula, con una superficie de aportación de 83,250 ha;
- Presa Requena (2672), la cuenca comprende desde el nacimiento del río Tepeji, hasta la presa Requena, con una superficie de aportación de 75,860 ha; y
- Presa Endhó (2673), cuenca que se conforma desde el nacimiento de varios arroyos en el cerro La Lechuguilla, la presa Requena y la confluencia del río Cuautitlán con el río Tula, hasta la presa Endhó; con una superficie de aportación de 135,600 ha. Figura 10

Figura 10. Ubicación de la propuesta de la ZRE. Red hidrográfica y Cuencas hidrográficas



FUENTE: INEGI 2008

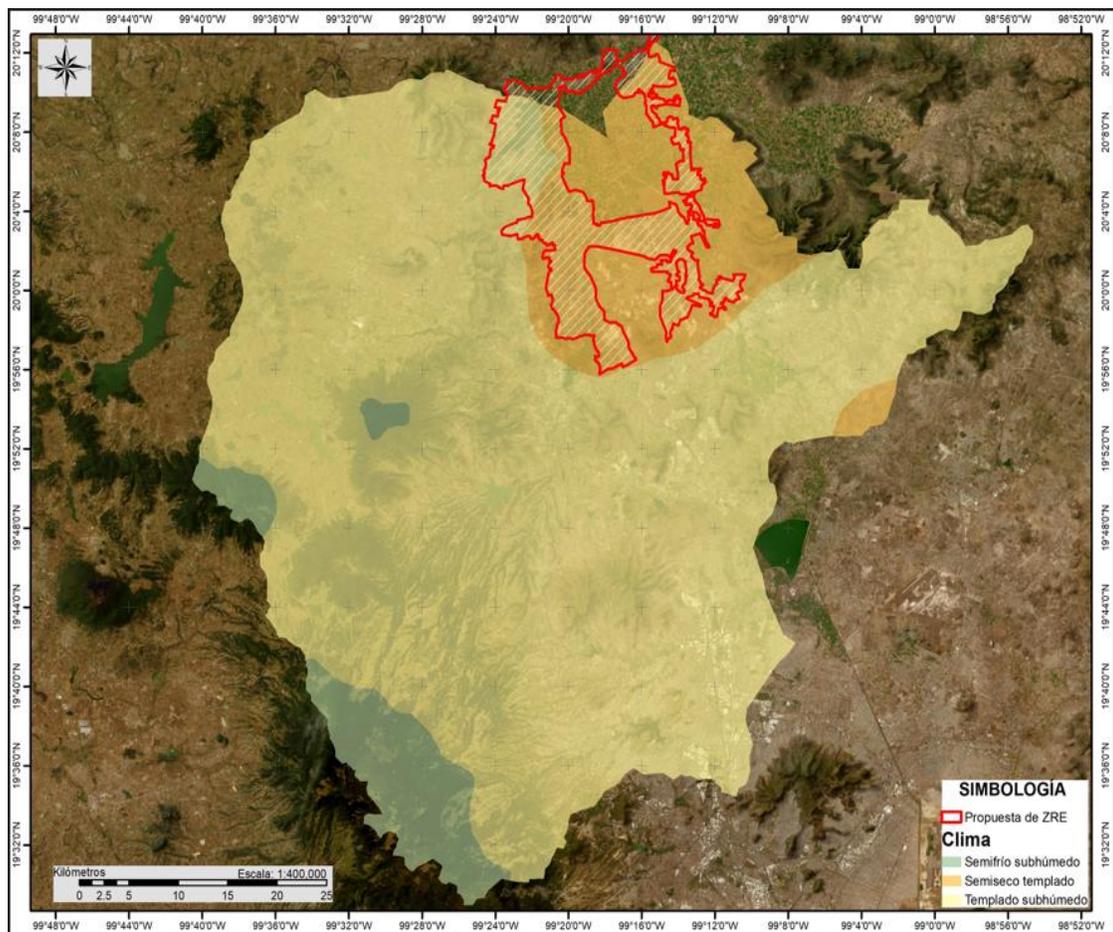
Se detectó que la propuesta de la ZRE incide en una superficie aproximada de 1,261.55 ha, dentro de las cuencas en estudio.

CLIMA

En Hidalgo, se pueden diferenciar notablemente las zonas cálidas que se encuentran en la región de la Huasteca, así como las templadas en las regiones Serranas, por lo que las partes más frías se ubican en el centro y sur como es el caso del Valle del Mezquital (UAEH, 2013).

Los climas predominantes en el Valle del Mezquital, sitio donde se ubica la propuesta de ZRE corresponden al tipo templado subhúmedo, semiseco templado, y semifrío subhúmedo. Asimismo, conforme el relieve, a medida que disminuye la elevación, el clima cambia a semiseco templado. En contraste, conforme la altitud aumenta, el clima cambia al semifrío subhúmedo. En el Valle del Mezquital, los veranos suelen tener temperaturas máximas que pueden superar los 35 °C, y los inviernos son más frescos, con temperaturas mínimas promedio alrededor de los 10 °C. Figura 11.

Figura 11. Unidades climáticas en la propuesta de la ZRE



FUENTE: INEGI, 2008

La propuesta de la ZRE comparte superficie con ocho municipios, a continuación, se describe el clima de estos:

1. Atitalaquia

Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 6 °C a 27 °C y rara vez baja a menos de 2 °C o sube a más de 30 °C. La precipitación se presenta aproximadamente una duración de 4.3 meses (finales de mayo a inicios de octubre), con una probabilidad de más del 39 % de que llueva, y una media de 118mm; mientras que la temporada seca dura alrededor de 7.7 meses (octubre a mayo) con lluvia en promedio de 5mm. La velocidad promedio del viento por hora en Atitalaquia tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año, varía entre 11.6Km/h a 9.4Km/h. (Weather Spark, s/f).

2. Atotonilco de Tula

Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 5 °C a 26 °C. La precipitación se presenta aproximadamente con una duración de 4.3 meses (finales de mayo a inicios de octubre), con una probabilidad de más del 39 % de que llueva, y una media de 117mm; mientras que la temporada seca dura alrededor de 7.7 meses (octubre a mayo) con lluvia en promedio de 5mm. La velocidad promedio del viento por hora, tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año, varía entre 11.7Km/h a 9.5Km/h. (Weather Spark, s/f).

3. Tepeji del Río de Ocampo

Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 5 °C a 27 °C. La precipitación se presenta aproximadamente una duración de 4.3 meses (finales de mayo a inicios de octubre), con una probabilidad de más del 38 % de que llueva, y una media de 108mm; mientras que la temporada seca dura alrededor de 7.7 meses (octubre a mayo) con lluvia en promedio de 3mm. La velocidad promedio del viento por hora, tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año, varía entre 11.1Km/h a 9.0Km/h. (Weather Spark, s/f).

4. Tepetitlán

Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 6 °C a 27 °C. La precipitación se presenta aproximadamente una duración de 4.3 meses (finales de mayo a inicios de octubre), con una probabilidad de más del 37 % de que llueva, y una media de 106mm; mientras que la temporada seca dura alrededor de 7.7 meses (octubre a mayo) con lluvia en promedio de 4mm. La velocidad promedio del viento por hora, tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año, varía entre 11.8Km/h a 9.6Km/h. (Weather Spark, s/f).

5. Tezontepec de Aldama

Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 6 °C a 27 °C. La precipitación se presenta aproximadamente una duración de 4.4 meses (finales de mayo a inicios de octubre), con una probabilidad de más del 37 % de que llueva, y una media de 115mm; mientras que la temporada seca dura alrededor de 7.6 meses (octubre a mayo) con lluvia en promedio de 5mm. La velocidad promedio del viento por hora, tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año, varía entre 11.7Km/h a 9.4Km/h. (Weather Spark, s/f).

6. Tlahuelilpan

Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 6 °C a 27 °C. La precipitación se presenta aproximadamente una duración de 4.4 meses (finales de mayo a inicios de octubre), con una probabilidad de más del 39 % de que llueva, y una media de 118mm; mientras que la temporada seca dura alrededor de 7.6 meses (octubre a mayo) con lluvia en promedio de 5mm. La velocidad promedio del viento por hora, tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año, varía entre 11.6Km/h a 9.3Km/h. (Weather Spark, s/f).

7. Tlaxcoapan

Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 6 °C a 27 °C. La precipitación se presenta aproximadamente una duración de 4.3 meses (finales de mayo a inicios de octubre), con una probabilidad de más del 39 % de que llueva, y una media de 118mm; mientras que la temporada seca dura alrededor de 7.7 meses (octubre a mayo) con lluvia en promedio de 5mm. La velocidad promedio del viento por hora, tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año, varía entre 11.6Km/h a 9.4Km/h. (Weather Spark, s/f).

8. Tula de Allende

Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 6 °C a 27 °C. La precipitación se presenta aproximadamente una duración de 4.3 meses (finales de mayo a inicios de octubre), con una probabilidad de más del 37 % de que llueva, y una media de 107mm; mientras que la temporada seca dura alrededor de 7.7 meses (octubre a mayo) con lluvia en promedio de 4mm. La velocidad promedio del viento por hora, tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año, varía entre 12.0Km/h a 9.7Km/h. (Weather Spark, s/f).

IV. ASPECTOS SOCIECONÓMICOS

A) CONDICIONES SOCIALES DE LA PROPUESTA DE LA ZRE

1.1 POBLACIÓN

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en los ocho municipios que comprende la propuesta de la ZRE se tiene una población total de 413,305 habitantes; 51.3% de mujeres y 48.7% de hombres. La propuesta de la ZRE tiene una población total de 256,338 habitantes de los cuales 51 % son mujeres y 49% hombres. Lo integra un total de 101 localidades; rurales (73) y urbanas (28). Por municipio es el siguiente:

- Atitalaquia: 31,359 habitantes, 51% mujeres y 49% hombres, abarca 10 localidades
- Atotonilco de Tula: 27,656 habitantes, 52% mujeres y 48% hombres, abarca 11 localidades
- Tepeji del Río de Ocampo: 5,611 habitantes, 50% mujeres y 50% hombres, abarca una localidad
- Tepetitlán: 5,050 habitantes, 52% mujeres y 48% hombres, abarca ocho localidades
- Tezontepec de Aldama: 51,516 habitantes, 51% mujeres y 49% hombres, abarca 21 localidades
- Tlahuelilpan: 13,606 habitantes, 51% mujeres y 49% hombres, abarca 4 localidades
- Tlaxcoapan: 22,679 habitantes, 51% mujeres y 49% hombres, abarca dos localidades
- Tula de Allende: 98,861 habitantes, 52% mujeres y 48% hombres, abarca 44 localidades.

De acuerdo con el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), en 2020, en Hidalgo, el 50.8% de su población se encontraba en situación de pobreza, 38.4% en pobreza moderada y 8.1% en extrema pobreza. La población vulnerable por carencias sociales fue de 26.8%, por vulnerabilidad en los ingresos de 6.5%. Además, se registró un rezago educativo de 18.9%, en temas de acceso a los servicios de salud 69.7% cuenta con este servicio, y 30.12% no tienen seguridad social.

De acuerdo con datos del Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas (INPI), dentro los ocho municipios se localizan cuatro comunidades indígenas.

1.2 INDICADORES SOCIOECONÓMICOS

Las variables socioeconómicas, así como los conceptos de pobreza y de estilo de vida, son parte del conjunto de dimensiones de la desigualdad. Hidalgo con riqueza natural sigue siendo una entidad atrasada en lo relativo a los niveles de bienestar. En 2020, de acuerdo con el CONEVAL, los ocho municipios citados anteriormente presentaron las siguientes características socioeconómicas (Tabla 2).

1.2.1 INDICADOR DE POBREZA

Tlahuelilpan (50.2%), Tlaxcoapan (54.5%) y Tezontepec de Aldama (55.1%) tienen más del 50% de población en situación de pobreza. Mientras que Tepetitlán (42%), Tepeji del Río de Ocampo (32.3%), Atotonilco de Tula (32.9%), Atitalaquia (29%), y Tula de Allende (27.8%) tienen los menores porcentajes.

1.2.2 INDICADOR DE POBREZA EXTREMA

Tezontepec de Aldama (5.3%), y Tlaxcoapan (5.2%) tienen los porcentajes altos con población en situación de pobreza extrema en comparación con los municipios de Atitalaquia (1.4%), Tula de Allende (1.6%), Atotonilco de Tula (2.9%), Tepeji del Río Ocampo (3.4%), Tlahuelilpan (3.7%) y Tepetitlán (4%).

1.2.3 REZAGO EDUCATIVO

En cuanto al rezago educativo los ocho municipios están por debajo del 50%, de menor a mayor es el siguiente: Atitalaquia (9.9%), Atotonilco de Tula (10.2%), Tula de Allende (11.3%), Tlahuelilpan (13.1%), Tlaxcoapan (14.3%), Tezontepec de Aldama (14.6%), Tepeji del Río de Ocampo (15.4%), y Tepetitlán (15.7%).

1.2.4 ACCESO SEGURIDAD SOCIAL

Más del 50% de la población de cada uno de los ocho municipios tiene carencia a acceso a la seguridad social, siendo Tepetitlán (88.4%), Tezontepec de Aldama (84.6%), y Tlahuelilpan (82.3%) los de mayor porcentaje, seguido de Tlaxcoapan (79.6%), Tula de Allende (64.8%). Atotonilco de Tula (64.3%), Tepeji del Río de Ocampo (63.7%), y Atitalaquia

Tabla 2. Indicadores socioeconómicos de los ocho municipios de Hidalgo. México 2010:2020 (%)

Municipio/ año	Pobreza			Pobreza extrema			Rezago educativo			Carencia por acceso a la seguridad social		
	2010	2015	2020	2010	2015	2020	2010	2015	2020	2010	2015	2020
Atitalaquia	35.5	35.5	29.0	4.6	2.8	1.4	16.7	13.5	9.9	64.4	66.6	59.4
Atotonilco de Tula	34.8	27.7	32.9	3.0	2.1	2.9	14.8	13.1	10.2	64.6	66.8	64.3
Tepeji del Río de Ocampo	42.3	33.8	32.3	6.5	3.7	3.4	22.4	15.6	15.4	73.8	66.5	63.7
Tepetitlán	50.8	42.4	42.0	10.2	5.2	4.0	24.9	17.2	15.7	90.2	85.7	88.4
Tezontepec de Aldama	59.5	60.0	55.1	10.1	9.4	5.3	24.5	16.8	14.6	88.6	87.9	84.6
Tlahuelilpan	63.1	55.1	50.2	9.9	7.1	3.7	22.9	16.3	13.1	89.2	81.4	82.3

Tlaxcoapan	59.7	57.7	54.5	10.9	4.9	5.2	22.0	15.9	14.3	83.4	82.1	79.6
Tula de Allende	41.8	27.8	27.8	7.8	2.4	1.6	18.4	12.5	11.3	70.7	67.9	64.8

FUENTE: Elaboración propia con información de CONEVAL

B) ACTIVIDADES ECONÓMICAS

En 2022, el Producto Interno bruto (PIB) nacional a precios de mercado fue de \$29,452,832 millones de pesos corrientes; el estado de Hidalgo contribuyó con el 1.7%. Durante 2022, el PIB nacional registró una variación anual de 3.9% en términos reales, con relación a 2021, para Hidalgo esta variación también fue positiva en 11%⁷. La inversión extranjera en la entidad en 2023 fue de \$4.8 mil millones de pesos, estas principalmente provienen de Estados Unidos de América (\$1.31 mil millones de pesos), Canadá (\$1.02 mil millones de pesos) y Brasil (1.02 mil millones de pesos).

La agricultura es una de las principales actividades económicas en la entidad, se practica la agricultura de temporal, aprovechando las lluvias estacionales y se cultivan diversos productos, como maíz, frijol, alfalfa, calabaza, chiles, y frutas, especialmente tunas y xoconostles. (López F., 2009). En 2022, en los ocho municipios registraron un valor de la producción de maíz grano de \$515, 705,443.51, alfalfa verde de \$252,274,412.79, frijol de \$12,938,508.64 y ejote de \$12,094,094⁸.

De acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas del INEGI de 2023, se tiene un total de 16,019 unidades económicas en la propuesta de la ZRE; Tula de Allende (39.07%), Tezontepec de Aldama (17.50%), Tlaxcoapan (13.04%), Atotonilco de Tula (11.45%), Atitalaquia (10.36%), Tlahuelilpan (7.06%), Tepeji del Río de Ocampo (1.50%), y Tepetitlán (0.01%).

La actividad con mayor participación en la propuesta de la ZRE es el comercio al por menor: Tula de Allende (40%), Tezontepec de Aldama (51%), Tlaxcoapan (46%), Atotonilco de Tula (41%), Atitalaquia (42%), Tlahuelilpan (45%), Tepeji del Río de Ocampo (52%), y Tepetitlán (50%) de acuerdo con el Sistema de Clasificación del Sistema Nacional de América del Norte (SCIAN). De manera global, le siguen las actividades de Otros servicios excepto actividades gubernamentales (15%), Servicios de alojamiento temporal (11.9%) y Preparación de alimentos y bebidas, y manufactura (10.8%). Tabla 3.

⁷ Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/PIBEF/PIBEF2022.pdf>

⁸ Datos obtenidos de datos abiertos del SIAP. Disponible en <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>

Tabla 3. Actividades económicas desarrolladas en la propuesta de la ZRE

Sector	Tula de Allende	Tezontep ec de Aldama	Tlaxcoapan	Atotonilco de Tula	Atitalaquía	Tlahuelilpan	Tepeji del Río de Ocampo	Tepe titlán	Total general	%
Agricultura cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza	2	18				1			21	0.1
Minería	1			5	1				7	0.0
Generación, Transmisión, distribución y comercialización de energía, suministro de agua y de gas natural por ductos	9	2	6	6	8	2	1		34	0.2
Construcción	27	4	4	5	10	2			52	0.3
Manufactura	549	326	292	231	206	96	29		1,729	10.8
Comercio al por mayor	150	64	54	50	53	40	7		418	2.6
Comercio al por menor	2,499	1,427	954	747	698	506	126		6,957	43.4
Transportes, correos y almacenamiento	47	5	7	11	13	5	1	1	90	0.6
Información en medios masivos	27	13	6	7	5	5	1		64	0.4
Servicios financieros y de seguros	156	13	27	21	31	3			251	1.6
Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	70	30	27	26	19	11	2		185	1.2
Servicios profesionales	143	21	29	31	20	14	1		259	1.6

s, científicos y técnicos										
Servicios de apoyo a los negocios y manejo de residuos, y servicios de remediación	98	56	46	32	40	27	2		301	1.9
Servicios educativos	149	46	38	51	47	27	5		363	2.3
Servicios de salud y de asistencia social	288	87	80	74	65	37	2		633	4.0
Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	77	36	21	19	27	15	2		197	1.2
Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	870	277	192	229	190	123	25	1	1,907	11.9
Otros servicios excepto actividades gubernamentales	1,023	362	285	276	215	206	36		2,403	15.0
Actividades legislativas, gubernamentales, de impartición de justicia y de organismos internacionales y extraterritoriales	73	17	21	13	12	11	1		148	0.9
Total general	6,258	2,804	2,089	1,834	1,660	1,131	241	2	16,019	
FUENTE: Elaboración propia con base a DENU-INEGI, 2023										

C) ASENTAMIENTOS HUMANOS

En la propuesta de la ZRE, se tienen identificados 27 núcleos agrarios con asentamiento humano los cuales tienen una superficie total de 1,287.118 ha, de acuerdo con el Registro Agrario Nacional. Tabla 4, Figura 12⁹.

Tabla 4. Superficie de los Asentamientos Humanos por Núcleos Agrarios y por Municipio en la propuesta de la ZRE

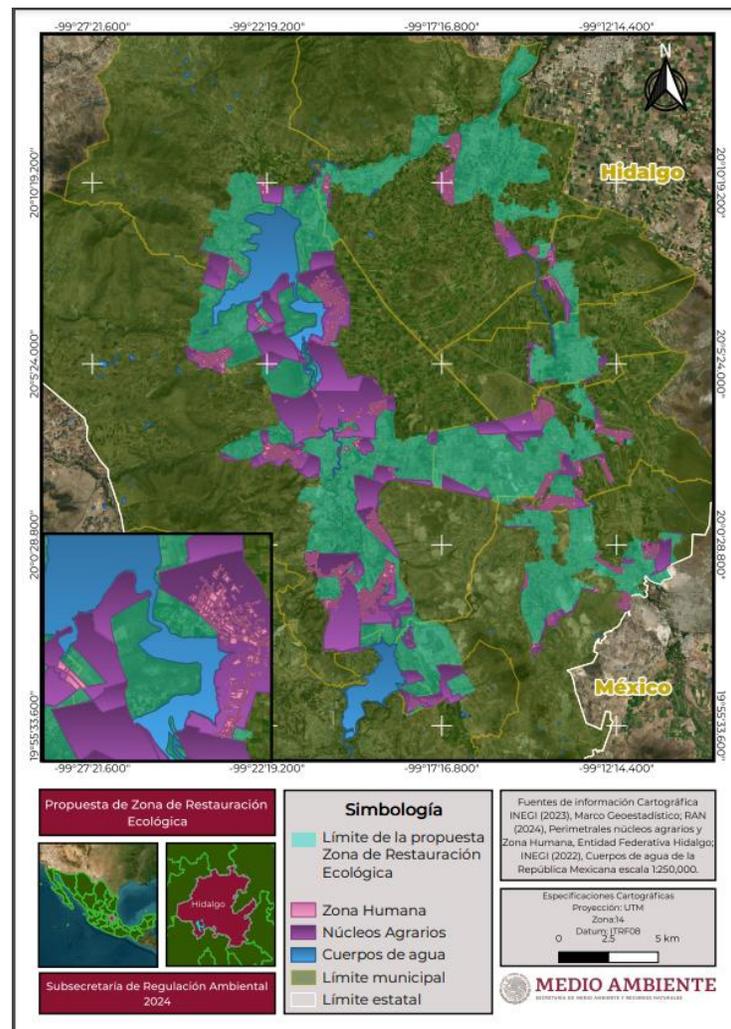
<i>Municipio</i>	<i>Núcleo Agrario</i>	<i>Superficie (ha)</i>
ATITALAQUIA	ATITALAQUIA	144.963
	SAN JERÓNIMO TLAMACO	117.906
	SAN JOSÉ BOJAY	13.164
	Total	276.033
ATOTONILCO DE TULA	ATOTONILCO DE TULA	78.382
	CAÑADA	4.955
	Total	83.337
TEPEJI DEL RÍO DE OCAMPO	SAN ILDEFONSO	4.924
	Total	4.924
TEPETITLÁN	LA LOMA	21.994
	SANTA MARÍA DAXTHO	25.477
	Total	47.471
TEZONTEPEC DE ALDAMA	SAN GABRIEL	19.613
	TEZONTEPEC DE ALDAMA	165.724
	Total	185.337
TLAHUELILPAN	SAN FRANCISCO TLAHUELILPAN	28.983
	Total	28.983
TLAXCOAPAN	SAN BARTOLOMÉ DOXEY	2.119
	Total	2.119
TULA DE ALLENDE	ACOCULCO DE TULA	6.823
	EL LLANO	38.505
	HUERTO NANTZA	96.344
	IGNACIO ZARAGOZA	56.152
	MICHIMALOYA	47.892
	PUEBLO NUEVO DE JASSO	85.195
	SAN LORENZO	0.562

⁹ Oficio No. DGCAT/100/1454/2024 de fecha 4 de abril de 2024, signado por Alejandro Ibarra Hernández, Director General de Catastro y Asistencia Técnica del Registro Agrario Nacional

	SAN LUCAS TEACALCO	12.157
	SAN MIGUEL VINDHO	53.718
	SAN PEDRITO ALPUYECA	16.582
	SANTA ANA AHUEHUEPAN	96.863
	SANTA MARÍA ILUCAN	75.220
	SANTA MARIA MICHIMALTONGO II	6.416
	TULA DE ALLENDE	21.669
	XITEJE	44.816
	Total	658.914
Total general		1,287.118

FUENTE: Elaboración propia, con información del RAN

Figura 12. Asentamientos Humanos en la propuesta de la ZRE

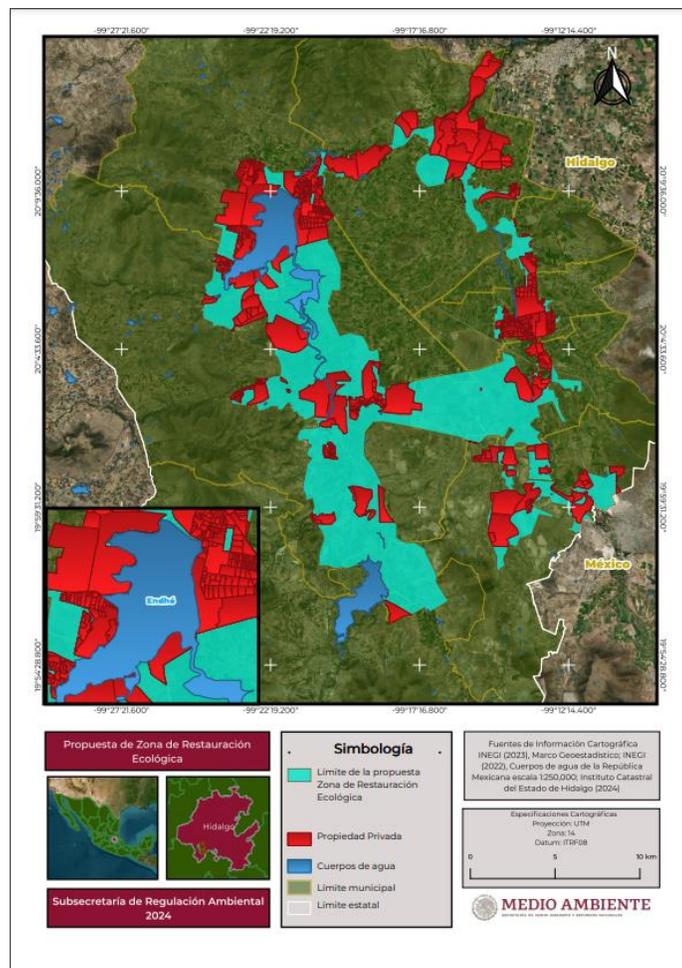


D) TENENCIA DE LA TIERRA

La propuesta de la ZRE tiene una superficie total de 24,684.28 ha, que se distribuye de la siguiente manera:

- Con régimen de propiedad privada se tienen 13,166.012 ha de conformidad con información proporcionada por el Instituto Catastral del Estado de Hidalgo¹⁰. Figura 13.
- Por régimen de propiedad social, la superficie total es de 7,159.168 ha de acuerdo con el RAN¹¹. Figura 14, Anexo 5.
- Las restantes 4,359.098 ha corresponden a propiedad pública y propiedad que no se cuenta con información por parte de las autoridades competentes sobre su tipo de régimen.

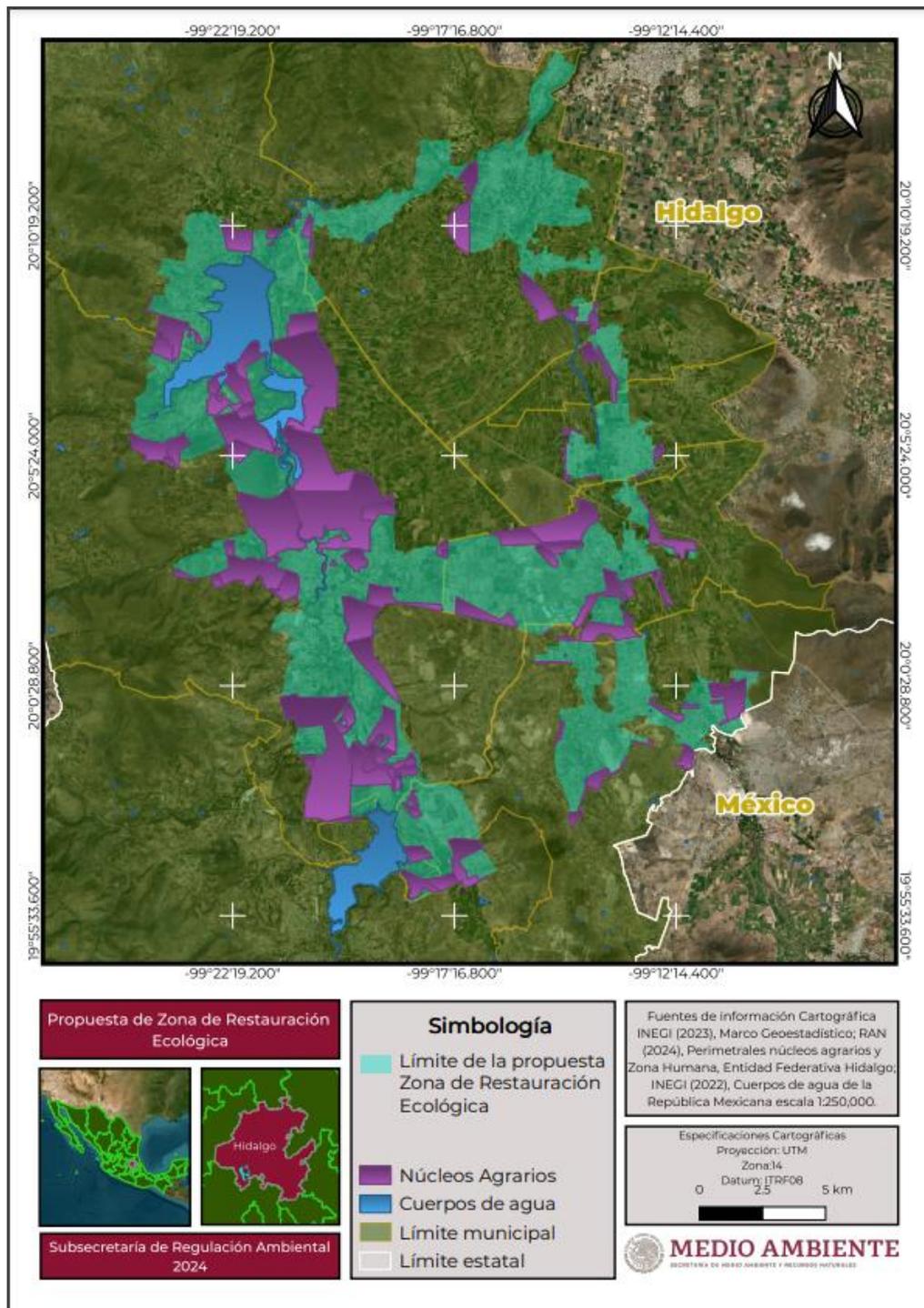
Figura 13. Propiedad privada en la propuesta de la ZRE



¹⁰ Correo Institucional de fecha 15 de mayo de 2024, suscrito por el Biól. Magdaleno Cervantez Bautista, Subsecretario de Política Ambiental de la SEMARNATH.

¹¹ Oficio No. DGCAT/100/1454/2024 de fecha 4 de abril de 2024, signado por Alejandro Ibarra Hernández, Director General de Catastro y Asistencia Técnica del Registro Agrario Nacional

Figura 14. Propiedad social en la propuesta de la ZRE



E) LITIGIOS ACTUALMENTE EN PROCESO

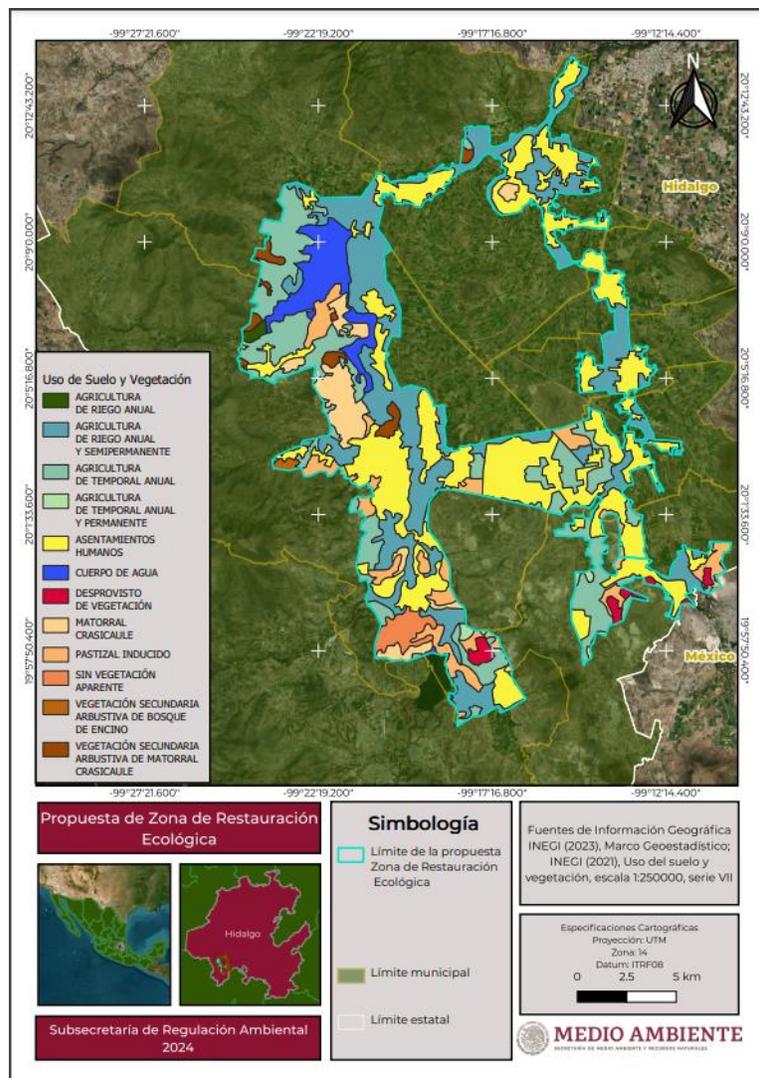
Se localizaron 31 litigios en trámite en los Juzgados de Distrito en el Estado de Hidalgo en la propuesta de la ZRE.

F) USOS DEL SUELO

Para la elaboración del mapa de uso de suelo y vegetación de la propuesta de ZRE se utilizó el conjunto de datos vectoriales del Uso de Suelo y Vegetación, escala 1:250 000, serie VII del INEGI 2018. Figura 15

La propuesta de ZRE está conformado por: Asentamientos humanos (32.7%), Agricultura de riego y temporal (26.5%), Agricultura de temporal anual (17.9%), Pastizal Inducido (7%), Cuerpos de agua (5.5%), Matorral Crasicaule (5%), otros usos de suelo y vegetación (5.4%).

Figura 15. Uso de Suelo y Vegetación de la propuesta de ZRE



G) USOS DEL AGUA

ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE AGUA SUPERFICIAL

El escurrimiento natural por cuenca propia es el componente hidrológico más importante que determina el potencial del escurrimiento generado en una cuenca determinada. De acuerdo con la “NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”, en su numeral 4.2 (DOF, 2015) la disponibilidad media anual de aguas superficiales es la diferencia entre el volumen medio anual de escurrimiento de una cuenca hacia aguas abajo y el volumen anual comprometido aguas abajo.

Conforme a los resultados de la actualización de disponibilidad media anual de aguas superficiales, publicados en el “ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 Regiones Hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos”, en el DOF del 28 de diciembre de 2023, con información de aprovechamientos inscritos en el REPDA con fecha de corte al 31 de diciembre de 2022, las cuencas hidrológicas en la zona de estudio presentan el siguiente estatus de disponibilidad. Tabla 5.

Tabla 5. Cuadro resumen de valores de los términos que intervienen en el cálculo de la disponibilidad superficial en las cuencas hidrológicas con influencia en la propuesta de la ZRE

Nombre de la Cuenca	CP	AR	UC (A)	UC (B)	UC (C)	R	IM	EX	EV	AV	AB	RXY	D
Río Salado	47.451	622.746	334.402	177.406	0.700	291.572	201.823	37.860	0	0	613.224	610.888	2.335
Río Cuautitlán	89.987	0	94.377	0	0	153.303	5.198	0	4.759	0	149.351	149.322	0.030
Presa Requena	159.747	0	37.789	0.052	0.266	11.603	0.000	81.923	9.619	0	41.701	41.693	0.008
Presa Endhó	102.790	191.052	141.118	0	0.595	39.046	945.878	1054.207	16.413	-0.159	66.338	66.338	0.254

FUENTE: (DOF. 2023a), unidades en hm³/año. Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural; Ar.- Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba; Uc (a).- Volumen anual de extracción de agua superficial mediante títulos inscritos actualmente en el REPDA; Uc (b).- Volumen anual de extracción de agua superficial de títulos en proceso de inscripción en el REPDA; Uc (c).- Volumen anual correspondiente a las reservas y las zonas reglamentadas; R.- Volumen anual de retornos; Im.- Volumen anual de importaciones; Ex.- Volumen anual de exportaciones; Ev.- Volumen medio anual de evaporación en embalses; Av.- Volumen medio anual de variación de almacenamiento en embalses; Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo; Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo y volúmenes decretados para reservas medio ambiente D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica. Volúmenes en millones de metros cúbicos. Las definiciones de estos términos son las contenidas en la fracción 4.2, de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015

En la Tabla 5 se observa el balance de cada una de las cuencas en estudio y su estrecha interrelación, esto último considerando a las cuencas vertientes al embalse de la presa Endhó (Río Cuautitlán, presa Requena, y presa Endhó). Se destaca que en las tres cuencas en estudio se tiene disponibilidad de aguas superficiales, principalmente aquellas que se encuentran aguas abajo o que reciben los escurrimientos de otras cuencas aguas arriba como la cuenca del Río Salado, que recibe los escurrimientos provenientes del sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México y su cuenca. Del

mismo modo, la cuenca de la presa Endhó recibe escurrimientos por 191.052 hm³/año, de los cuales 149.351 hm³/año (78.17%) provienen de la cuenca Río Cuautitlán y 41.701 hm³/año (21.83%) de la presa Requena.

DISTRIBUCIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

Considerando el “Acuerdo por el que se dan a conocer los límites de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos” publicado en el DOF el 27 de mayo de 2016 (DOF, 2016) vigente y la base de datos del REPDA con fecha de corte al 31 de diciembre de 2019, se obtuvo la distribución del volumen de agua superficial concesionado para cada una de las cuencas con influencia en la propuesta de la ZRE. Cabe mencionar que dicho documento y la base de datos eran aplicables al momento de la determinación del referido volumen (junio – julio 2023). Ver Tabla 6.

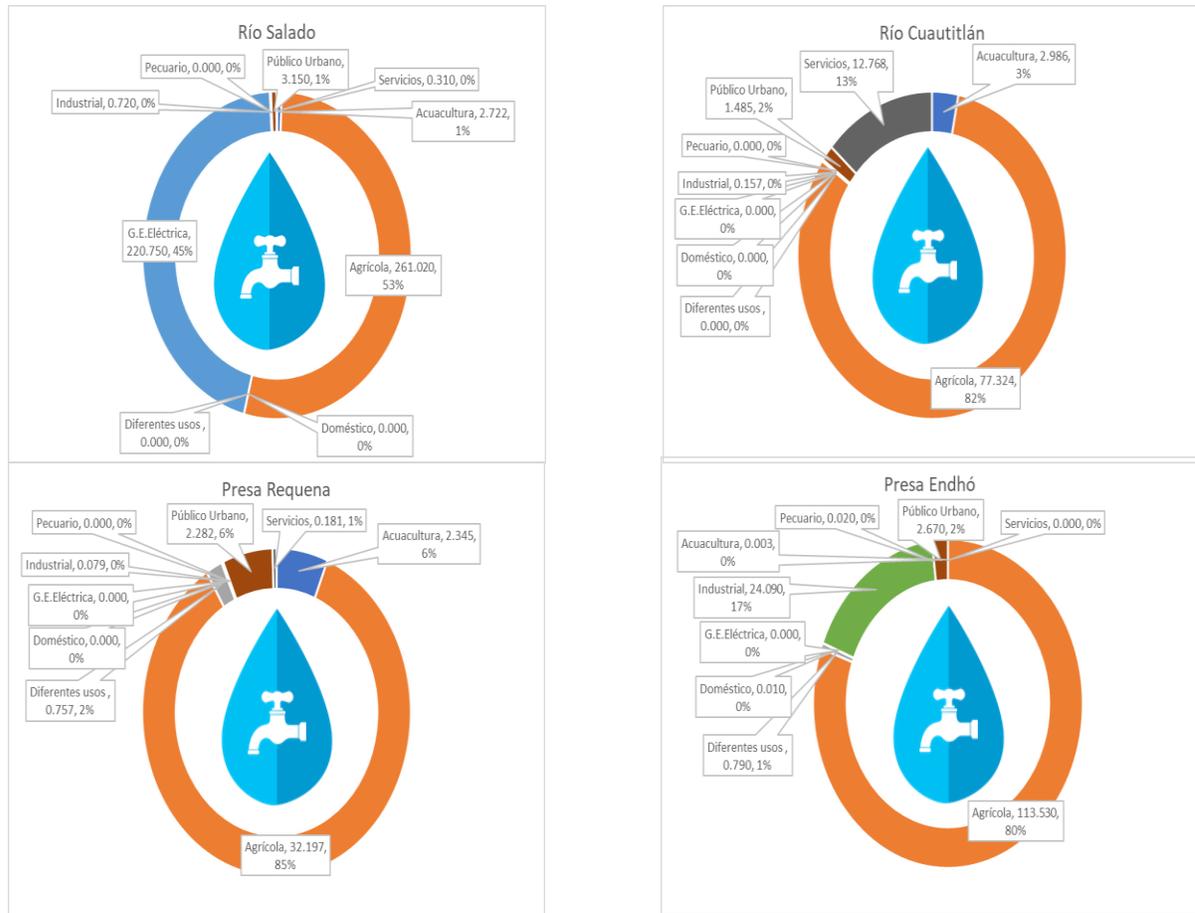
Tabla 6. Distribución de los volúmenes de agua superficial (hm³) en los diferentes usos para las cuencas hidrológicas con influencia en la propuesta de la ZRE

Uso	Río Salado Repda 2019	Porcentaje Río Salado	Río Cuautitlán Repda 2019	Porcentaje Río Cuautitlán	Presa Requena Repda 2019	Porcentaje Presa Requena	Presa Endhó Repda 2019	Porcentaje Presa Endhó
Acuacultura	2.722	0.56%	2.986	3.15%	2.345	6.2%	0.003	0.00%
Agrícola	261.02	53.41%	77.324	81.63%	32.197	85.08%	113.530	80.45%
Diferentes usos	0.000	0.00%	0.000	0.00%	0.757	2%	0.790	0.56%
Doméstico	0.000	0.00%	0.000	0.00%	0.000	0.00%	0.010	0.01%
G.E. Eléctrica	220.75	45.17%	0.000	0.00%	0.000	0.00%	0.000	0.00%
Industrial	0.72	0.15%	0.157	0.17%	0.079	0.21%	24.090	17.07%
Pecuario	0.000	0.00%	0.000	0.00%	0.000	0.00%	0.02	0.01%
Público Urbano	3.15	0.64%	1.485	1.57%	2.282	6.03%	2.67	1.89%
Servicios	0.31	0.06%	12.768	13.48%	0.181	0.48%	0.000	0.00%
TOTAL	488.67	100%	94.72	100%	37.84	100%	141.11	100%

FUENTE: REPDA, 2019

Las concesiones de aguas superficiales en las cuencas de la zona de estudio (Río Salado, Río Cuautitlán, presa Requena, y Presa Endhó) corresponden en su mayoría al uso agrícola con un volumen total concesionado de 484.07 hm³/año (63.496 %), seguido del uso de generación de energía eléctrica con un volumen total de 220.75 hm³/año (28.956 %), uso industrial con un volumen total de 25.05 hm³/año (3.286 %), servicios con un volumen total de 13.26 hm³/año (1.739 %), uso público urbano con un volumen total de 9.59 hm³/año (1.258%), acuacultura con un volumen total de 8.06 hm³/año (1.057 %), y el resto 1.58 hm³/año (0.208 %) a otros usos (Diferentes usos, doméstico y pecuario). El volumen total concesionado en la zona de estudio es de 762.36 hm³/año, el cual se distribuye entre los diferentes usos consuntivos. Tabla 6 y Figura 16. Las cuencas del Río Cuautitlán y presa Requena, no pertenecen a la propuesta de la ZRE.

Figura 16. El volumen total concesionado en las cuencas con influencia en la propuesta de la ZRE



FUENTE: REPDA 2019

ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

De acuerdo con la “NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”, en su numeral 4.3 (DOF, 2015) la disponibilidad media anual de agua del subsuelo se estima con la diferencia entre la recarga total media anual, la descarga natural comprometida y la extracción de aguas subterráneas.

Conforme al “ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican”, publicado en el DOF del 9 de noviembre de 2023, con información de aprovechamientos inscritos en el REPDA con fecha de corte al 30 de diciembre de 2022, el acuífero Valle del Mezquital en la zona de estudio, presenta el siguiente estatus de disponibilidad. Tabla 7.

Tabla 7. Publicación de la disponibilidad de agua subterránea

Clave	Edo.	Clave	Acuífero	R	DNC	VEAS				DMA	
						VCAS	VEALA	VAPTYR	VAPRH	Positiva	Negativa (Déficit)
XIII Aguas del Valle de México	Hidalgo	1310	Valle del Mezquital	515	293	167.952024	12.138701	6.494807	4.951725	30.462743	0.00000

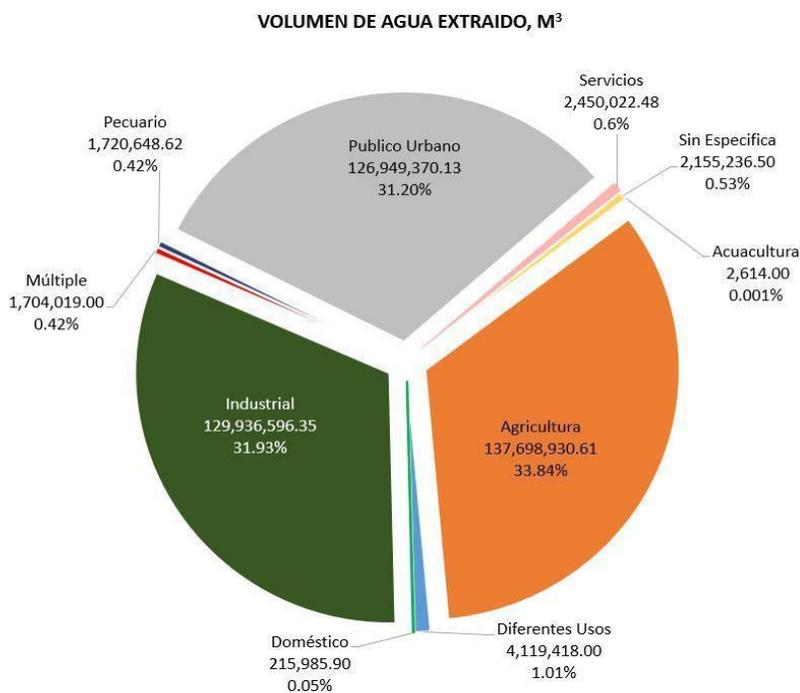
1 FUENTE: Elaboración propia con información del DOF 2023b

R: recarga total media anual; DNC: descarga natural comprometida; VEAS: volumen de extracción de aguas subterráneas; VCAS: volumen concesionado/asignado de aguas subterráneas; VEALA: volumen de extracción de agua en las zonas de suspensión provisional de libre alumbramiento y los inscritos en el Registro Nacional Permanente; VAPTYR: volumen de extracción de agua pendiente de titulación y/o registro en el REPDA; VAPRH: volumen de agua correspondiente a reservas, reglamentos y programación hídrica; DMA: disponibilidad media anual de agua del subsuelo. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" (fracciones 3.10, 3.12, 3.18 y 3.25), y "4" (fracción 4.3), de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.

DISTRIBUCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

De acuerdo con la última base de datos del REPDA, con la que cuenta el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, con fecha de corte al 31 de diciembre de 2021, se tiene la siguiente distribución del volumen de agua subterránea concesionada para el acuífero Valle del Mezquital, con influencia en la propuesta de la ZRE. Los volúmenes de agua subterránea por uso se distribuyen en: agricultura (33.84%); industria (31.93%); público urbano (31.2%); y el resto en (3.87%): servicios no especificados, acuicultura, pecuario, múltiple, doméstico y diferentes usos. Figura 17.

Figura 17. Usos y volúmenes concesiones aguas subterráneas



FUENTE: REPDA 2021

V. INSTITUCIONES QUE HAN REALIZADO PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN LA PROPUESTA DE LA ZRE

Estudios relevantes en el Valle del Mezquital:

AGUA

- Cortés, F. A., Guillén, R. C., Navarro, P. S., & Smedley, P. L. 2010. Una revisión de la presencia de arsénico en el agua subterránea en México. Rev. Tlaloc AMH, 45, 1-11.
- Comisión Nacional del Agua. 2013. "Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Valle del Mezquital (1310) Estado de Hidalgo, México", subdirección general técnica, 40 p.
- Comisión Federal de Electricidad. 1996. "Estudio Geohidrológico de Factibilidad para la Localización de Tres pozos de Abastecimiento de Agua Subterránea para la Refinería Miguel Hidalgo, en Tula de Allende, Hidalgo", Subdirección Técnica, Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Comisión Ambiental de la Megalópolis. 2020. Dimensión del mejoramiento de la calidad del agua de la presa Endhó, Hgo.Mor. 2022. Pág. 1-43.

AIRE

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de las aguas nacionales subterráneas del acuífero Valle del Mezquital, clave 1310, en el Estado de Hidalgo, Región Hidrológico-Administrativa Aguas del Valle de México., Estados Unidos Mexicanos; DOF 15/09/2016.
- Martínez-Jiménez, E. 2018. Autocorrelación entre industrias cementeras y la presencia de cáncer en el Valle del Mezquital, México. Universidad Autónoma del Estado de México. Población en condiciones de vulnerabilidad y riesgo. Vol. XI. COMECSO.
- López-Aguilar, F., Solar, L., y Vilanova, R. 1988. El Valle del Mezquital. Encrucijadas en la historia de los asentamientos humanos en un espacio discontinuo", en Arqueología, núm. 20, pp. 21-37.
- López Aguilar, F. 2002. La distribución de los asentamientos del Valle del Mezquital como un modelo de desarrollo social. Estudios de cultura Otopame, 3.
- Miguel Ángel Gómez Albores. 2023. Evaluación de riesgo para la salud humana y ambiental por agentes tóxicos de origen antrópico como herramienta de empoderamiento social. Región Estratégica Ambiental Norte del Estado de México y Zona Tula, Hidalgo. Pronaii 318998, CONACYT.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2021. Evaluación de la calidad del aire en dos cuencas atmosféricas del Estado de Hidalgo (Tula y Pachuca) durante la contingencia por COVID-019. México. Ciudad de México: Coordinación

General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos. Ciudad de México. 45 pp.

- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2021. Definición de zonas para mediciones ambientales en la cuenca de Tula, precampaña octubre – diciembre 2021. 23 pp.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/702165/133_2021_Mediciones_ambientales_Cuenca_Tula.pdf

SUELO

- García Salazar E.M. 2020. El agua residual como generadora del espacio de la actividad agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Estud. Soc. Rev.* vol.29 no.54. Hermosillo, México.
- Hernández Arellano M. 2020. Percepción social del riesgo por contaminación ambiental a causa de las cementeras y caleras, en Atotonilco de Tula, Hidalgo y Apaxco, Estado de México.
- Mejía Barrón, M., Sánchez, S., Hernández, G., Flores, L., Villareal, G. y Guajardo, R. 1990. Metales Pesados en Maíz (*Zea mays* L) y Alfalfa (*Medicago sativa* L.) y su correlación con extractables en suelos del DDR 063, Hgo., Memorias del 1er Simposio Nacional de Degradación del Suelo, UNAM, México.
- Lesser-Carrillo L.E, Lesser-Illades J.M., Arellano-Islas S, González-Posadas D. 2011. Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle del Mezquital, México. *México central: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v.28, núm.3, p.323-336.
- López Fernando & Fourier Patricia. 2009. Espacio, tiempo y asentamientos en el Valle del Mezquital: un enfoque comparativo con los desarrollos de William T. Sanders. *Cuicuilco* vol.16 no.47, México.
- Prieto-García F., Méndez-Marzo M., Martínez-Pezina F., Prieto-Méndez J. 2007. Presencia de metales pesados en cultivos del Valle del Mezquital, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*: 100-110.
- Siebe C. 1994. Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el distrito de riego 03, Tula, Hidalgo, México. *Rev. Int. Contaminación Ambiental*. Vol. 10, pp 15-21.
- Vázquez-Alarcón A., Justin-Cajuste L., Siebe-Grabach C., Alcántar-González G., de la Isla de Bauer M. 2001. Cadmio, Níquel y plomo en agua residual, suelo y cultivos en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Agrociencia*, vol. 35, núm 3, pp 267-274.

BIOTA

- Austria, R. 2017. Principales amenazas para la biodiversidad y perspectivas para su manejo y conservación en el estado de Hidalgo: El caso de los anfibios y reptiles. En: Ramírez-Bautista, A., Sánchez-González, A., Sánchez-Rojas, G. y Cuevas-Cardona, C. (eds.). Biodiversidad del estado de Hidalgo. Tomo II. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Pachuca de Soto, Hidalgo, México.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2019. Caracterización y diagnóstico del Parque Nacional Tula. CONABIO. México.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2022. Estudio de diagnóstico de área natural protegida Parque Nacional Tula. PROCODES. CONANP. México.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2023. Parque Nacional Tula. Disponible en <https://www.gob.mx/conanp>. Consultada el 7 de junio de 2023.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Gobierno del Estado de Hidalgo. 2021. La Biodiversidad en Hidalgo. Estudio de Estado. CONABIO. México.
- Ortiz-Pulido, R. y Zuria. 2017. Diversidad de Aves del Estado de Hidalgo. En: Biodiversidad del Estado de Hidalgo. A. Ramírez-Bautista, A. Sánchez-González, G. Sánchez-Rojas y C. Cuevas-Cardona. Eds. Tomo II. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Proyecto FOMIX-CONACYT Hidalgo 191908 Diversidad Biológica del Estado de Hidalgo (Tercera Etapa). México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2020. Región Atitalaquia-Tula-Apaxco: Hacia un modelo de restauración ecológica. Revista trimestral: Diálogos Ambientales. Año1, No. 1. Disponible en: https://mia.semarnat.gob.mx:8443/dialogosAmbientales/documentos/DialogosAmbientales_Anio1_no1.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Hidalgo (SEMARNATH). 2015. Estudio previo justificativo para extinguir el decreto de creación del Parque Nacional Tula. SEMARNATH. Hidalgo, México.
- Servicio Geológico Mexicano. 2021. Panorama Minero del Estado de Hidalgo. México. pp 1 – 73. Disponible en: <http://www.sgm.gob.mx/pdfs/HIDALGO.pdf>

VI. DIAGNÓSTICO

El diagnóstico de la propuesta de la ZRE se elaboró con información de las dependencias del Sector Ambiental a través de la Identificación y trabajo de gabinete, trabajo de campo, procesamiento de la información de campo y validación de la información de los factores ambientales agua, aire, suelo y biota.

METODOLOGÍA

AGUA

Método de muestreo

El procedimiento de muestreo que se utilizó para la colecta de las muestras en los sitios de agua superficial como son río, presa y drenes, fue con base a la “Norma Mexicana NMX-AA-014-1980 CUERPOS RECEPTORES.- MUESTREO”, Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de septiembre de 1980, dicha Norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo en cuerpos receptores de aguas superficiales, excluyendo aguas estuarinas y aguas marinas, con el fin de determinar sus características físicas, químicas y bacteriológicas. Los pozos de agua para uso como riego agrícola y uso como fuente de abastecimiento para uso público urbano, se consideró la “Norma Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002, , Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo”, publicada en el DOF el 12 de julio de 2005.

El muestreo se realizó por personal del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) acreditado ante la entidad mexicana de acreditación, a.c. (ema) con No. AG-177-032/09, y aprobación por CONAGUA con número CNA-GCA-1928, en cumplimiento de los requisitos de la Norma Mexicana NMX-EC-17025 IMNC 2018, con Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 9 de agosto de 2018.

En toda evaluación de calidad del agua, es de suma importancia obtener una muestra representativa de la problemática a evaluar. Los siguientes puntos son críticos y de observancia de la Normas Mexicanas antes mencionadas:

- Preparación de material y etiquetado de la muestra
- Procedimiento de colecta de la muestra
- Preservación, conservación y almacenamiento de la muestra
- Registros de campo

Selección de parámetros de calidad del agua y preparación de material

Respecto a los parámetros de calidad del agua, se seleccionaron los que pudieran representar alguna alteración o que sean representativos para las matrices analizadas y sus usos.

Dependiendo de los parámetros a monitorear es el material que se determina utilizar. Existen condiciones particulares para cada uno de los contenedores de la muestra de agua, va de acuerdo a las características fisicoquímicas de los parámetros a muestrear, debido a esta naturaleza se utilizan contenedores de diferente material y en algunos casos se adicionan preservadores con el objetivo de mantener las condiciones iniciales de las muestras de cada uno de los parámetros. En la Tabla 8, se muestra los parámetros, así como el tipo de contenedor a utilizar y su preservación.

Tabla 8. Tipo de contenedor y preservación por parámetro para su análisis.

PARÁMETRO	TIPO DE CONTENEDOR	VOLUMEN	PRESERVACIÓN
Demanda Bioquímica de Oxígeno, Fósforo Total, Sólidos suspendidos totales. Sólidos disueltos Totales.	Plástico	2000 mL.	Hielo a 4°C ± 2°C
Nitrógeno como Nitrógeno Total,	Plástico	2000 mL.	H ₂ SO ₄ a 4°C ± 2°C
Demanda Química de Oxígeno	Vidrio	110 mL.	H ₂ SO ₄ a 4°C ± 2°C
Crasas y Aceites	Vidrio	1000 mL	HCl, 4°C ± 2°C
Carbón Orgánico Total	Vidrio ámbar	250 mL.	H ₂ SO ₄ a 4°C ± 2°C
Color Verdadero (Método de Coeficientes de Absorción Espectral)	Vidrio ámbar	250 mL.	Hielo a 4°C ± 2°C
Metales: Arsénico, Hierro, Cadmio, Cobre, Cromo, Níquel, Plomo, Zinc, y Calcio, entre otros	Plástico	500 mL.	HNO ₃ , 4°C ± 2°C
Mercurio	Plástico	500 mL.	HNO ₃ , + Dicromato de potasio 4°C ± 2°C
Microbiológicos: Coliformes fecales NMP,	Bolsas estériles	100 mL.	Hielo a 4°C ± 2°C
Toxicidad Aguda con <i>Vibrio fischeri</i>	Vidrio ámbar	1000 mL.	Hielo a 4°C ± 2°C
Barrido de Compuestos Orgánicos Semivolátiles	Vidrio ámbar	4000 mL	Hielo a 4°C ± 2°C

Parámetros de campo

Se midieron parámetros de campo (*in situ*), descritos en la Tabla 9.

Tabla 9. Parámetros de campo, evaluados en los sitios de muestreo.

PARÁMETRO DE CAMPO	MÉTODO DE PRUEBA
Temperatura del agua (°C)	NMX-AA-007-SCFI-2013 análisis de agua – medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-007-SCFI-2000).
Conductividad eléctrica (µS/cm)	MX-AA-093-SCFI-2018, análisis de agua- medición de la conductividad eléctrica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- método de prueba (cancela a la NMX-AA-093-SCFI-2000).
Potencial de hidrogeno (UpH)	NMX-AA-008-SCFI-2016 análisis de agua. - medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba- (cancela a la NMX-AA-008-SCFI-2011).

Características del equipo de muestreo

Tabla 10. Características del equipo multiparámetros, para mediciones en campo.

Analizador Pocket Pro+ Multi 2	Intervalo de medición	Precisión
	Temperatura (C°) -5 a 50	± 0,05 ° C
	Conductividad (mS/cm) 0 a 200	± 0,5 %
	Salinidad (ppt) 0 a 70	± 1,0 %
	pH 0.00 – 14.00	±0.02 U pH
	Sólidos Disueltos Totales (SDT) (ppt) 0.0 a 10.00	±1

Colecta de las muestras

Previo a la colecta de la muestra, los recipientes de muestreo y el material auxiliar de muestreo utilizado, fue enjuagado de dos a tres veces con la misma agua a muestrear, solo para aquellos parámetros que aplicaba. Durante la colecta de las muestras superficiales, se evitó que el recipiente hiciera contacto con el fondo, esto con el fin de

evitar la suspensión de los sedimentos u otros materiales presentes, y con ello, que éstos sean parte de la muestra de agua.

Conservación y preservación de las muestras

Durante la colecta de las muestras, conforme se fueron llenando cada uno de los recipientes, éstos se colocaron en la hielera, la cual previamente contiene el hielo suficiente para conservar las muestras a una temperatura de $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Una vez terminada la colecta de las muestras se procede a preservar aquellas que lo requieran.



Preservación de muestras.

En aquellas muestras donde la preservación se hizo con disoluciones ácidas o básicas (ver Tabla 8), se verificó que la muestra haya alcanzado el pH indicado por lo general pH menor a 2. Para verificar el pH se vertió un volumen pequeño de agua en la tapa del recipiente de muestreo y éste a su vez se vertió sobre la tira reactiva de pH.

Identificación y control de muestras

Para la identificación de las muestras, los contenedores fueron etiquetados con la fecha de muestreo, hora, nombre del muestreador, parámetro a analizar, preservación de la muestra e identificación de la misma.

Embalaje, transporte y almacenamiento de muestras

Para el envío de las muestras al laboratorio, fueron embaladas adecuadamente en las hieleras, de tal forma que se evite que los recipientes sufran ruptura o fugas que provoquen la pérdida de las muestras y/o su contaminación. Así mismo, las muestras contenidas en la hielera se acompañaron con geles para conservar a $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su entrega.

El transporte de las muestras del sitio de muestreo al laboratorio fue vía terrestre, considerando los tiempos máximos de conservación de las muestras para que éstas no rebasen el tiempo límite para su análisis.

Análisis de muestras

Dependiendo del parámetro a determinar, las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Calidad del Agua del Instituto, conforme a los procedimientos establecidos para cada parámetro.

Resultados

Una vez que se tuvieron los resultados estos fueron analizados conforme a las normas específicas dependiendo si se trataba de agua superficial o subterránea.

AIRE

1. Monitoreo de la calidad del aire. Es un proceso continuo de recopilación, verificación y evaluación de los datos que se obtienen de la medición de los contaminantes en la atmósfera en estaciones de monitoreo. El monitoreo permite estudiar las concentraciones de los contaminantes y sus tendencias, y evaluar estas condiciones respecto a las normas de calidad del aire (ver Anexo 4, inciso A).

El gobierno del estado de Hidalgo, a través de la SEMARNATH, opera una red de monitoreo de calidad del aire integrada con estaciones de monitoreo distribuidas en los municipios de Pachuca, Tula de Allende, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tepeji del Río de Ocampo, Tlaxcoapan, Tizayuca, Lolotla, Tepeapulco, Huichapan, Tulancingo y Zapotlán de Juárez. (INECC, 2022).

El diagnóstico sobre el estado actual y las tendencias de la calidad del aire con respecto a partículas suspendidas (PM10 y PM2.5), ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y monóxido de carbono (CO) en los municipios que integran la propuesta de la ZRE se realizó haciendo uso de los siguientes indicadores:

- Evaluación del cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de calidad del aire;
- Porcentaje de días por año con concentraciones superiores a los límites normados vigentes;
- Número de días, por año, en que se rebasa cualquier norma vigente de calidad del aire.

En el caso particular del presente estudio, se analizó la información histórica de las estaciones del sistema de monitoreo de la calidad del aire en los municipios que conforman la propuesta de la ZRE, para evaluar el cumplimiento de las normas de calidad del aire. Cabe destacar que tres de las cuatro estaciones de monitoreo se encuentran dentro de la propuesta de la ZRE.

- 2. Modelación de la calidad del aire y análisis de imágenes satelitales.** Para conocer el estado de la calidad del aire en la propuesta de la ZRE, se utilizó la modelación de calidad aire, el cual permite la simulación de los procesos físicos y químicos que afectan el transporte, dispersión, transformación, deposición y conversión de contaminantes del aire, con el cual se obtienen mapas de concentraciones en una región y tiempo determinado.

Asimismo, se realizó un análisis de imágenes satelitales, generadas con el instrumento de percepción remota TROPOMI de la misión Sentinel 5P, del Programa Europeo de Observación de la Tierra "Copernicus", coordinado y operado por la Unión Europea, y su componente de desarrollo de infraestructura para observaciones satelitales está manejado por la Agencia Espacial Europea (ESA). El satélite fue puesto en una órbita polar sincrónica con el sol y cuenta como carga útil con el instrumento TROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument), con el que se pueden observar la concentración de la columna de diversas sustancias.

- 3. Estudios en sitio.** En el presente estudio se presentan algunos de los resultados de una campaña de medición intensiva de corta duración, para generar y analizar información de contaminantes atmosféricos que permite entender la dinámica de su origen, transformación, transporte e impacto.

- 3.1. Exposición personal.** Se determina la exposición personal a algunos contaminantes atmosféricos en diversos microambientes, donde se encuentran sectores de la población más vulnerable.

En el presente estudio se midieron de manera continua las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 2.5 micrómetros (PM2.5).

Para determinar las concentraciones de monóxido de carbono (CO) se emplearon monitores portátiles que funcionan con una celda electroquímica. La determinación de la concentración se hace en tiempo real y los datos son guardados en un datalogger interno.

Además, se colectaron muestras de PM2.5 a una altura de 0.7 y 1.5 m sobre el nivel de suelo, que es la altura a la que normalmente inhalarían los alumnos de 6 a 12 años, dichas muestras fueron enviadas a los laboratorios del INECC, la Tabla 11 presenta los sitios de muestreo, análisis, técnica y número de muestras colectadas durante la campaña.

Tabla 11. Tipo de muestreo y análisis en los sitios

<i>Nombre del sitio</i>	<i>Análisis</i>	<i>Técnica</i>	<i>No. de muestras</i>
Escuela Primaria Revolución (Atotonilco)	Masa	Gravimetría	74
	Especiación	Espectrometría de fluorescencia de rayos X	74

	Carbono orgánico	Transmitancia	50
	Carbono orgánico	Termo- Óptico	24
Escuela Primaria General Melchor Ocampo (Tula de Allende)	Masa	Gravimetría	74
	Especiación	Espectrometría de fluorescencia de rayos X	74
	Carbono orgánico	Transmitancia	50
	Carbono orgánico	Termo- Óptico	24

FUENTE: INECC, 2023

3.2. Muestreo puntual. Se toman muestras en sitios de interés y se analizan en el laboratorio.

3.3. Análisis de laboratorio. Se aplican pruebas a muestras para identificar compuestos de potencial riesgo a la salud humana.

Se llevó a cabo un muestreo de alto volumen de PM10 y PM2.5 en los municipios que conforman la ZRE, en la Tabla 12 se señala el análisis, técnica y número de muestras en los sitios de muestreo.

El análisis de gravimetría se llevó a cabo por ganancia de peso en una microbalanza.

Para el análisis de metales y metaloides una fracción del filtro se digiere en medios ácidos para posteriormente realizar la determinación de la concentración en las muestras por dos técnicas diferentes: Espectroscopia de emisión óptica y Espectrometría de masas.

En el análisis de HAPs, a una porción de los filtros fue sometida a un disolvente orgánico para extraer Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, cuyo extracto fue analizado por cromatografía de gases con detector de masas.

Un extracto acuoso del filtro es pasado a cromatografía de líquidos selectiva en la que determina por un lado aniones y por el otro cationes de forma simultánea.

La cuantificación de carbono se realizó en un equipo de reflectancia térmico-óptica que distingue al carbono orgánico del elemental por calentamiento gradual de la muestra hasta 900 grados centígrados con y sin oxígeno

Tabla 12. Tipo de muestreo y análisis en los sitios de muestreo para laboratorio.

Nombre del sitio	Análisis	Técnica	No. de muestras
Tepetitlán	Gravimetría, Metales y Metaloides, Aniones/cationes, HAPs, CO/CE	MICROBALANZA, ICP-OES, ICP-MS, GC-MSD, LC y TOC	21
Tula de Allende	Gravimetría, Metales y Metaloides, Aniones/cationes, HAPs, CO/CE	MICROBALANZA, ICP-OES, ICP-MS, GC-MSD, LC y TOC	21
Tepeji del Río de Ocampo	Gravimetría, Metales y Metaloides, Aniones/cationes, HAPs, CO/CE	MICROBALANZA, ICP-OES, ICP-MS, GC-MSD, LC y TOC	21
Atotonilco de Tula	Gravimetría, Metales y Metaloides, Aniones/cationes, HAPs, CO/CE	MICROBALANZA, ICP-OES, ICP-MS, GC-MSD, LC y TOC ICP-OES, ICP-MS y GC-ECD	21
Atitalaquia	Gravimetría, Metales y Metaloides, Aniones/cationes, HAPs, CO/CE	MICROBALANZA, ICP-OES, ICP-MS, GC-MSD, LC y TOC	21

FUENTE: INECC, 2023

- 4. Identificación de fuentes contaminantes.** Los inventarios de emisiones de contaminantes son instrumentos de gestión de la calidad del aire en los que se determinan las emisiones de contaminantes provenientes de diversos tipos de fuentes establecidas en una determinada área geográfica, con una resolución espacial a nivel municipal o estatal, y una temporalidad en un año específico de actividad.

Para identificar las fuentes de contaminantes en la propuesta de la ZRE se utilizó el Inventario Nacional de Emisiones de México (INEM), año base 2018, con corte en los ocho municipios que cubren la propuesta de la ZRE (ver Anexo 4, inciso B).

SUELO

A partir de la información proveniente de los trámites y bases de datos que competen a la DGGIMAR, se analizó el panorama actual de la propuesta de ZRE en los rubros A) Actividades Altamente Riesgosas, B) Residuos Peligrosos, C) Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial y D) Sitios contaminados.

En materia de actividades altamente riesgosas, específicamente en la Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA), se realiza un estudio de los riesgos posibles que podrían presentarse en caso de una emergencia química en las empresas con actividades altamente riesgosas.

Se realiza un análisis de consecuencias a través de la simulación de los eventos más probables y el evento catastrófico de acuerdo con el tipo de sustancias, representando el alcance posible a través de círculos: rojo para la zona de riesgo, y amarillo, para la zona de amortiguamiento.

Esta representación se realiza habitualmente con el simulador matemático denominado ALOHA, el cual es de uso libre y se encuentra disponible en la página web de la Agencia de los Estados Unidos para el Medio Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés), con éste se representa la opción extrema que podría suscitarse en caso de emergencias químicas.

Con la finalidad de profundizar el análisis realizado en materia de riesgo ambiental por el uso de sustancias químicas peligrosas en actividades productivas, se efectuó una revisión de estas en la propuesta de ZRE, siguiendo la metodología descrita a continuación:

Se revisó la página web del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUÉ)¹² cuya última actualización corresponde al año 2021 para el estado de Hidalgo. Se encontraron oficialmente registradas 139,294 unidades económicas (UE) que corresponden a los 84 municipios que integran la entidad. De este universo, se obtuvo un subconjunto de 20,592 registros, que corresponde a la propuesta de la ZRE.

Con el objeto de identificar las empresas que utilizan sustancias químicas en sus procesos o en sus operaciones, se revisaron 541 actividades registradas en la entidad de acuerdo con el DENUÉ¹³.

Como resultado, se identificaron 74 actividades que corresponden a 245 empresas que potencialmente pueden utilizar sustancias químicas peligrosas.

En materia de residuos peligrosos se revisaron los registros existentes de la propuesta de ZRE en el Sistema Nacional de Trámites (SINAT), de manera particular se revisó la información disponible de los siguientes trámites:

- SEMARNAT-07-017 - Registro generador de residuos peligrosos
- SEMARNAT-07-024 - Registro plan de manejo

¹² Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denu/default.aspx> (Consultado el 26 de junio de 2023).

¹³ Debe considerarse que no todas las Unidades Económicas corresponden al sector industrial, existen también UE de almacenamiento, tratamiento de agua residual, etcétera.

- SEMARNAT-07-033-C - Reciclado o co-procesamiento residuos peligrosos

Una vez revisados los registros de los trámites señalados anteriormente, se hizo un cruce de la información y se estableció su nivel de cumplimiento conforme a lo establecido en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y su Reglamento. La revisión se enfocó en la industria cementera, minera y metalúrgica, explotación de minerales no metálicos y bancos de materiales, industria química y agrícola.

Por otra parte, respecto a la cuantificación del área impactada por bancos de materiales e instalaciones del giro de la industria minera no metálica, se plasmó la capa del polígono correspondiente a la propuesta de ZRE en el software Google Earth®, con esta visualización, se señalaron mediante polígonos, las áreas donde se advierte una afectación. Este mismo programa calcula el área de cada polígono seleccionado. Por lo tanto, el área total impactada es la suma del área de los polígonos trazados en el mapa virtual.

En cuanto a sólidos urbanos y de manejo especial se revisó el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021 publicado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, y se identificó la existencia de sitios de disposición en la propuesta de ZRE, así su clasificación conforme al Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2023. Finalmente, se revisó la literatura existente sobre posibles afectaciones en el ZRE, así como las principales acciones llevadas a cabo por los gobiernos municipales.

Finalmente, en relación con los sitios contaminados la metodología empleada para determinar el número de sitios contaminados en la propuesta de ZRE, se basó en la recopilación y análisis de datos geoespaciales, utilizando como fuente el Inventario Nacional de Sitios Contaminados (INSC). Y en relación con los sitios remediados la metodología empleada se basó en la recopilación y análisis de datos geoespaciales, utilizando como fuente el Inventario Nacional de Sitios Remediados (INSR).

Se accedió a los registros del INSC administrado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, los cuales identifican sitios contaminados mediante los trámites en materia de suelo contaminado, gestionados por la Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas (DGGIMAR) y la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos (ASEA) siendo:

- Propuesta de remediación, emergencia ambiental (con homoclave SEMARNAT-07-035 A y ASEA-00-013-A)
- Propuesta de remediación, pasivo ambiental (con homoclave SEMARNAT-07-035 B y ASEA-00-013-B)
- Autorización transferencia de sitios contaminados ambiental (con homoclave SEMARNAT-07-028 y ASEA-00-002)

El INSC también considera sitios contaminados por otras fuentes de información que cumplan los requerimientos para definir que un sitio está contaminado, de acuerdo a la normatividad vigente, dicha información proviene de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

(INECC) e Información de instituciones de educación superior (estudios, tesis, artículos científicos).

También se accedió a los registros del INSR administrado por la SEMARNAT, lo cuales identifican sitios remediados mediante la aprobación del trámite de Conclusión del programa remediación de emergencia y pasivo ambiental (con homoclave SEMARNAT-07-036 y ASEA-00-007), gestionado por la DGGIMAR y la ASEA, la cual indica que el sitio en cuestión se encuentra libre de contaminación de acuerdo con los niveles de remediación que se establecieron en el programa de remediación.

Utilizando el software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) QGIS, se filtraron los datos del INSC y del INSR para incluir únicamente los sitios ubicados dentro de la superficie de la propuesta de ZRE. Se realizó un análisis espacial de los datos, superponiendo la información del INSC y del INSR con la superficie de la propuesta de ZRE para determinar la intersección de ambas áreas.

En relación con los sitios potencialmente contaminados la metodología empleada para determinar los sitios dentro de la propuesta de ZRE, así como en la periferia, se basó en la recopilación y análisis de datos, utilizando como fuente principal el Sistema de Sitios Potencialmente Contaminados (SIPCO) de uso interno y gestionado por la SEMARNAT.

Los sitios potencialmente contaminados se identificaron mediante un levantamiento de datos que financió la SEMARNAT entre el 2007 y el 2011 y consistió en buscar en las 32 entidades federativas sitios que se tenga sospecha de contaminación sin tener certeza de ello.

De la misma manera, utilizando el software de SIG QGIS, se geolocalizaron los sitios potencialmente contaminados de los municipios que comprende la propuesta de ZRE y se realizó un análisis espacial de los datos, superponiendo la información de los sitios potencialmente contaminados con la superficie de la propuesta de ZRE para determinar la intersección de ambas áreas

BIOTA

Para identificar áreas prioritarias y áreas naturales protegidas dentro de la propuesta de ZRE, se cruzó información con las capas de las áreas de importancia para la conservación y de los ejemplares registrados tanto de flora como de fauna del Sistema Nacional de Información sobre la Biodiversidad, con la que cuenta la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), así como la capa del sistema de Información Geográfica de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).

Para caracterizar la flora y fauna en la propuesta de ZRE, se consultó el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB), que contiene información validada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Aunque este listado es preliminar, sirvió como línea base para la identificación de la biodiversidad en el área.

Se obtuvieron registros de ejemplares del SNIB dentro de la propuesta de la ZRE utilizando coordenadas y análisis espacial en ArcMap. La información relevante, como ubicación, grupo biológico, nombre científico y estatus en la NOM-059-SEMARNAT-2010, CITES o IUCN. Dicha información se almacenó en una base de datos. Finalmente, se realizaron análisis y gráficas para monitorear la distribución de especies y tomar decisiones para la restauración ecológica.

Es importante señalar que, los datos disponibles representan solo una muestra de la diversidad biológica en un área específica. No todos los individuos de una especie están registrados, y existen limitaciones en la cobertura y precisión de los datos. Por lo tanto, para obtener una comprensión completa de los ecosistemas, es necesario complementar esta información con otras fuentes relevantes.

En cuanto al análisis de vegetación, se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) para estudiar los tipos de vegetación en la propuesta de ZRE. Se cruzaron datos con las capas de Uso de Suelo y Vegetación INEGI serie VII (INEGI, 2021) para obtener las superficies de cada tipo de vegetación en la propuesta de ZRE.

Además, se evaluaron y definieron las microcuencas que se ubican dentro de la propuesta de ZRE. Esto se basó en características físicas, climáticas, hidrológicas y sociales. Para determinar las áreas prioritarias, se analizaron elementos biofísicos como pendiente, micro relieve, tipo de suelo, roca, cobertura vegetal y uso del suelo. La metodología utilizada se basó en Matus, O. (2009), con adaptaciones según la logística de la zona.

Las herramientas de trabajo incluyeron Google Earth, Global Mapper y ArcGIS para el procesamiento de datos geospaciales. Además, se consultó información de fuentes como el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), el Servicio Geológico Mexicano (SGM) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, así como el navegador EO Browser para aplicaciones SIG.

A) DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS ACELERADOS DE DESERTIFICACIÓN, DEGRADACIÓN O AFECTACIONES IRREVERSIBLES DE LOS ECOSISTEMAS O SUS ELEMENTOS

La seguridad hídrica de la propuesta de la ZRE depende de una combinación compleja de factores bióticos como la flora, la fauna, o abióticos como el lugar geográfico, el clima, etc., los cuales ofrecen servicios ambientales en beneficio de las comunidades ahí establecidas. Estos servicios van desde almacenamiento de agua dulce, la regulación de los caudales, la purificación del agua, la recarga del agua subterránea y su relación con la regulación de la calidad del aire, el clima, la protección del suelo, y la reducción de riesgos asociados a desastres relacionados con el agua (sequías e inundaciones).

Factores como el crecimiento poblacional, el aumento de la presencia industrial dispersa y la intensa actividad agrícola, así como, cambios en el uso del suelo, ampliación de la infraestructura industrial y urbanización, explican la degradación progresiva que ha sufrido la propuesta de la ZRE, lo que ha derivado en repercusiones en la disponibilidad

y calidad del agua, degradando el bienestar de las personas que dependen de los bienes y servicios ecosistémicos.

CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL

En el periodo comprendido del 5 al 8 de junio de 2023, se realizó un muestreo en 18 puntos de agua superficial que se encuentran dentro de la propuesta de la ZRE en consenso con los representantes de los municipios de Atotonilco de Tula, Tula de Allende, Tepetitlán y Tezontepec de Aldama (Tabla 13).

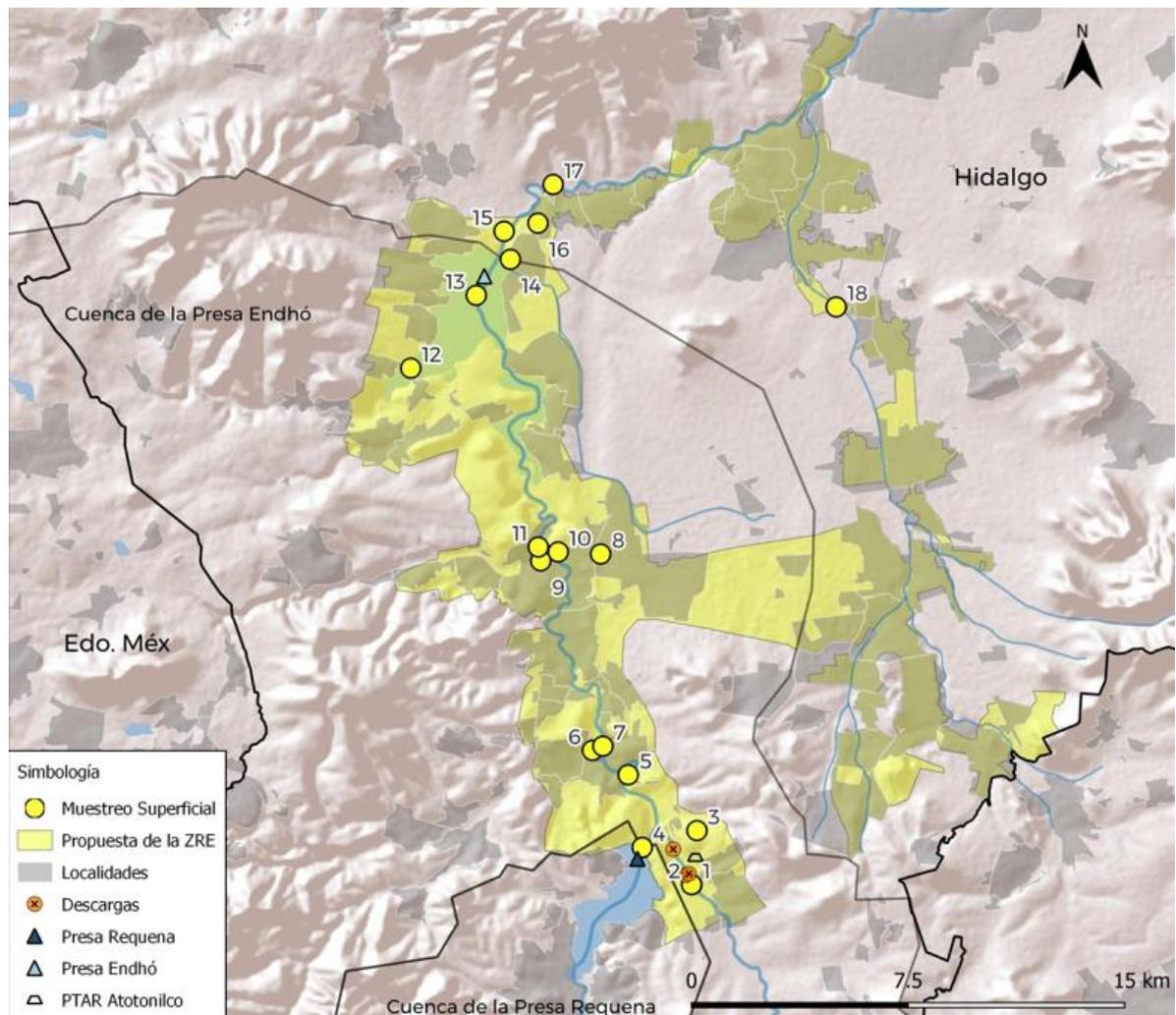
Tabla 13. Ubicación de los 18 sitios de muestreo de agua superficial en la propuesta de la ZRE

No	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS		MUNICIPIO
		LATITUD	LONGITUD	
1	Salida Túnel Emisor Oriente (TEO)	19°56'58.34"N	99°17'46.00"O	Atotonilco de Tula
2	Salida Túnel Emisor Central (TEC)	19°56'59.35"N	99°17'44.32"O	Atotonilco de Tula
3	Salida PTAR Atotonilco	19°58'2.81"N	99°17'40.00"O	Atotonilco de Tula
4	Descarga presa Requena	19°57'42.76"N	99°18'45.07"O	Tula de Allende
5	Aguas arriba de la industria del cemento y cal	19°59'9.28"N	99°19'1.88"O	Tula de Allende
6	Río Tlautla	19°59'38.38"N	99°19'44.51"O	Tula de Allende
7	Aguas abajo de la industria del cemento y cal	19°59'43.41"N	99°19'32.01"O	Tula de Allende
8	Registro de la industria petrolera	20° 3'32.28"N	99°19'34.71"O	Tula de Allende
9	Río Rosas, Col. Centro, Tula de Allende.	20° 3'24.15"N	99°20'45.97"O	Tula de Allende
10	Descarga de la industria petrolera	20° 3'34.73"N	99°20'25.20"O	Tula de Allende
11	Río Tula y río Rosas, Col. 16 de Enero, Tula de Allende.	20° 3'40.61"N	99°20'48.87"O	Tula de Allende
12	Rivera Presa Xijay Presa Endhó	20° 7'13.68"N	99°23'20.72"O	Tula de Allende
13	Rivera Presa Endhó	20° 8'40.49"N	99°22'2.79"O	Tepetitlán
14	Túnel del vertedor Presa Endhó	20° 9'23.30"N	99°21'22.06"O	Tepetitlán
15	Zona baja del vertedor P Endhó	20° 9'56.69"N	99°21'29.60"O	Tepetitlán
16	Compuertas Terrazas P. Endhó	20°10'6.47"N	99°20'49.29"O	Tezontepec de Aldama
17	Río Tula, puente Binola, San Gabriel, Tezontepec de Aldama.	20°10'52.51"N	99°20'31.23"O	Tezontepec de Aldama
18	Canal tapado y río Salado, presas, Tezontepec de Aldama	20° 8'26.69"N	99°14'54.22"O	Tezontepec de Aldama

Fuente: Elaboración propia, derivada del muestreo en campo del IMTA

Los puntos de muestreo de calidad se muestran en la Figura 18. El estado de la calidad del agua de los sitios fue calificado de la siguiente manera: calidad excelente, buena, aceptable, contaminada, o fuertemente contaminada, con base en indicadores (Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales y Coliformes fecales en términos de *Escherichia coli*) (CONAGUA, 2018; IMTA y CAME, 2020)

Figura 18. Ubicación de puntos de medición de calidad de agua superficial en la propuesta de la ZRE



FUENTE: Elaboración propia con información obtenida in sitio por el IMTA

Para los metales presentes en las muestras de agua se calculó un Índice de Contaminación por Metales (ICM) (propuesto Backman et al., (1998)). El ICM calcula la contaminación relativa de diferentes metales por separado y presenta la sumatoria generada por cada uno de estos componentes. Tabla 14

Los valores normativos considerados en este caso son de carácter internacional. Se consultaron los criterios de calidad del agua para protección a la vida acuática y protección de la salud humana de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US-EPA, por sus siglas en inglés), así como los de abastecimiento público de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Para la aplicación del ICM se seleccionó el valor más estricto de estos valores normativos y aquellos que presenten valores por arriba del límite de cuantificación; los que cumplen la normativa no son considerados.

Tabla 14. Valores normativos de referencia para metales bajo diferentes usos del agua (Unidades en mg/L)

Criterio de Calidad del Agua	Plomo	Arsénico	Zinc	Cadmio	Cromo Total	Níquel	Cobre	Mercurio
Protección de la vida acuática (US-EPA)	0.065	0.34	0.12	0.002	0.016	0.47	NE	0.0014
Protección de la salud humana (US-EPA)	NE	0.000018	7.4	NE	NE	0.61	1.3	NE
Abastecimiento público (OMS)	0.01	0.01	NE	0.003	NE	NE	2	0.006
Criterio Seleccionado	0.01	0.01	0.12	0.002	0.016	0.47	1.3	0.0014
Se indica si se detectó en las muestras	Ausente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Ausente

Fuente: Elaboración propia, con información de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US-EPA, por sus siglas en inglés) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).
NE: No específica.

Los resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) representan la presencia de compuestos orgánicos de fácil biodegradabilidad (Figura 19). De acuerdo con la escala de calificación de la CONAGUA, presentada en la Tabla 15, el 11.1% de los sitios (Descarga de la industria petrolera y Zona baja del vertedor P. Endhó) califican de calidad del agua para DBO₅ excelente, 5.5 % (Registro de la industria petrolera) de buena calidad del agua para DBO₅, 33.3 % (Río Tlautla, Rivera P. Endhó, Tunel del vertedor P. Endhó, Compuertas Terrazas P. Endhó, Río Tula Puente y Descarga P. Requena) calidad del agua para DBO₅ aceptable, 33.3% (Tunel Emisor Central, Aguas abajo de la industria del cemento y cal, Río Rosas, río Tula y Río Rosas, Rivera Presa Xijay P. Endhó y Canal tapado y río Salado) calidad del agua para DBO₅ contaminada, y 16.6% (Tunel Emisor Oriente, Salida PTAR Atotonilco y Aguas arriba de la industria del cemento y cal) calidad del agua para DBO₅ fuertemente contaminada.

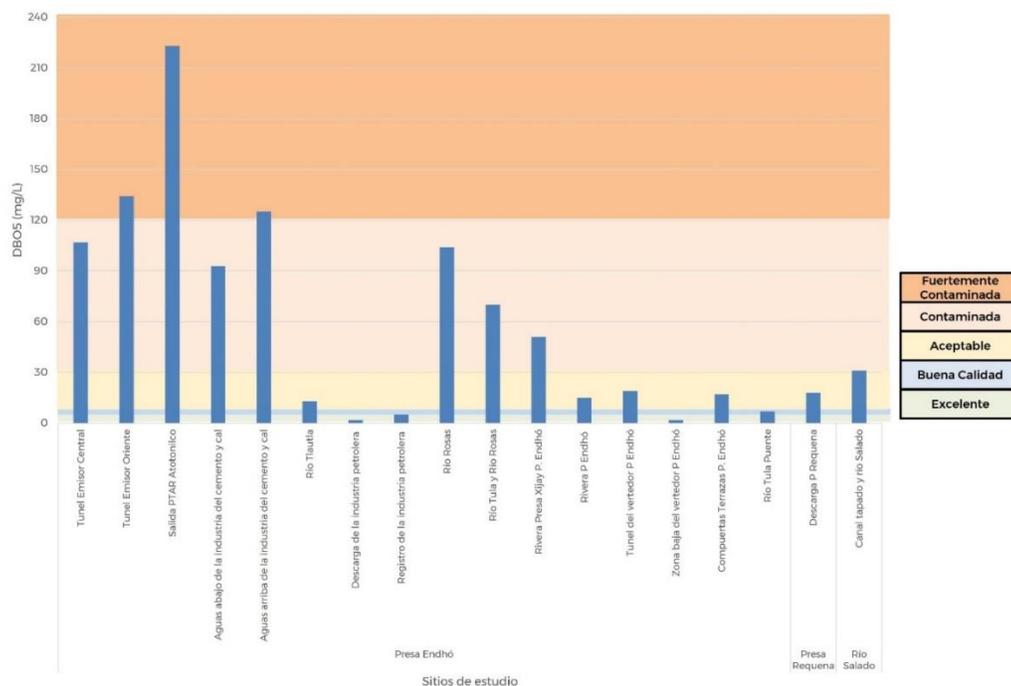
Tabla 15. Valores normativos de referencia para Calidad del agua DBO₅

Calidad del Agua para DBO₅	Criterio	Descripción
Excelente	DBO ₅ menor o igual a tres	Agua no contaminada.
Buena calidad	DBO ₅ mayor de tres y menor o igual a seis	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.
Aceptable	DBO ₅ mayor de seis y menor o igual a 30	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
Contaminada	DBO ₅ mayor de 30 y menor o igual a 120	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Fuertemente contaminada	DBO ₅ mayor de 120	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

FUENTE: Índice de Calidad del Agua-CONAGUA

El resumen de las mediciones realizadas se encuentra en la Figura 19

Figura 19. Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) analizados a partir de la escala de clasificación de agua superficial de la CONAGUA



FUENTE: Elaboración propia con información de los resultados obtenidos del análisis de calidad del agua del laboratorio del IMTA

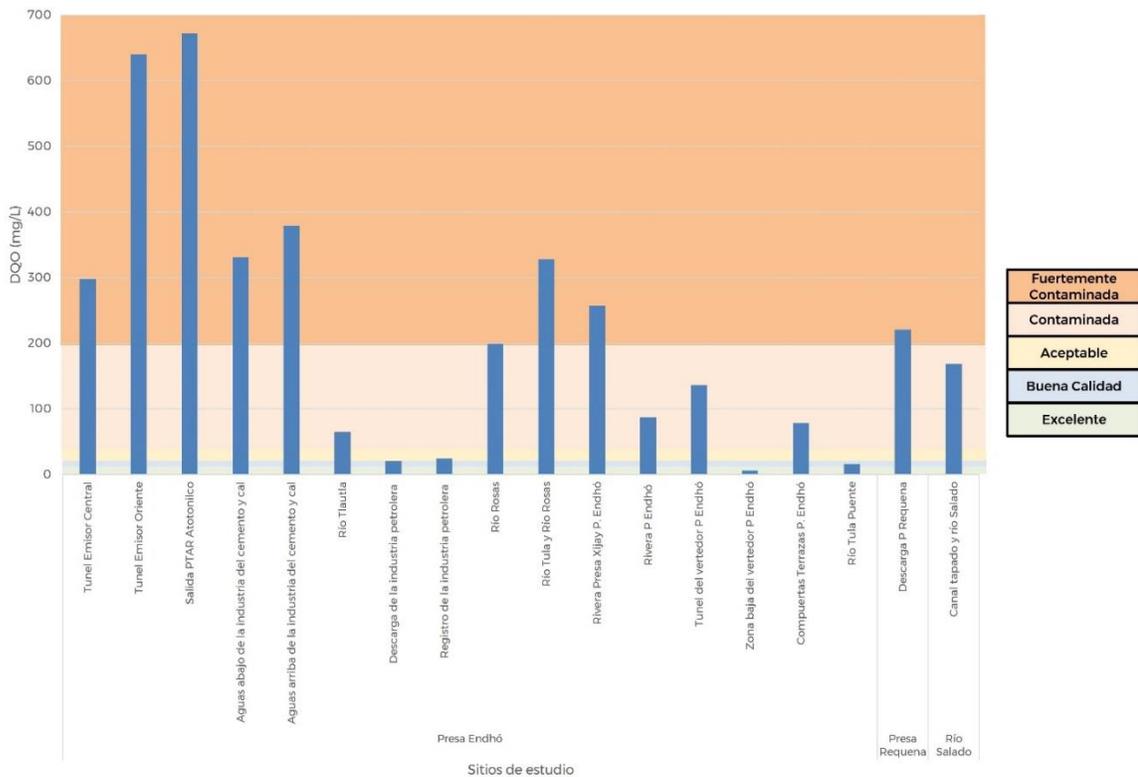
Los resultados de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) por su parte, indican la presencia de compuestos orgánicos de difícil biodegradación (Figura 20). De acuerdo con la escala de calificación de la CONAGUA, establecida en la Tabla 16, del total de los sitios, 5.5% (Zona baja del vertedor P. Endhó) califican como excelente la calidad del agua para DQO, 5.5% (Río Tula Puente) de buena la calidad del agua para DQO, 11.1% (Descarga de la industria petrolera y Registro de la industria petrolera) como aceptable la calidad del agua para DQO, 27.7% (Río Tlautla, Río Rosas, Rivera P. Endhó, Tunel del vertedor P. Endhó, Compuertas Terrazas P. Endhó y Canal tapado y río Saldado) como contaminada la calidad del agua para DQO y 44.4% (Tunel Emisor Central, Tunel Emisor Oriente, Salida PTAR Atotonilco, Aguas abajo de la industria del cemento y cal, Aguas arriba de la industria del cemento y cal, Río Tula y Río Rosas, Rivera Presa Xijay P. Endhó y Descarga Requena) fuertemente contaminada la calidad del agua para DQO. La zona de estudio con los valores más altos de DQO nuevamente se encuentra dentro de la cuenca de la presa Endhó, TEO y la salida de la PTAR de Atotonilco (con 640 mg/L y 672 mg/L respectivamente). En contraste la zona baja del vertedor presentó el valor más bajo (6.38 mg/L).

Tabla 16. Valores normativos de referencia para Calidad del agua DQO

Calidad del Agua para DQO	Criterio	Descripción
Excelente	DQO menor o igual a 10	Agua no contaminada.
Buena calidad	DQO mayor de 10 y menor o igual a 20	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable.
Aceptable	DQO mayor de 20 y menor o igual a 40	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
Contaminada	DQO mayor de 40 y menor o igual a 200	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Fuertemente contaminada	DQO mayor de 200	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

FUENTE: Índice de Calidad del Agua -CONAGUA

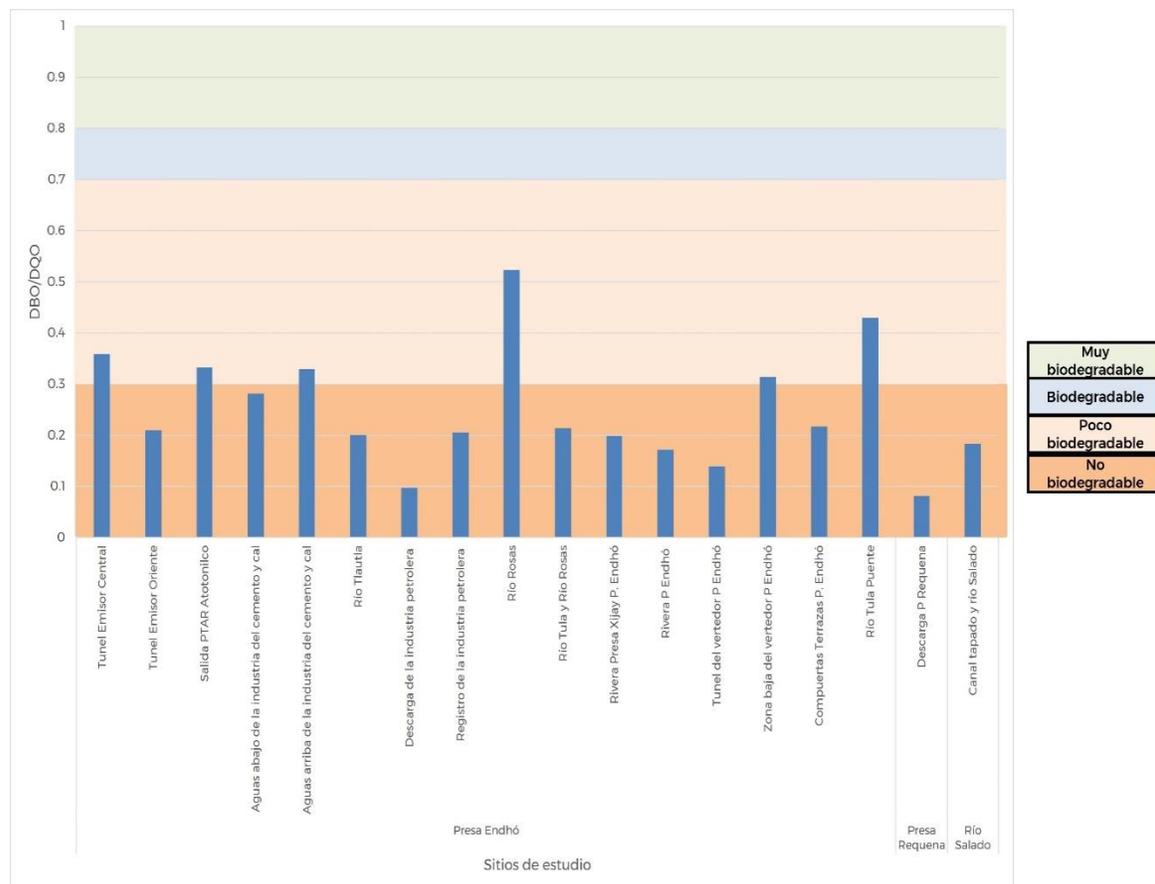
Figura 20. Resultados de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) analizados a partir de la escala de clasificación de agua superficial de la CONAGUA



FUENTE: Elaboración propia con información de los resultados obtenidos del análisis de calidad del agua del laboratorio del IMTA

Los resultados de la relación DBO/DQO indican la capacidad de biodegradación (Figura 21). De acuerdo con la escala de biodegradabilidad propuesta por Arias et al. (2012) del total de los sitios, 66.6% (Túnel Emisor Oriente, Aguas abajo de la industria del cemento y cal, Río Tautla, Descarga de la industria petrolera, Registro de la industria petrolera, Río Tula y Río Rosas, River Presa Xijay P. Endhó, River P. Endhó, Túnel del vertedor P. Endhó, Compuertas Terrazas P. Endhó, Descarga P. Requena y Canal tapado y río Salado) califican como no biodegradable; mientras que el resto de los sitios, el 33.3 % (Túnel Emisor Central, Salida PTAR Atotonilco, Aguas arriba de la industria del cemento y cal, Río Rosas, Zona baja del vertedor P. Endhó y Río Tula Puente) califican como poco biodegradables.

Figura 21. Resultados de la relación DBO/DQO analizados a través de los criterios de biodegradabilidad propuestos por Arias



FUENTE: Elaboración propia con información de los resultados obtenidos del análisis de calidad del agua del laboratorio del IMTA con base en Arias et al., (2012)

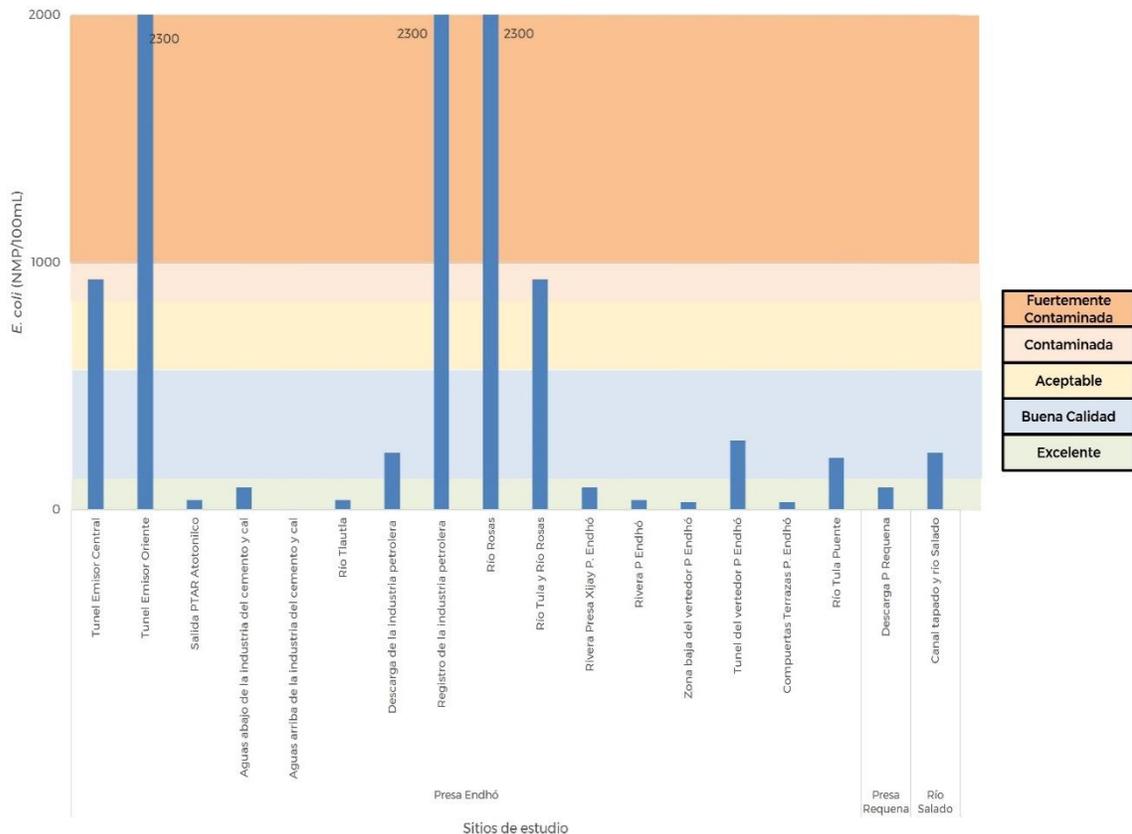
Los resultados de la concentración de *Escherichia coli* indican la presencia de aguas servidas provenientes principalmente por descargas domésticas (Figura 22). De acuerdo con la escala de calificación de la CONAGUA, establecida en la Tabla 17, del total de los sitios, el 50 % (Salida PTAR Atotonilco, Aguas abajo de la industria del cemento y cal, Aguas arriba de la industria del cemento y cal, Río Tautla, Rivera Presa Xijay P. Endhó, River P. Endhó, Compuertas Terrazas P. Endhó y Descarga P. Requena) califican como excelente la calidad del agua para *Escherichia Coli*, el 22.2% (Descarga de la industria petrolera, Túnel del vertedor P. Endhó, Río Tula puente, y Canal tapado y río salado) califican como buena calidad del agua para *Escherichia Coli*, el 11.1 % (Túnel Emisor Central, y Río Tula y Río Rosas) califican como contaminada la calidad del agua para *Escherichia Coli* y el 16.6 % (Túnel Emisor Oriente, Registro de la industria petrolera y Río Rosas) califican como fuertemente contaminadas la calidad del agua para *Escherichia Coli*.

Tabla 17. Valores normativos de referencia para Calidad del agua E. Coli

Calidad del Agua para Escherichia Coli	Criterio	Descripción
Excelente	<i>E.coli</i> menor o igual a 126	Agua no contaminada o condición normal. No hay evidencia de alteración en los valores de la calidad bacteriológica para el cuerpo de agua superficial.
Buena calidad	<i>E.coli</i> mayor de 126 y menor o igual a 576	Aguas superficiales con calidad satisfactoria para la vida acuática y para uso recreativo con contacto primario, así como para otros usos. Indicios de alteración de la calidad bacteriológica.
Aceptable	<i>E.coli</i> mayor de 576 y menor o igual a 850	Aguas superficiales con calidad admisible como fuente de abastecimiento de agua potable y para riego agrícola. Muestra bajos niveles de alteración como resultado de la actividad humana.
Contaminada	<i>E.coli</i> mayor de 850 y menor o igual a 1000	Aguas superficiales con contaminación bacteriológica. Indica alteración substancial con respecto a la condición normal.
Fuertemente contaminada	<i>E.coli</i> mayor de 1000	Aguas superficiales con fuerte contaminación bacteriológica. Alteración severa.

FUENTE: Índice de Calidad del Agua en base a CONAGUA

Figura 22. Resultados de la presencia de Coliformes fecales, específicamente por Escherichia coli (*E. coli*) analizados a partir de la escala de clasificación de agua superficial de la CONAGUA



FUENTE: Elaboración propia con información de los resultados obtenidos del análisis de calidad del agua del laboratorio del IMTA

La concentración de Sólidos Suspendedos Totales proviene principalmente de las aguas residuales y la erosión del suelo. El incremento en los niveles de sólidos suspendidos totales en los cuerpos de agua provoca su turbidez y reduce la penetración de la luz solar, impidiendo el desarrollo de la vegetación acuática y afectando al resto de su biodiversidad.

De acuerdo con la escala de calificación de la calidad del agua para sólidos suspendidos totales de la CONAGUA (Tabla 18), 27.7 % del total de los sitios (Río Tlautla, Descarga de la industria petrolera, Registro de la industria petrolera, Zona Baja del vertedor P. Endhó y Río Tula Puente) presentan categoría excelente la calidad del agua para sólidos suspendidos totales, 33.3 % (Río Rosas, Rivera Presa Xijay P. Endhó, Rivera P. Endhó, Túnel del vertedor P. Endhó, Compuertas Terrazas P. Endhó y Descarga P Requena) presentan buena la calidad del agua para sólidos suspendidos totales, 22.2 % (Túnel Emisor Central, Túnel Emisor Oriente, Río Tula y Río Rosas, y Canal tapado y río Salado) contaminada la calidad del agua para sólidos suspendidos totales y 16.66 % (Salida PTAR Atotonilco,

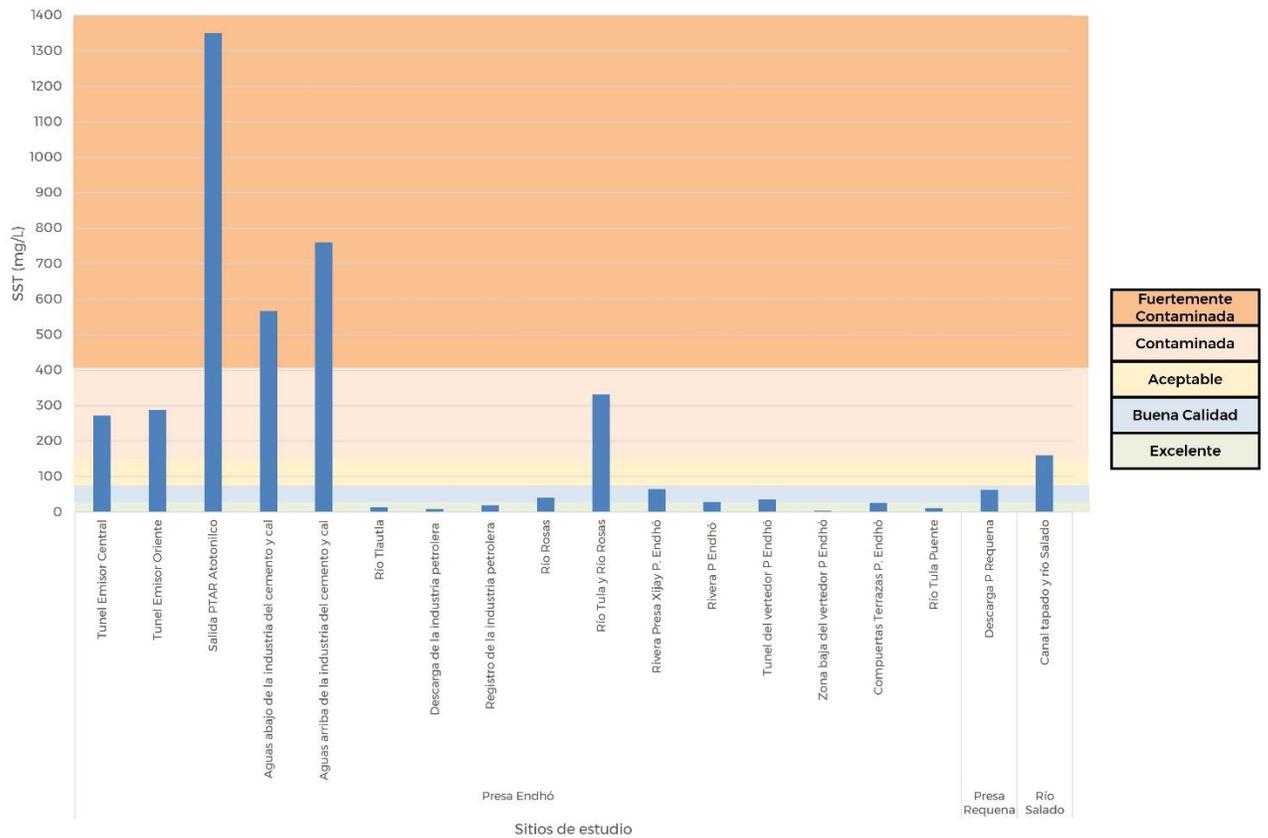
Aguas abajo de la industria del cemento y cal y Aguas arriba de la industria del cemento y cal) fuertemente contaminada la calidad del agua para sólidos suspendidos totales. Los sitios con la mayor concentración de sólidos suspendidos totales fueron el sitio Aguas abajo de la industria del cemento y cal (567 mg/L) y Aguas arriba de la industria del cemento y cal (760 mg/L) y la salida de la PTAR de Atotonilco (1,350 mg/L). En contraste, los sitios con los valores más bajos se encontraron en zona baja del vertedor (3.5 mg/L) (Figura 23).

Tabla 18. Valores normativos de referencia para Calidad del agua para Sólidos Suspendidos Totales (SST)

CALIDAD DEL AGUA PARA SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Excelente	SST menor o igual a 25	Clase de excepción, muy buena calidad.
Buena calidad	SST mayor de 25 y menor o igual a 75	Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto.
Aceptable	SST mayor de 75 y menor o igual a 150	Aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido.
Contaminada	SST mayor de 150 y menor o igual a 400	Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Agua con alto contenido de material suspendido.
Fuertemente contaminada	SST mayor de 400	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces.

FUENTE: Índice de Calidad del Agua en base a CONAGUA

Figura 23. Resultados de la concentración de SST analizados a partir de la escala de clasificación de agua superficial de la CONAGUA



FUENTE: Elaboración propia con información de los resultados obtenidos del análisis de calidad del agua del laboratorio del IMTA

El índice de contaminación por metales se calculó únicamente tomando en consideración Arsénico, Cobre y Zinc, debido a que fueron los que presentaron valores por arriba del límite de cuantificación, y en algunos casos por encima de los límites máximos permisibles considerados, descritos en la Tabla 19.

Tabla 19. Valores de referencia para metales bajo diferentes usos del agua (Unidades en mg/L)

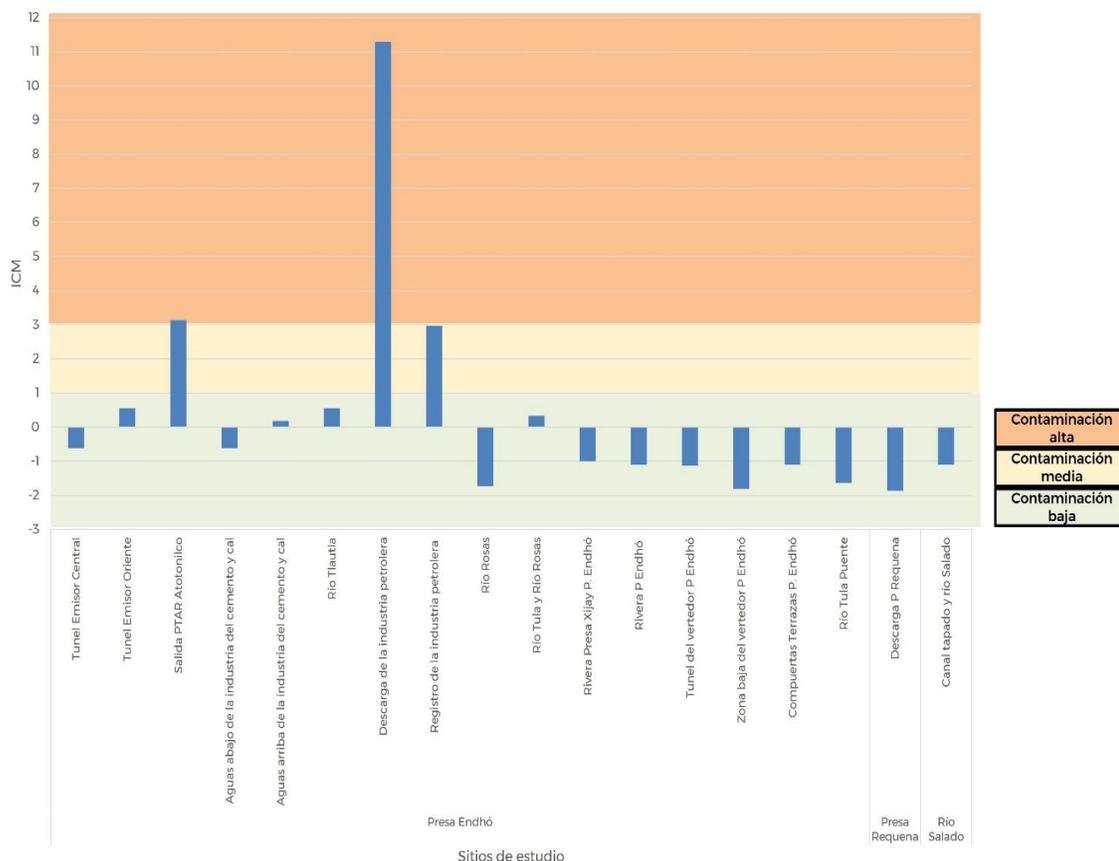
Criterio de Calidad del Agua	Plomo	Arsénico	Zinc	Cadmio	Cromo Total	Níquel	Cobre	Mercurio
Protección de la vida acuática (US-EPA)	0.065	0.34	0.12	0.002	0.016	0.47	NE	0.0014
Protección de la salud humana (US-EPA)	NE	0.000018	7.4	NE	NE	0.61	1.3	NE

Abastecimiento público (OMS)	0.01	0.01	NE	0.003	NE	NE	2	0.006
Criterio Seleccionado	0.01	0.01	0.12	0.002	0.016	0.47	1.3	0.0014
Se indica si se detectó en las muestras	Ausente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Ausente

Fuente: Elaboración propia, con información de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US-EPA, por sus siglas en inglés) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).
NE: No específica.

Dos sitios se encuentran dentro de la categoría de **contaminación alta**: salida PTAR Atotonilco (3.13 unidades del índice) y Descarga de la industria petrolera (11.28 unidades del índice), siendo este último el del valor más alto. En la categoría de **contaminación media** se encuentra Registro de la industria petrolera (2.97 unidades del índice); mientras que el resto de los sitios presentan **contaminación baja** (valores <1 unidad del índice).
Figura 24.

Figura 24. Resultados del índice de contaminación por metales propuesto por Backman



FUENTE: Elaboración propia con información de los resultados obtenidos del análisis de calidad del agua del laboratorio del IMTA y con información de Backman et al., (1998)

CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

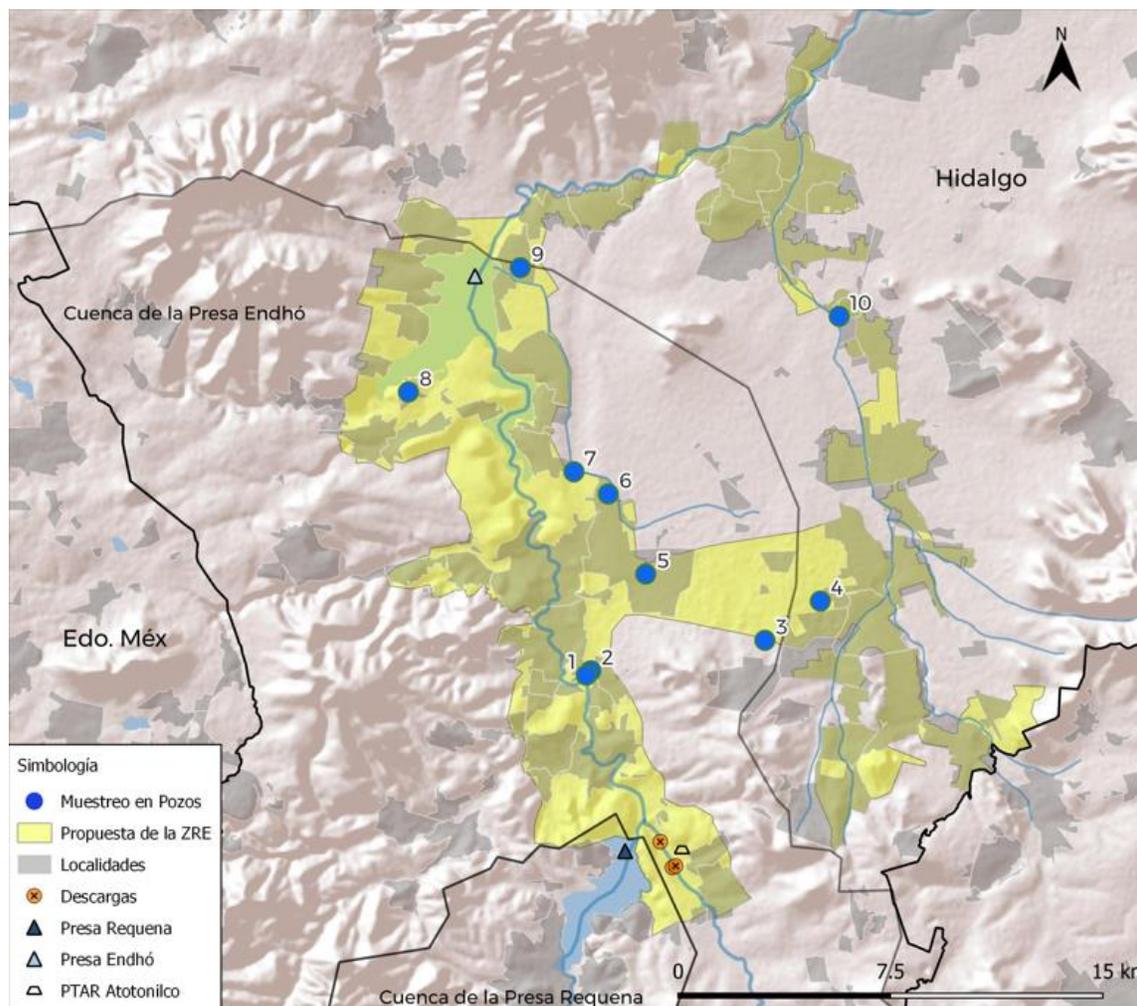
A partir de las muestras de agua subterránea que se obtuvieron de 10 pozos (dentro del periodo de 5 al 16 de junio de 2023) a lo largo de los municipios de Tepetitlán, Tezontepec de Aldama, Tula de Allende y Atitalaquia, todos ellos dentro de la propuesta de ZRE. La ubicación de los pozos de agua se observa en la Tabla 20 y Figura 25.

Tabla 20. Ubicación de los sitios de muestreo de calidad del agua subterránea en la propuesta de la ZRE

No	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS		MUNICIPIO
		LATITUD	LONGITUD	
1	Manantial El Salado	20° 1'1.10"N	99°19'38.10"O	Tula de Allende
2	Pozo Zaragoza	20° 1'6.90"N	99°19'32.80"O	Tula de Allende
3	Pozo Los Cuates	20° 1'43.30"N	99°16'1.40"O	Tula de Allende
4	Pozo Bojay	20° 2'30.90"N	99°14'54.00"O	Atitalaquia
5	Pozo El Llano #20	20° 3'3.60"N	99°18'25.56"O	Tula de Allende
6	Pozo Iturbide	20° 4'40.20"N	99°19'11.60"O	Tula de Allende
7	Pozo San Francisco Bojay	20° 5'7.00"N	99°19'53.20"O	Tula de Allende
8	Pozo Michimaltongo	20° 6'43.20"N	99°23'11.40"O	Tula de Allende
9	Pozo Gral. Pedro María Anaya	20° 9'13.20"N	99°20'58.40"O	Tepetitlán
10	Pozo Colonia Cuauhtémoc	20° 8'14.30"N	99°14'30.80"O	Tezontepec de Aldama

Fuente: Elaboración propia, derivada del muestreo en campo del IMTA

Figura 25. Ubicación de los sitios de muestreo de calidad del agua subterránea en la propuesta de la ZRE.



FUENTE: Elaboración propia con información obtenida en sitio por el IMTA

Se analizaron variables fisicoquímicas, microbiológicas y de metales para determinar su calidad. Se emplearon las escalas de calificación para agua subterránea propuestas por la CONAGUA (2018) para diferentes parámetros: Fluoruros, Manganeseo, Nitratos, Alcalinidad, Arsénico, Conductividad, Sólidos Disueltos Totales (con enfoque para riego y para consumo), y la presencia de Coliformes fecales en términos de *Escherichia coli*.

La presencia de Fluoruros en agua subterránea puede estar relacionado con las descargas de industrias de aluminio, fosfatos, carbón, petróleo, vidrio, cerámica, acero, semiconductores, así como por la incineración de residuos municipales de plásticos y textiles fluorados (Sivasankar et al., 2016); sin embargo, la contaminación de las aguas subterráneas se debe principalmente al origen geogénico, a través de las interacciones del agua con las rocas a partir del fenómeno de lixiviación de minerales.

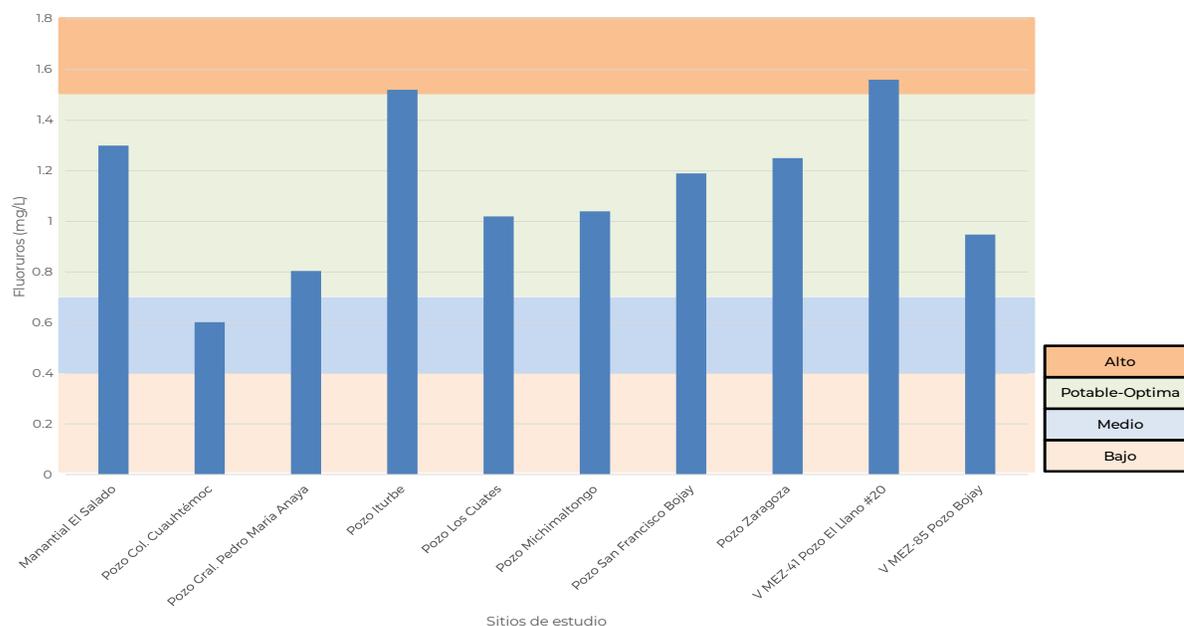
De acuerdo con las categorías de calificación de la CONAGUA establecidas en la Tabla 21 para la concentración de fluoruros muestra que el 10% de los sitios (Pozo Col. Cuauhtémoc) ubicado en municipio de Tezontepec de Aldama posee calidad del agua media; 70% (Manantial El Salado, Pozo los Cuates, Pozo Michimaltongo, Pozo San Francisco Bojay, Pozo Zaragoza y V MEZ-85 Pozo Bojay ubicados en Tula de Allende y Pozo Gral. Pedro María Anaya en el municipio de Tepetitlán, están en el rango de potable-óptima y el 20% (Pozo Iturbide y Pozo el Llano #20) del municipio Tula de Allende poseen una calidad del agua alta (No apta como fuente de abastecimiento). Figura 26.

Tabla 21. Valores de referencia para Calidad del agua para Fluoruros

Calidad del Agua para Fluoruros	Criterio	Descripción
Potable - Óptima	FLUO mayor o igual a 0.7 y menor de 1.5	Agua potable. Agua no contaminada o condición normal
Media	FLUO mayor o igual a 0.4 y menor de 0.7	Agua con nivel medio de fluoruros
Baja	FLUO mayor o igual a 0 y menor de 0.4	Agua con bajo contenido de fluoruros
Alta	FLUO mayor o igual a 1.5	Agua no apta como fuente de abastecimiento de agua potable

FUENTE: Índice de Calidad del Agua con base en CONAGUA

Figura 26. Resultados de la concentración de Fluoruros analizados a partir de la escala de clasificación de agua subterránea de la CONAGUA



FUENTE: Elaboración propia con información de los resultados obtenidos del análisis de calidad del agua del laboratorio del IMTA

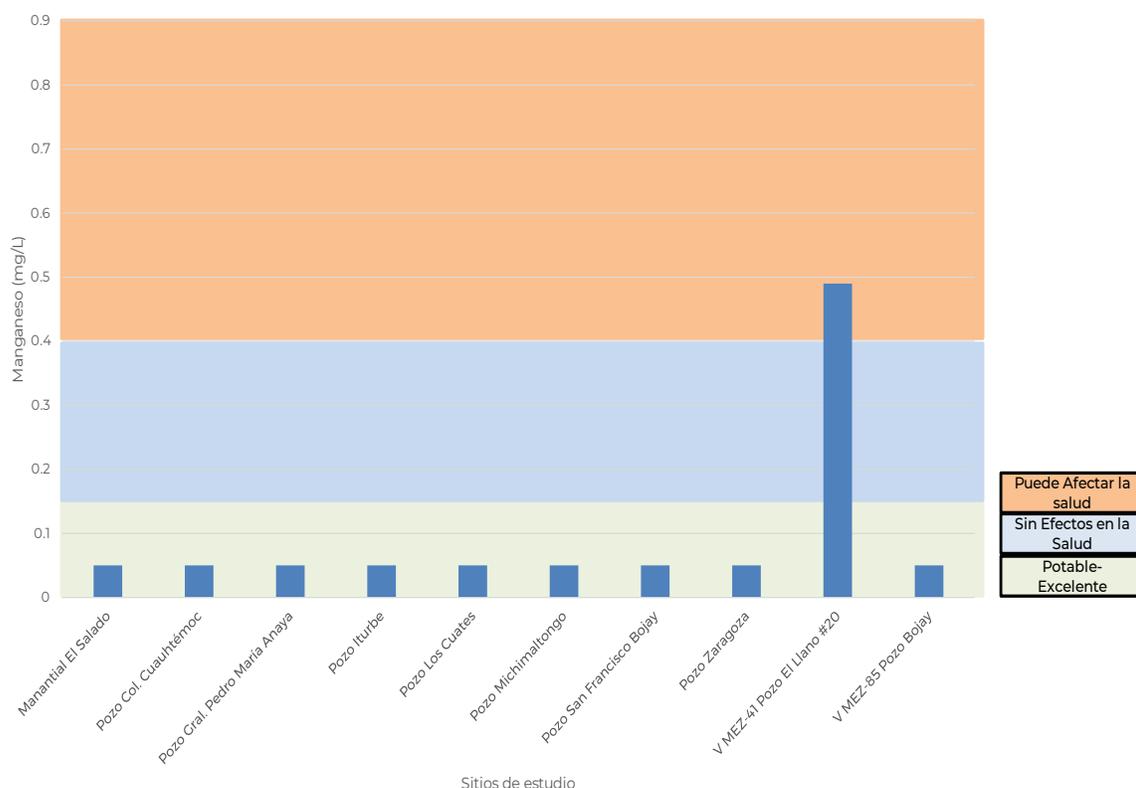
El manganeso es un mineral que se encuentra naturalmente en el medio ambiente y es uno de los metales más abundantes en la superficie terrestre, en el aire y agua. Se puede encontrar tanto en aguas subterráneas como superficiales de fuentes naturales o como resultado de la actividad humana, como la minería y los vertidos industriales. En general, el manganeso es más frecuente y se encuentra en concentraciones más altas en las aguas subterráneas que en las aguas superficiales. De acuerdo con la escala de calificación de la calidad del agua para manganeso de la CONAGUA (Tabla 22) sólo el Pozo el Llano# 20, localizado en el Municipio de Tula de Allende, se encuentra en la categoría que puede afectar la salud. Figura 27.

Tabla 22. Valores de referencia para Calidad del agua para Manganeso

Calidad del Agua para Manganeso	Criterio	Descripción
Potable - Excelente	Mn menor o igual a 0.15	Agua potable. Agua no contaminada o condición normal
Sin efectos en la salud - Puede dar color al agua	Mn mayor de 0.15 y menor o igual a 0.4	Sin efectos en la salud - Puede dar color al agua
Puede afectar la salud	Mn mayor de 0.4	Agua no apta como fuente de abastecimiento de agua potable. Puede afectar la salud

FUENTE: Índice de Calidad del Agua con base en CONAGUA

Figura 27. Resultados de la concentración de Manganeseo analizados a partir de la escala de clasificación de agua subterránea de la CONAGUA



FUENTE: Elaboración propia con información de los resultados obtenidos del análisis de calidad del agua del laboratorio del IMTA

La entrada de nitratos a las aguas subterráneas es resultado de procesos naturales y del efecto directo o indirecto de las actividades humanas. Los procesos naturales incluyen la precipitación, el intemperismo de los minerales y la descomposición de la materia orgánica. Los nitratos provenientes de las actividades humanas incluyen: la escorrentía de terrenos cultivados, efluentes de lagunas y tanques sépticos, fertilización excesiva con nitrógeno, deforestación y el cambio en la materia orgánica del suelo como resultado de la rotación de cultivos.

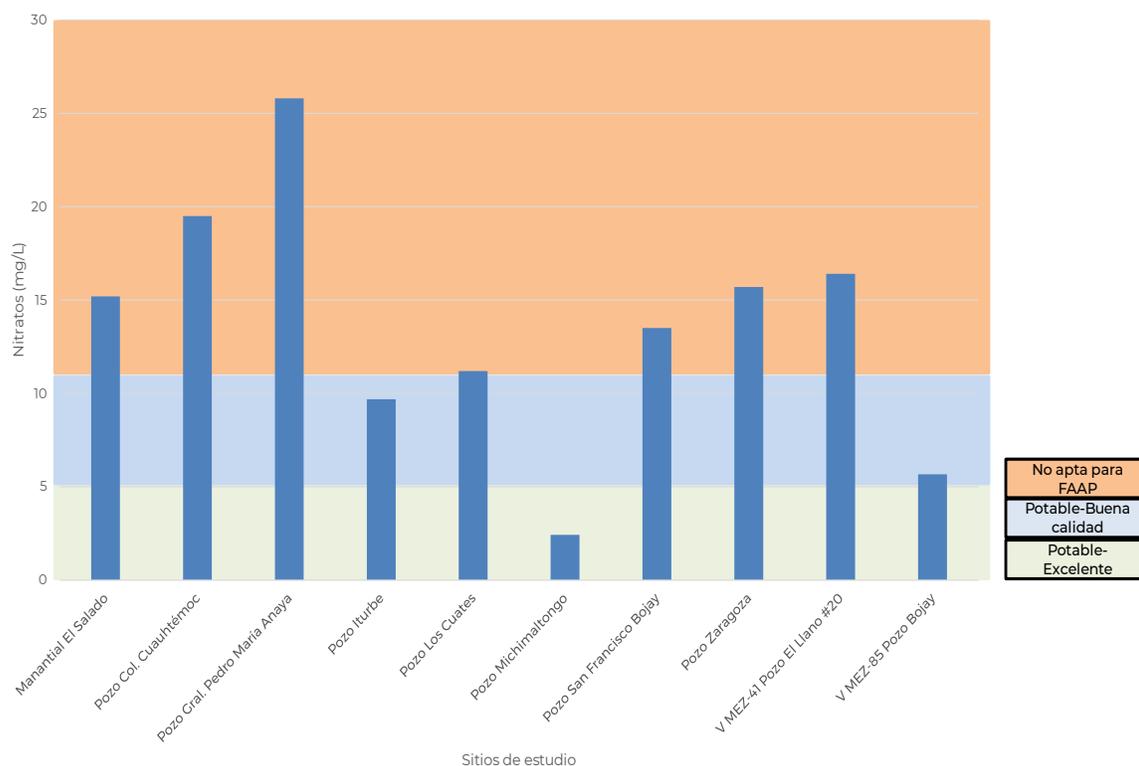
De acuerdo con la escala de calificación de la CONAGUA, establecida en la Tabla 23, el 10% de los sitios (Pozo Michimaltongo ubicado en Tula de Allende) se encuentran en la categoría de Potable-Excelente, 20% (Pozo Iturbide y V MEZ-85 Pozo Bojay, ubicados en Tula de Allende y Atitalaquia, respectivamente) en la categoría de Potable-Buena, y el 70% son considerados como no aptos para Fuente de Abastecimiento de Agua Potable (FAAP). El valor más alto se encontró en el Pozo General Pedro María Anaya (25.8 mg/L) muy cerca de la presa Endhó (Tepetitlán) y dentro de la propuesta de la ZRE y el más bajo en el Pozo Michimaltongo (2.43 mg/L). Figura 28.

Tabla 23. Valores de referencia para Calidad del agua para Nitrógeno de Nitratos

Calidad del Agua para Nitrógeno de Nitratos	Criterio	Descripción
Potable Excelente	N_{NO_3} menor o igual a cinco	Agua potable. Agua no contaminada o condición normal
Potable Buena calidad	N_{NO_3} mayor de cinco y menor o igual a 11	Aguas con indicios de aguas residuales o fertilizantes. Condición eutrófica-altos niveles de nutrientes. Efectos moderados en cultivos regados
No apta como FAAP	N_{NO_3} mayor de 11	Aguas superficiales con fuerte impacto de aguas residuales crudas con alta carga de nutrientes. Condición hipertrófica, florecimientos algales que incluyen especies tóxicas a seres vivos

FUENTE: Índice de Calidad del Agua -CONAGUA

Figura 28. Resultados de la concentración de Nitratos analizados a partir de la escala de clasificación de agua subterránea de la CONAGUA



FUENTE: Elaboración propia con información de los resultados obtenidos del análisis de calidad del agua del laboratorio del IMTA

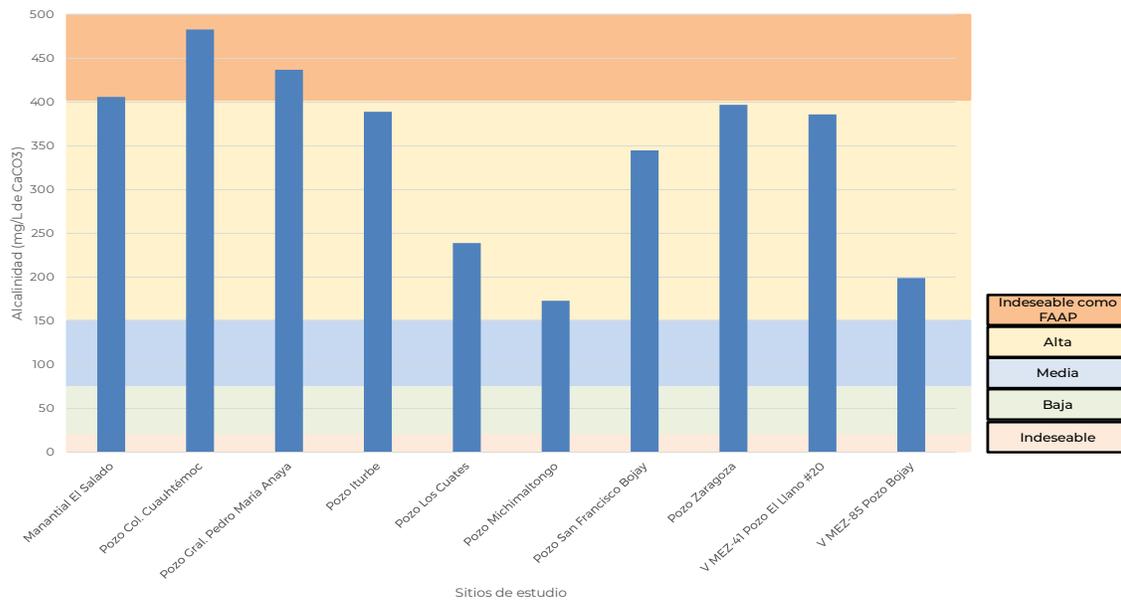
La alcalinidad del agua se debe a los contenidos de carbonatos y bicarbonatos en solución, los cuales son muy comunes en las aguas subterráneas. De acuerdo con las categorías de calificación de la CONAGUA, establecidas en la Tabla 24, el 70% de los sitios (Pozo Iturbide, Pozo Los Cuates, Pozo San Francisco Bojay, Pozo Zaragoza, Pozo el Llano #20 y V MEZ-85 Pozo Bojay) poseen una calidad del agua para alcalinidad alta, y el 30% (Manantial El Salado, Pozo Col. Cuauhtémoc y Pozo Gral. Pedro María Anaya) son indeseables como fuente de abastecimiento de agua potable. El valor más alto se encontró en el Pozo Cuauhtémoc ubicado en Tezontepec de Aldama (483 mg/L de CaCO_3) en la cuenca del río Salado; mientras que el valor más bajo en el pozo Michimaltongo ubicado en Tula de Allende (173 mg/L de CaCO_3), ambos dentro de la propuesta de la ZRE. Figura 29.

Tabla 24. Valores de referencia para Calidad del agua para Alcalinidad

Calidad del Agua para Alcalinidad	Criterio	Descripción
Baja	Alcalinidad mayor o igual a 20 y menor de 75	Agua apta como fuente de abastecimiento de agua potable
Media	Alcalinidad mayor o igual a 75 y menor o igual a 150	Agua potable. Agua no contaminada o condición normal
Alta	Alcalinidad mayor de 150 y menor o igual a 400	Agua apta como fuente de abastecimiento de agua potable
Indeseable	Alcalinidad menor de 20	Agua no apta como fuente de abastecimiento de agua potable
Indeseable como FAAP	Alcalinidad mayor de 400	Agua no apta como fuente de abastecimiento de agua potable

FUENTE: Índice de Calidad del Agua-CONAGUA

Figura 29. Resultados de la concentración de Alcalinidad analizados a partir de la escala de clasificación de agua subterránea de la CONAGUA



FUENTE: Elaboración propia con información de los resultados obtenidos del análisis de calidad del agua del laboratorio del IMTA

El arsénico se puede encontrar en agua subterránea y superficial. Sin embargo, es más frecuente en aguas subterráneas porque el mineral que se encuentra en el subsuelo, al estar tanto tiempo en contacto con el agua, termina por disolverse. Este proceso de disolución, por ser largo, produce altas concentraciones de este metaloide en el agua (Sepúlveda, 2009). En un trabajo de revisión para México Cortés et al., (2010) reconocen tres principales ambientes hidrogeológicos en donde se ha detectado la presencia de arsénico en el agua subterránea: acuíferos aluviales, áreas de actividad minera y aguas geotérmicas.

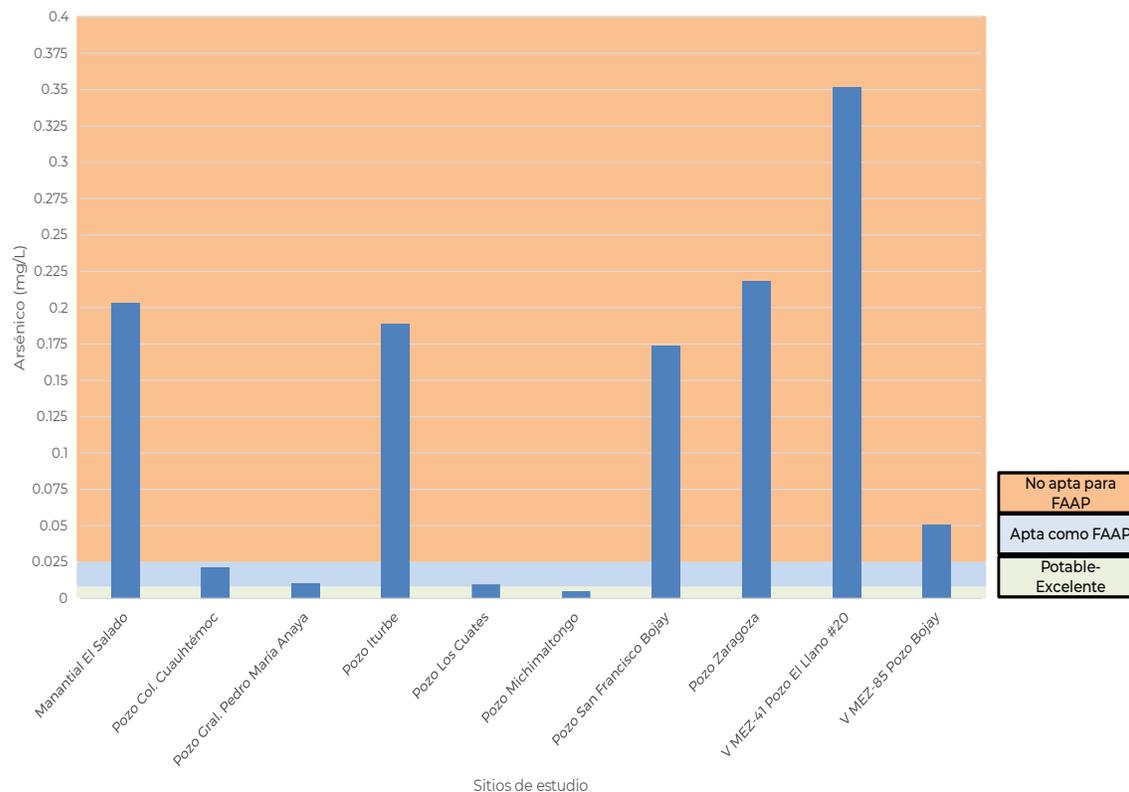
De acuerdo con las categorías de calificación de la CONAGUA, establecidas en la Tabla 25, el 20% de los sitios (Pozo Los Cuates y Pozo Michimaltongo) se encuentran en la categoría de Potable-Excelente, 20% (Pozo Col. Cuauhtémoc y Pozo Gral. Pedro María Ayala) como aptos para fuente de abastecimiento de agua potable, y 60% (Manantial el Salado, Pozo Iturbide, Pozo San Francisco Bojay, Pozo Zaragoza, Pozo el Llano #20 y V MEZ-85 Pozo Bojay) como no aptos para fuente de abastecimiento de agua potable. El valor más alto se encontró en el pozo el Llano #20, ubicado en Tula de Allende (0.3517 mg/L) aguas abajo del río Tula, después de la presa Endhó dentro de la propuesta de la ZRE; y el valor más bajo en el Pozo Michimaltongo ubicado en Tula de Allende (0.005 mg/L). Figura 30.

Tabla 25. Valores de referencia para Calidad del agua para Arsénico

Calidad del Agua para Arsénico	Criterio	Descripción
Potable - Excelente	AS menor o igual a 0.01	Agua potable. Agua no contaminada o condición normal
Apta como FAAP	AS mayor de 0.01 y menor o igual a 0.025	Agua apta como fuente de abastecimiento de agua potable
No apta como FAAP	AS mayor de 0.025	Agua no apta como fuente de abastecimiento de agua potable o requiere de tratamiento para su remoción.

FUENTE: Índice de Calidad del Agua-CONAGUA

Figura 30 Resultados de la concentración de Arsénico analizados a partir de la escala de clasificación de agua subterránea de la CONAGUA



FUENTE: Elaboración propia con información de los resultados obtenidos del análisis de calidad del agua del laboratorio del IMTA

La conductividad eléctrica es un parámetro esencial en el agua subterránea y está estrechamente relacionado con la presencia de iones disueltos. El rango de conductividad en un acuífero está en función de la naturaleza hidrogeológica del lugar;

sin embargo, este parámetro puede incrementar en función de las actividades antrópicas que se realizan en la superficie de los acuíferos, así como por los cambios en los usos del suelo o la modificación de los cauces naturales.

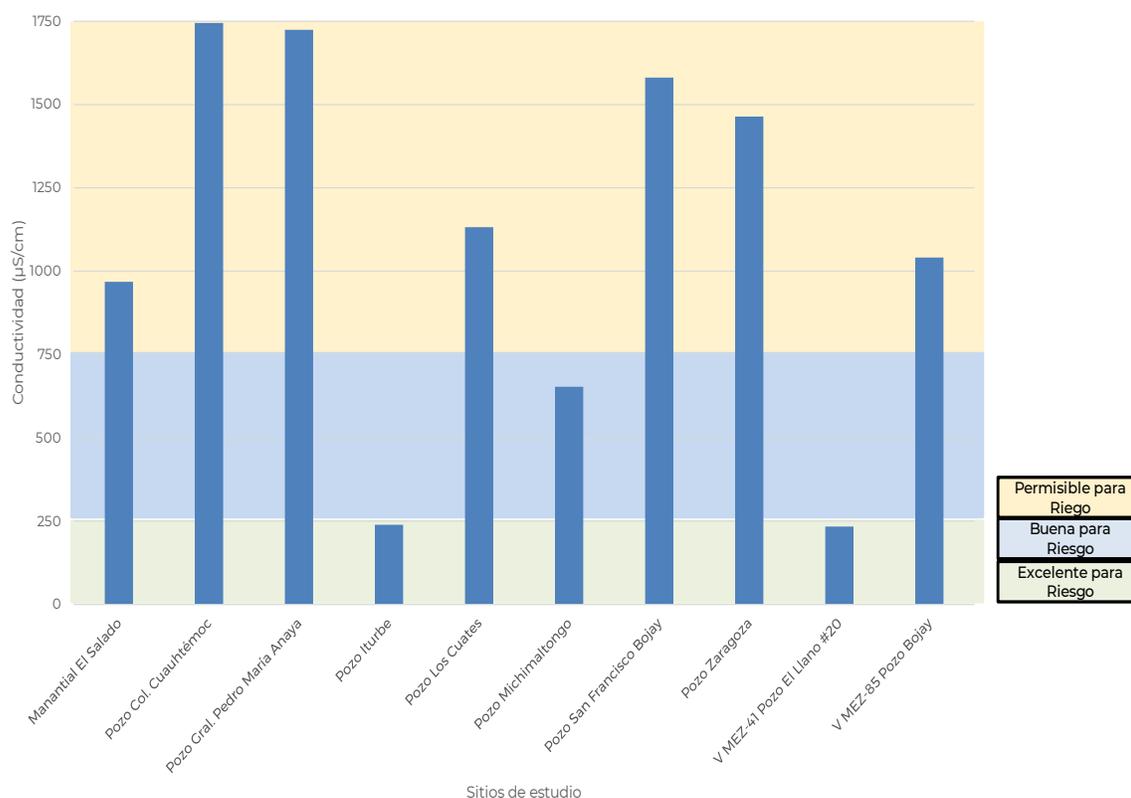
De acuerdo con las categorías de calificación de la CONAGUA mostradas en la Tabla 26, el 20% de los sitios (Pozo Iturbide y Pozo el Llano #20) califican como calidad del agua para conductividad excelente para riego, 10% (Pozo Michimaltongo) como calidad del agua para conductividad buena para riego y 70% (Manantial el Salado, Pozo Col. Cuauhtémoc, Pozo Gral. Pedro María Ayala, Pozo San Francisco Bojay, Pozo Zaragoza y V MEZ-85 Pozo Bojay) como calidad del agua para conductividad permisible para riego. En este sentido, ningún sitio alcanzó una dudosa o indeseable calidad del agua para este parámetro. Figura 31.

Tabla 26. Valores de referencia para Calidad del agua para Conductividad

Calidad del Agua para Conductividad	Criterio	Descripción
Excelente para riego	CONDUC menor o igual a 250	Excelente para riego de todo tipo de cultivos
Buena para riego	CONDUC mayor de 250 y menor o igual a 750	Apta para riego de cultivos sensibles
Permisible para riego	CONDUC mayor de 750 y menor o igual a 2000	Apta para riego de cultivos con manejo especial
Dudosa para riego	CONDUC mayor de 2000 y menor o igual a 3000	Apta para riego de cultivos tolerantes
Indeseable para riego	CONDUC mayor de 3000	Indeseable para riego

FUENTE: Índice de Calidad del Agua-CONAGUA

Figura 31. Resultados de la Conductividad analizados a partir de la escala de clasificación de agua subterránea de la CONAGUA



FUENTE: Elaboración propia con información de los resultados obtenidos del análisis de calidad del agua del laboratorio del IMTA

Los Sólidos Disueltos Totales (SDT) incluyen las sales, los minerales, los metales y cualquier otro compuesto orgánico o inorgánico que se encuentra disuelto en el agua, o que haya pasado a través del filtro con abertura de 1.5 micras. Los SDT en el agua proceden de aguas subterráneas, aguas superficiales, aguas residuales humanas e industriales, efluentes urbanos y agrícolas. Las sales del ambiente que arrastra la lluvia o deshielo también pueden contribuir al aumento de SDT de los suministros de agua.

Con base en lo anterior, el incremento en este parámetro puede tener múltiples orígenes. De acuerdo con las categorías de calificación de la CONAGUA, este indicador tiene dos escalas; la primera (Tabla 27 y Figura 32) cuando se analiza la viabilidad del uso del agua subterránea para riego y la segunda (Tabla 28 y Figura 33) cuando su uso es potencialmente para consumo humano, considerando desde luego tratamientos avanzados de potabilización.

En el primer caso (Figura 32), el 10% de los sitios (Pozo Michimaltongo) es considerado como calidad del agua para SDT excelente para riego, el 40% (Manantial el Salado, Pozo Los Cuates, Pozo Zaragoza y V MEZ-85 Pozo Bojay) pueden ser usados en cultivos sensibles y el 50% (Pozo Col. Cuauhtémoc, Pozo Gral. Pedro María Ayala, Pozo Iturbide,

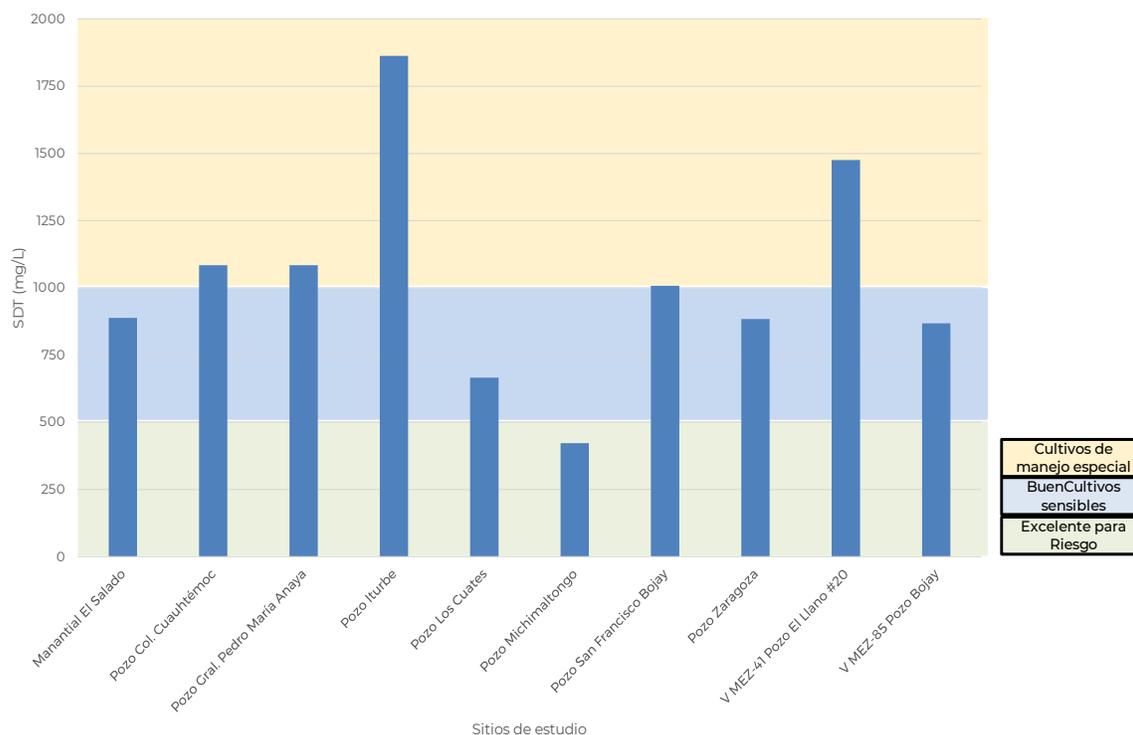
Pozo San Francisco Bojay y Pozo el Llano #20) puede ser usado en cultivos con manejo especial.

Tabla 27. Valores de referencia para calidad del agua para conductividad para riego

Calidad del Agua para Sólidos Disueltos Totales-Riego Agrícola	Criterio	Descripción
Excelente para riego	SDT menor o igual a 500	Excelente para riego de todo tipo de cultivos
Cultivos sensibles	SDT mayor de 500 y menor o igual a 1,000	Apta para riego de cultivos sensibles
Cultivos con manejo especial	SDT mayor de 1,000 y menor o igual a 2,000	Apta para riego de cultivos con manejo especial
Cultivos tolerantes	SDT mayor de 2,000 y menor o igual a 5,000	Apta para riego de cultivos tolerantes
Indeseable para riego	SDT mayor de 5,000	Indeseable para riego

FUENTE: Índice de Calidad del Agua-CONAGUA

Figura 32. Resultados de la concentración de SDT analizados a partir de la escala de clasificación de agua subterránea de la CONAGUA para su uso en riego



FUENTE: Elaboración propia con información de los resultados obtenidos del análisis de calidad del agua del laboratorio del IMTA

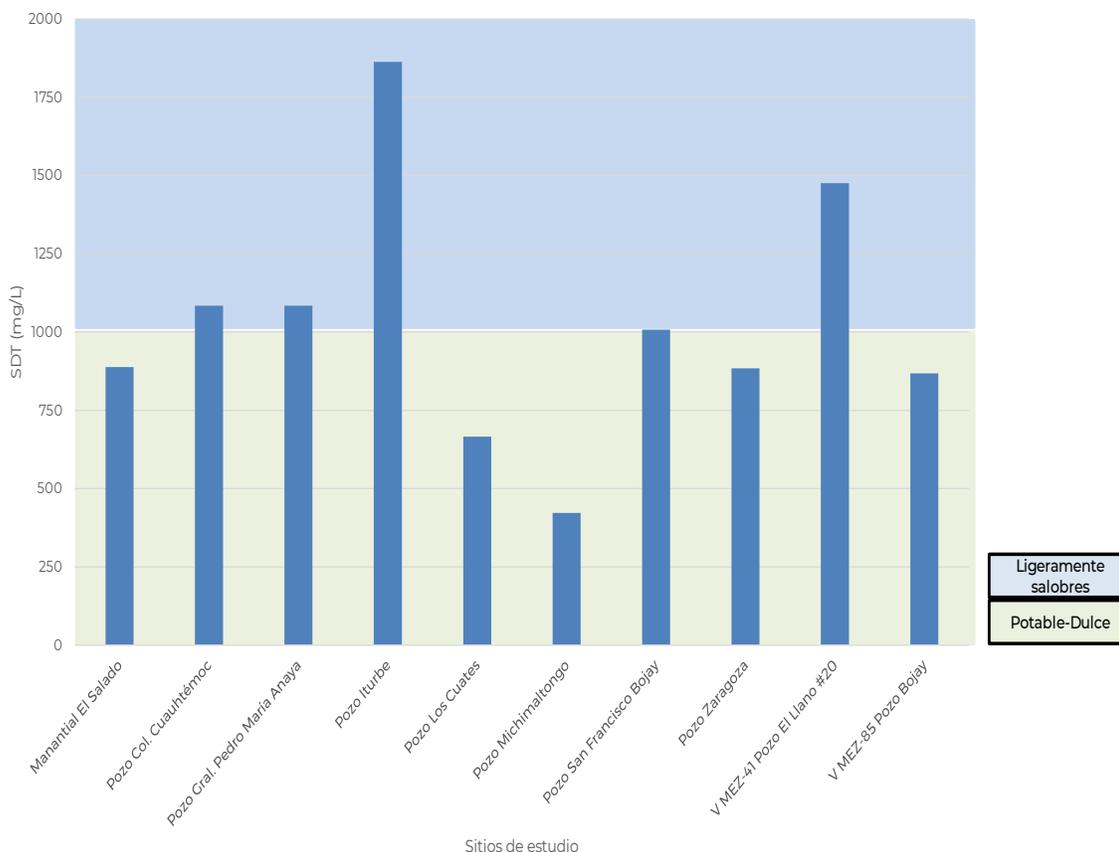
Para el segundo caso de los SDT analizados para su potencial uso de consumo (Tabla 28 y Figura 33), el 50% (Manantial el Salado, Pozo Los Cuates, Pozo Michimaltongo, Pozo Zaragoza y V MEZ-85 Pozo Bojay) podrían ser considerados como calidad del agua para SDT Potable-Dulce; mientras que el 50% restantes (Pozo Col. Cuauhtémoc, Pozo Gral. Pedro María Ayala, Pozo Iturbide, Pozo Francisco Bojay y Pozo el Llano #20) serían clasificados como calidad de agua para SDT ligeramente salobres.

Tabla 28. Valores de referencia para Calidad del agua para Conductividad para consumo

Calidad del Agua para Sólidos Disueltos Totales-Salinización	Criterio	Descripción
Potable – Dulce	SDT menor o igual a 1,000	Agua Potable. Agua Dulce
Ligeramente salobres	SDT mayor de 1,000 y menor o igual a 2,000	Aguas subterráneas con bajo contenido de sales
Salobres	SDT mayor de 2,000 y menor o igual a 10,000	Aguas subterráneas con alto contenido de sales
Salinas	SDT mayor de 10,000	Aguas subterráneas con muy alto contenido de sales

FUENTE: Índice de Calidad del Agua-CONAGUA

Figura 33. Resultados de la concentración de Sólidos disueltos totales analizados a partir de la escala de clasificación de agua subterránea de la CONAGUA para su consumo



FUENTE: Elaboración propia con información de los resultados obtenidos del análisis de calidad del agua del laboratorio del IMTA

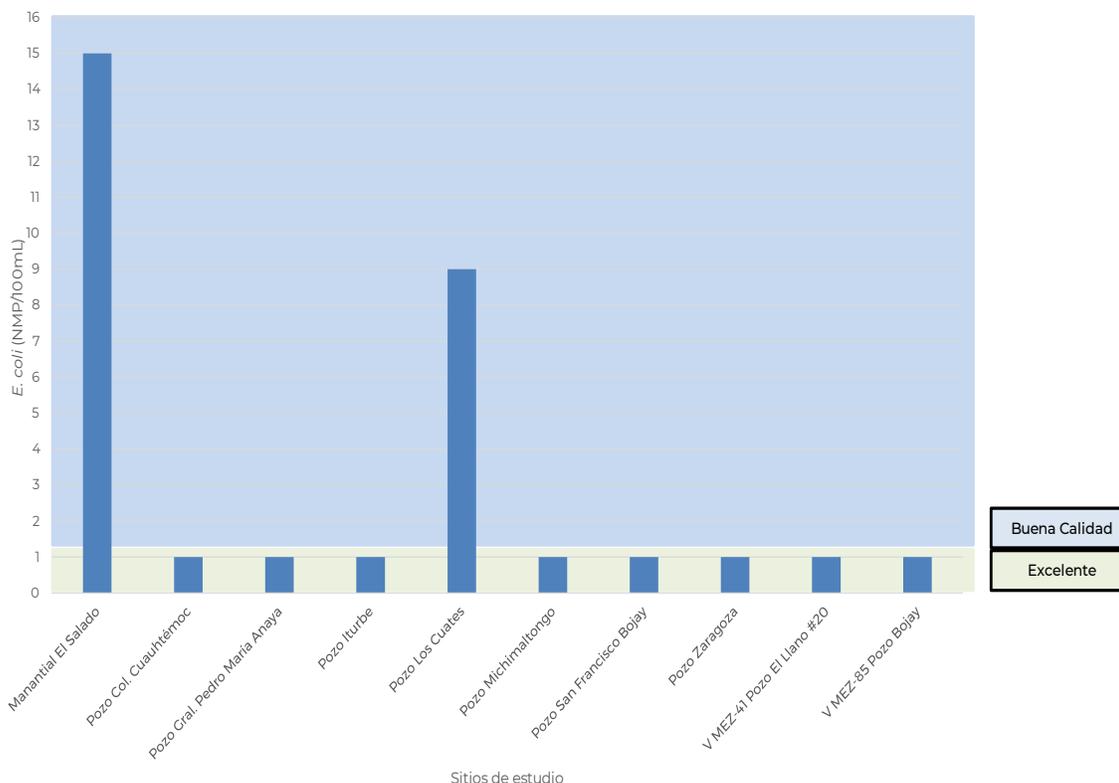
Los Coliformes fecales, específicamente por *Escherichia coli* (*E. coli*) es un claro indicador de la presencia de aguas servidas de origen doméstico. De acuerdo con la escala de calificación de la CONAGUA (Tabla 29). El 80% de los sitios (Pozo Col. Cuauhtémoc, Pozo Gral. Pedro María Ayala, Pozo Iturbide, Pozo Michimaltongo, Pozo San Francisco Bojay, Pozo Zaragoza, Pozo el Llano #20 y V MEZ-85 Pozo Bojay) se encuentran dentro de la categoría calidad del agua para coliformes fecales de Excelente (< 1.1 NMP ó UFC/100 mL); mientras que el 20 % restantes (Manantial el Salado y Pozo los Cuates) se encuentran dentro de la categoría de Buena calidad para coliformes fecales. Todos los sitios mencionados pertenecen a la propuesta de la ZRE. Figura 34.

Tabla 29. Valores de referencia para Calidad del agua para Coliformes fecales

Calidad del Agua para Coliformes Fecales_ Aguas Subterráneas	Criterio	Descripción
Excelente	COLI_FEC menor a 1.1	Agua potable. Agua no contaminada o condición normal. No hay evidencia de alteración en los valores de la calidad bacteriológica para el cuerpo de agua subterráneo
Buena calidad	COLI_FEC mayor o igual de 1.1 y menor o igual a 200	Aguas para uso recreativo con contacto primario, así como para otros usos. Indicios de alteración de la calidad bacteriológica
Aceptable	COLI_FEC mayor de 200 y menor o igual a 1,000	Aguas con calidad admisible como fuente de abastecimiento de agua potable y para riego agrícola. Muestra bajos niveles de alteración como resultado de la actividad humana
Contaminada	COLI_FEC mayor de 1,000 y menor o igual a 10,000	Aguas con contaminación bacteriológica. Indica alteración substancial con respecto a la condición normal
Fuertemente contaminada	COLI_FEC mayor de 10,000	Aguas con fuerte contaminación bacteriológica. Alteración severa

FUENTE: Índice de Calidad del Agua-CONAGUA

Figura 34. Resultados de la concentración de Coliformes fecales en términos de la presencia de *Escherichia coli* (*E. coli*) analizados a partir de la escala de clasificación de agua subterránea de la CONAGUA



FUENTE: Elaboración propia con información de los resultados obtenidos del análisis de calidad del agua del laboratorio del IMTA

Así como se identificó la contaminación del agua por descargas de los efluentes de diversos sectores, estos también afectan la calidad del aire por las emisiones al ambiente resultados de sus procesos productivos.

El aire es un elemento esencial para el desarrollo de la vida, es una mezcla de gases que forman la atmósfera, es por ello que se encuentra en todas partes. La calidad del aire es un recurso natural que se ve afectado por la emisión de contaminantes liberadas a la atmósfera, una mala calidad del aire puede llegar afectar la salud humana. Al respecto para proteger la salud humana, los tres órdenes de gobierno, en el ámbito de su competencia, establecen acciones para prevenir y controlar la contaminación atmosférica, así como para la medición de la calidad del aire.

Conocer la calidad del aire, requiere medir las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente, e identificar si los valores obtenidos en las mediciones superan los límites establecidos en las normas de calidad del aire (Anexo 4, Tabla 45), que establecen las concentraciones aceptables para proteger la salud humana. Los resultados de los siguientes estudios realizados entre marzo 2022 y marzo 2023, exhiben algunas

afectaciones de la calidad del aire en los municipios que comprende la propuesta de la ZRE.

NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE COV EN LA PRESA ENDHÓ

El 4 de marzo de 2023, se llevaron a cabo muestreos instantáneos por medio de cánisters, (contenedores de acero inoxidable al vacío), en seis sitios ubicados en el área circunvecina de la presa Endhó. Posteriormente, las muestras se analizaron en dos sistemas de cromatografía de gases mediante los métodos TO14 y TO15 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés) para explorar la presencia y concentración de 100 especies de COV, alcanos, alquenos, un alquino, compuestos aromáticos, además algunos oxigenados y clorados.

Los resultados promedio de los seis sitios en esta campaña de medición, denotan que, entre los más abundantes, el propano se encuentra en una concentración de 2.5 ppb, etano (1.9 ppb), cloruro de metileno (1.2 ppb), butano (0.8 ppb), isopentano (0.7 ppb), MTBE y etileno ambos (0.5 ppb), y pentano, acetileno y hexano con 0.4 ppb.

Adicionalmente se observó:

- Presencia y concentración de 21 COV (de 100 explorados), en seis sitios del área perimetral de la presa Endhó.
- Contribución de compuestos del gas LP por su uso en la población local para la cocción de alimentos.
- Indicadores químicos del uso de gasolina y emisiones evaporativas de compuestos aromáticos posiblemente de la actividad vehicular local.
- Presencia de sustancias de origen industrial y productos orgánicos de fuentes locales.

Es importante señalar que se detectaron sustancias asociadas al metano, conocido como producto de la degradación orgánica de las aguas residuales, como es el caso del etano que es un trazador que acompaña la presencia de metano. Así mismo se observó la presencia de clorometano y una sustancia denominada como clorofluorocarbono freón 12.

También resalta la presencia de cloruro de metileno, que es liberado al medio ambiente como producto final por la actividad industrial, y por el uso de productos en aerosol y removedores de pintura en el hogar, posiblemente vertidos a los efluentes que desembocan en la presa Endhó.

HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAP)

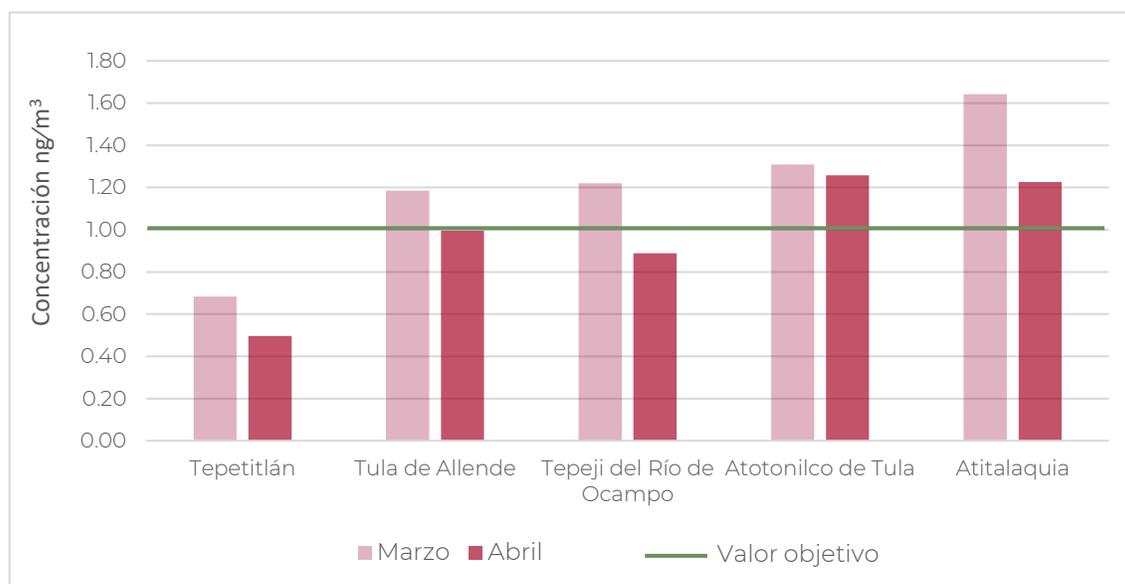
Los HAP son sustancias químicas con un potencial cancerígeno y mutagénico, según la International Agency for Research on Cancer (IARC, por sus siglas en inglés), se originan en la quema de biomasa, quema y evaporación de combustibles ligeros (gasolinas) y quema de combustibles pesados (diésel y combustóleo), asociados principalmente a

actividades productivas y de transporte, entre otras en las que se emplean estos combustibles.

Los HAP pueden persistir en el medio durante largos periodos de tiempo sin modificar sus propiedades tóxicas, con el consecuente riesgo para la salud humana y el ecosistema. Se acumulan en diferentes puntos de la cadena trófica y presentan toxicidad por inhalación, contacto o ingestión (Eisler, 1987), por lo que su eliminación o contención es esencial para reducir la exposición.

Los resultados obtenidos al evaluar los HAP totales en los municipios: Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tepeji del Río de Ocampo, Tepetitlán y Tula de Allende en el estado de Hidalgo durante los meses de marzo y abril del 2022, muestran valores que indican un riesgo a la salud Figura 35.

Figura 35. Evaluación de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos



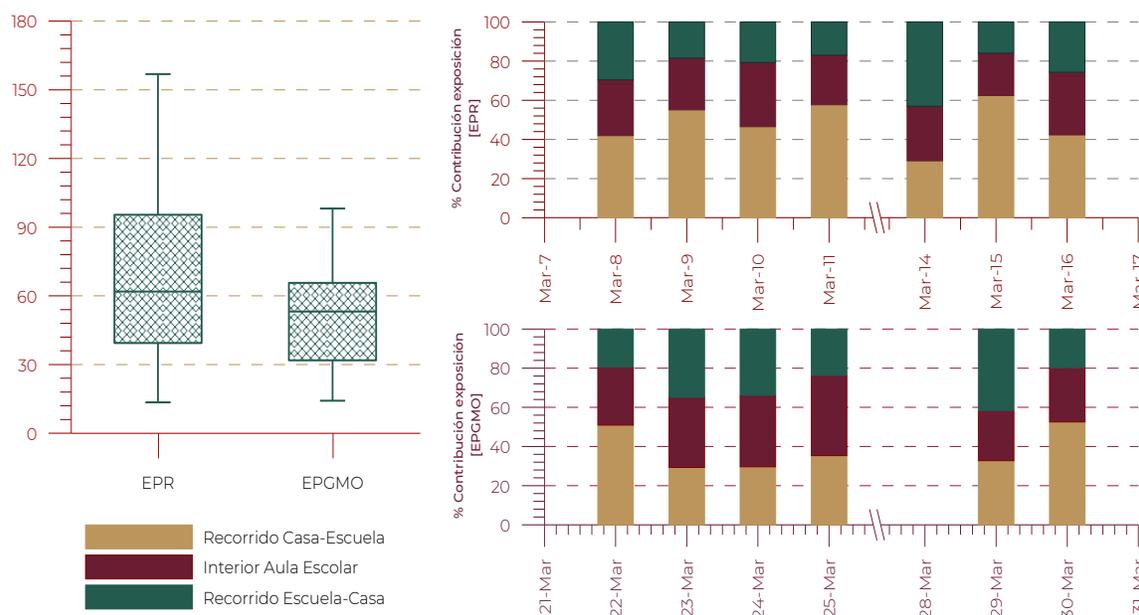
Concentración de HAPs totales (ng/m^3) obtenidos durante el mes de marzo y abril del año 2022 dentro de la propuesta de la ZRE. La directiva 2004/107/CE de la Comunidad Europea establece un valor objetivo de concentración en el aire ambiente para evitar, prevenir o reducir los efectos perjudiciales. FUENTE: Elaboración propia con información de INECC

ESTUDIOS DE EXPOSICIÓN PERSONAL

Durante el periodo del 7 al 30 de marzo de 2022 se realizaron dos campañas de mediciones en la Escuela Primaria Revolución (EPR), ubicada en el municipio de Atotonilco de Tula, y en la Escuela primaria General Melchor Ocampo (EPGMO), situada en el municipio de Tula de Allende. Durante las campañas se midieron de manera continua las concentraciones de material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 2.5 micrómetros ($\text{PM}_{2.5}$) durante los recorridos casa-escuela y escuela-casa, así como la estancia en el interior del aula. Además, se colectaron muestras de $\text{PM}_{2.5}$ para determinar la concentración, composición elemental y las fracciones orgánica y elemental de carbono.

Los resultados muestran que en promedio un niño que acude caminando a la EPR se expone a una concentración promedio de $70.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que uno que acude a la Escuela Primaria Melchor Ocampo se expone a concentraciones promedio de $50.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente (Figura 36) lo cual está determinado por las fuentes de emisión próximas a los planteles escolares. Además, en el municipio de Atotonilco de Tula el 72% de la exposición a material particulado de la fracción $\text{PM}_{2.5}$ corresponde a los traslados de casa-escuela y escuela-casa, mientras que en el municipio de Tula de Allende sólo es el 67%. Asimismo, la presencia de carbono orgánico y elemental en ambas escuelas muestra que hay una fuerte presencia de quema de hidrocarburos.

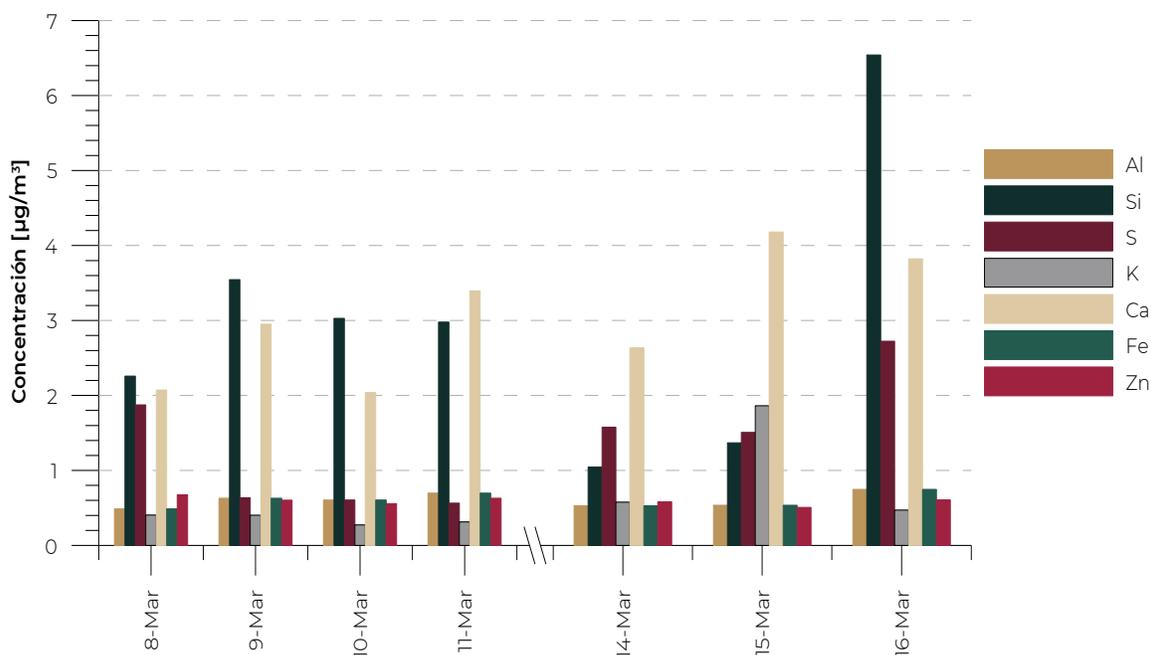
Figura 36. Evaluación de $\text{PM}_{2.5}$



Diagramas de cajas de las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (la línea al interior de la caja corresponde a la mediana), a las que se exponen los niños que acuden a las escuelas EPR y EPGMO, así como, los porcentajes de contribución de la exposición durante sus traslado y permanencia al interior de las aulas. FUENTE: Elaboración propia con información de INECC

Las partículas emitidas por las industrias del cemento y cal observadas en la caracterización (Figura 37) pueden causar problemas en la salud, por contacto con la piel, ojos y/o la inhalación, en función de la duración y el nivel de exposición y la sensibilidad individual. En este caso, la especiación de metales presentes en las muestras colectadas permitió identificar a los más abundantes: silicio (Si) y calcio (Ca), con mayor concentración en Atotonilco de Tula. Además, se identificaron trazas elementales de plomo, cromo, cobre, níquel, titanio, vanadio y manganeso los cuales están asociados a la industria metalúrgica, metalmecánica y química.

Figura 37. Ejemplo de la especiación de metales presentes en las muestras de PM2.5, durante la realización del estudio en el municipio de Atotonilco de Tula



FUENTE: Elaboración propia con información de INECC

La contaminación del agua y del aire ejerce efectos adversos en el suelo. Las sustancias químicas presentes en el agua contaminada pueden infiltrarse en el suelo, alterando su composición química y física, lo que afecta negativamente a la capacidad del suelo para regenerar los recursos naturales. Del mismo modo, los contaminantes atmosféricos pueden depositarse en el suelo a través de la deposición seca o húmeda, introduciendo metales pesados, compuestos orgánicos y otros contaminantes que pueden alterar la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas. La contaminación del agua y del aire afecta negativamente al suelo.

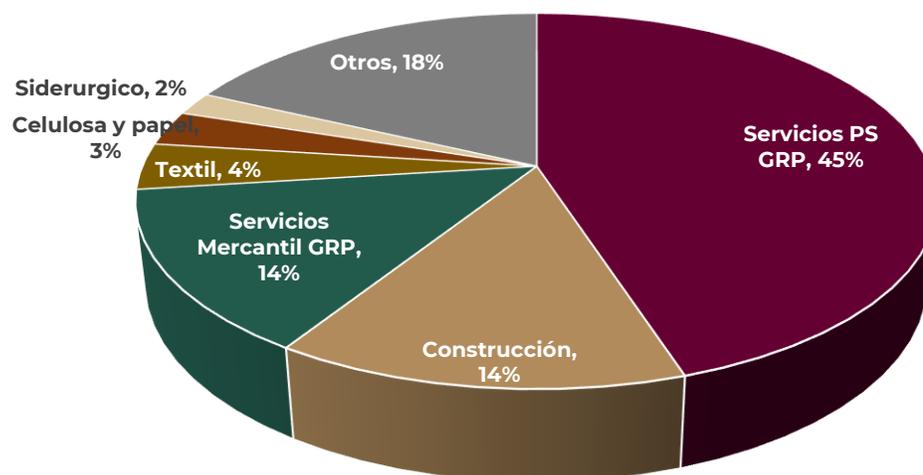
A fin de identificar los procesos de desertificación, degradación o afectaciones irreversibles en la propuesta de ZRE, se analizaron trámites y bases de datos que competen a la DGGIMAR, con el propósito de evaluar el impacto de la gestión de residuos peligrosos, la problemática asociada a los residuos sólidos urbanos y aquellos de manejo especial, la identificación de sitios contaminados en los municipios que integran a la propuesta de la ZRE, así como actividades de alto riesgo. Con lo anterior, se precisan los factores que contribuyen a la degradación del suelo y los ecosistemas, además de identificar áreas críticas que requieren una intervención urgente para la restauración ambiental.

A) RESIDUOS PELIGROSOS

En la superficie de la propuesta de la ZRE se identificó 24 de 33 sectores¹⁴ generadores de residuos peligrosos. La Figura 38 indica la contribución de estos por tipo de actividad, las cuales actualmente son reguladas por la SEMARNAT mediante su Registro como Generador de Residuos Peligrosos.

Se identificó que el 45% de la industria presente corresponde al sector “servicios de prestadores de servicio de generadores de residuos peligrosos”, en el cual se incluyen los laboratorios de análisis clínicos, clínicas, centros de salud y consultorios e instituciones educativas. Seguido por los sectores de “construcción” y “servicios mercantiles generadores de residuos peligrosos” ambos con el 14%, este último e incluye las tiendas de autoservicio y las farmacias, principalmente.

Figura 38. Sectores industriales presentes en la propuesta de ZRE



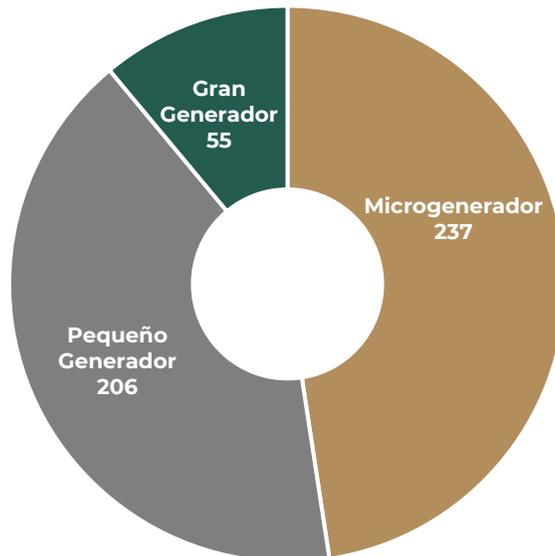
FUENTE: Elaboración propia con información de la DGGIMAR

REGISTRO DE GENERADORES DE RESIDUOS PELIGROSOS

El artículo 5, fracciones XII, XIX, XX y 44 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos clasifica a los generadores en tres categorías: grandes (cuya generación sea mayor a 10 toneladas (t) de residuos peligrosos por año); pequeños (aquellos que generen entre 400 kilogramos y 10 t de residuos peligrosos al año); y micro generadores (generación menor a 400 kilogramos de residuos peligrosos al año). En la propuesta de la ZRE se identificaron 498 registros de empresas generadoras de Residuos Peligrosos (RP) (14 de ellos corresponden al sector hidrocarburos), de los cuales 237 se clasifican como micro generadores, 206 pequeños generadores, y 55 grandes generadores. Figura 39.

¹⁴ Con base al Formato “Registro de Generadores de Residuos Peligrosos-SEMARNAT-07-017”, disponible en: <https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/formatos/DGGIMAR/FF-SEMARNAT-090%20SEMARNAT-07-017%20EDITABLE.pdf>

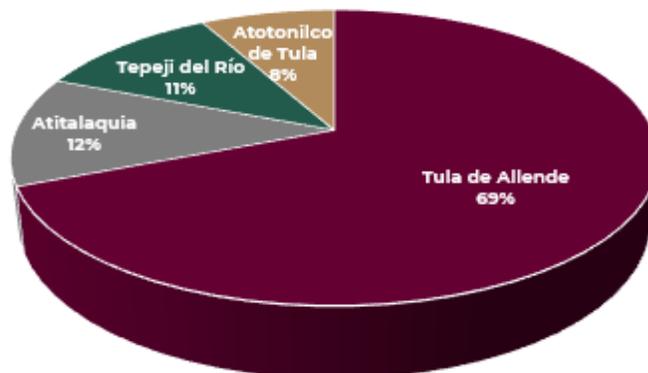
Figura 39. Clasificación de generadores de residuos peligrosos



FUENTE: Elaboración propia con información de la DGGIMAR

El 89% de estos generadores se concentra en los municipios de Tula de Allende, Tepeji del Río de Ocampo, Atotonilco de Tula, y Atitalaquia. Figura 40.

Figura 40. Generadores de RP por municipio (incluye hidrocarburos)

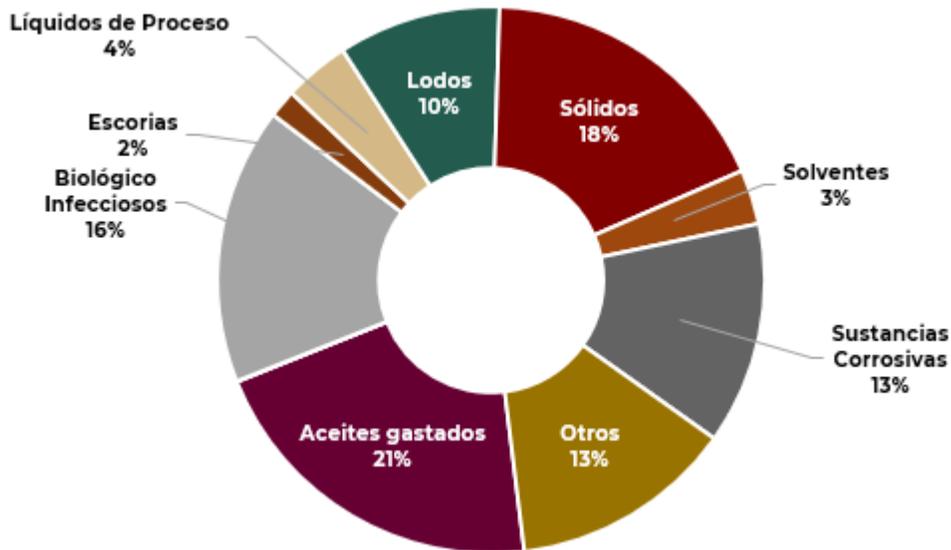


FUENTE: Elaboración propia con información de la DGGIMAR

La generación de residuos peligrosos en la propuesta de ZRE es de aproximadamente 15,269 t al año, el 99% corresponde a actividades industriales y el 1% a hidrocarburos, donde Tula de Allende es el municipio que contribuye mayoritariamente.

Dentro de la variedad de residuos peligrosos generados, destacan los aceites gastados; los líquidos de proceso corrosivos y no corrosivos; algunos sólidos que incluyen: textiles, tortas de filtrado, envases contaminados, baterías de plomo y de níquel-cadmio, lámparas fluorescentes y residuos peligrosos biológico-infecciosos (RPBI). Figura 41.

Figura 41. Tipo de residuos peligrosos generados



FUENTE: Elaboración propia con información de la DGGIMAR

En cuanto a las principales minas en fase de explotación de minerales no metálicos y bancos de material, se encuentran minas que explotan la caliza, que es un material no metálico que se utiliza en la producción de cal y cemento. En la Tabla 30 se observa que el municipio de Atotonilco de Tula cuenta con el mayor número de minas de caliza (5), seguido del municipio de Tula de Allende (3). La explotación de este material no genera algún residuo minero clasificado en la NOM-157-SEMARNAT-2009, Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros. Sin embargo, los bancos de materiales presentan impactos significativos en la ZRE, principalmente debido a la modificación de los drenajes naturales, la eliminación de la flora característica y la disminución de la productividad primaria de la vegetación aledaña a caminos de acceso y de la zona de influencia de los bancos de material.

Tabla 30. Minas no metálicas y bancos de materiales

Número	Municipio	Toneladas extraídas por año
1	Atotonilco de Tula	2,300,000
2	Tula de Allende	1,600,000
3	Tula de Allende	1,300,000
4	Tula de Allende	1,000,000
5	Atotonilco de Tula	900,000

Número	Municipio	Toneladas extraídas por año
6	Atotonilco de Tula	600,000
7	Atotonilco de Tula	420,000
8	Tepeji del Río de Ocampo	7,000

FUENTE: SGM, 2021

CEMENTERAS

La industria cementera puede tener varios efectos en el medio ambiente que requieren atención. Durante su proceso de producción, emite cantidades significativas de gases de efecto invernadero, lo que contribuye al cambio climático. Además, su consumo intensivo de recursos naturales, como la caliza y la arcilla, puede llevar a la sobreexplotación de los mismos. Las emisiones de partículas finas y otros contaminantes atmosféricos pueden afectar la calidad del aire, y la gestión de los residuos, como las cenizas volantes y la escoria, plantea desafíos significativos. Las operaciones también pueden impactar negativamente la calidad del agua y contribuir a la pérdida de biodiversidad al destruir hábitats naturales.

En la propuesta de ZRE se desarrolla la industria cementera específicamente en los municipios de Atotonilco de Tula y Tula de Allende.

Se identificó que cuatro empresas de dicha industria cuentan con autorización por parte de la DGGIMAR para el co-procesamiento de residuos peligrosos. Tabla 31.

Tabla 31. Cementeras en la propuesta de la ZRE

No	Municipio	Autorización para co-procesamiento
1	Atotonilco de Tula	Sí
2	Atotonilco de Tula	Sí
3	Atotonilco de Tula	Sí
4	Tula de Allende	Sí
5	Tula de Allende	Sí
6	Tula de Allende	No

FUENTE Elaboración propia con información de la DGGIMAR

La Figura 42, muestra la ubicación de las seis empresas cementeras existentes dentro de la propuesta de ZRE.

Además, por medio de imágenes satelitales, se muestran tres polígonos en donde se aprecia una afectación ambiental debido a la erosión de los suelos y la eliminación de la flora derivada de los bancos de materiales, que son materia prima para la fabricación de cemento, esta afectación es equivalente a 145.69 ha, la cual es susceptible a cambios por la explotación continua de las canteras. Estas pueden apreciarse en la Tabla 32 y en la Figura 43.

Tabla 32. Superficie de afectación estimada extracción de bancos de materiales por municipio

Municipio	Superficie de afectación estimada (ha)
Atotonilco de Tula	125.27
Tula de Allende	20.42
Total	145.69

FUENTE: Elaboración propia por medio de imágenes satelitales - Google Earth

Figura 42. Ubicación de las empresas cementeras

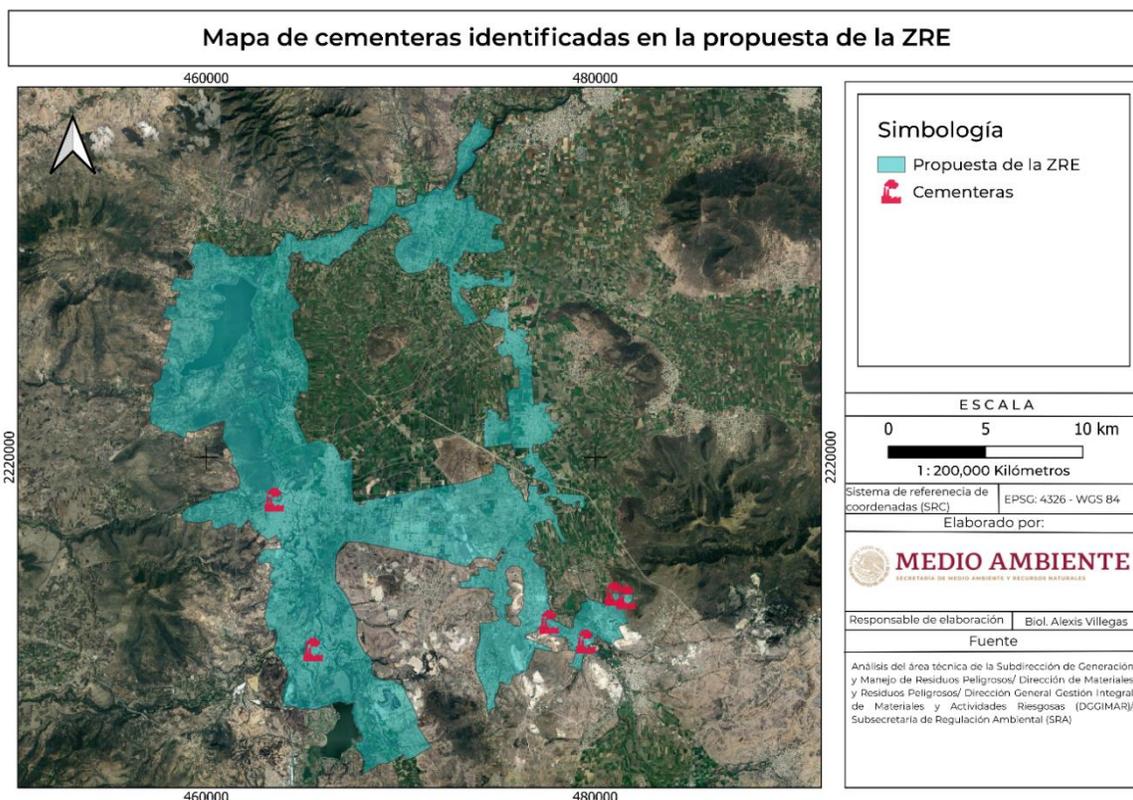
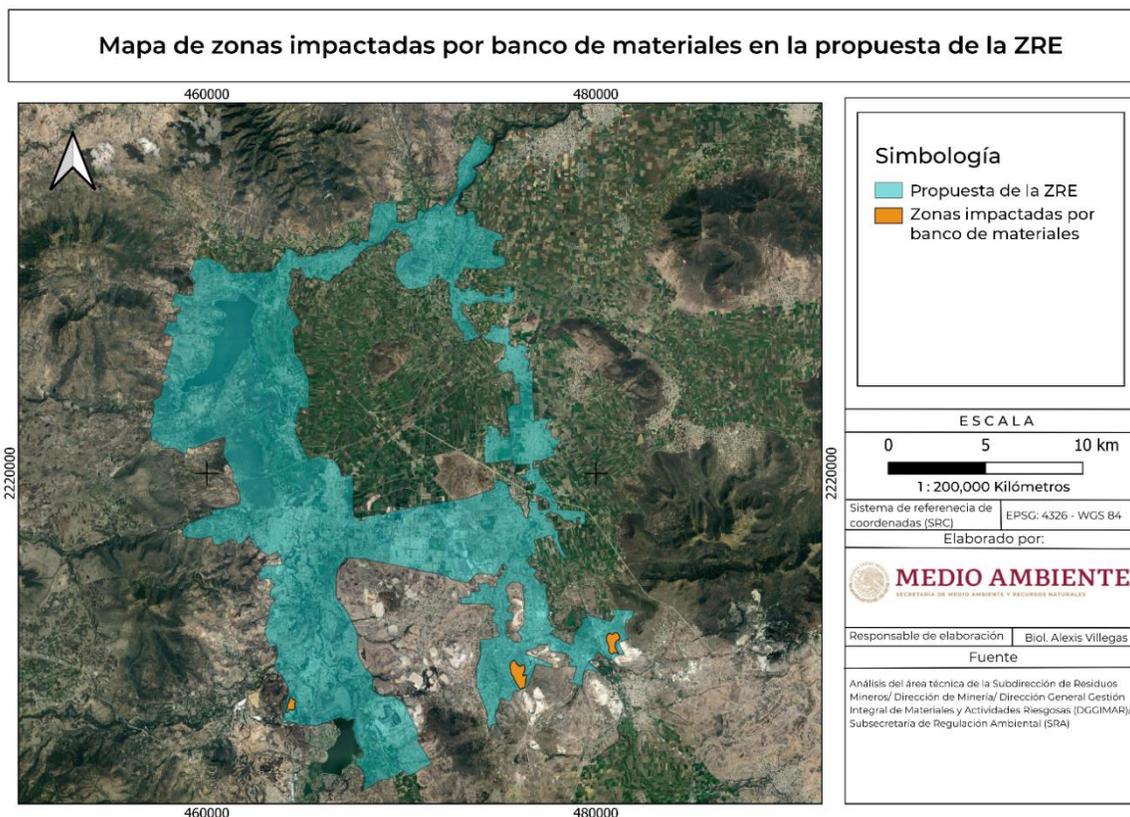


Figura 43. Polígonos afectados por actividad de bancos de materiales



PLAGUICIDAS Y OTROS CONTAMINANTES

PLAGUICIDAS

La actividad agrícola que se desarrolla en la propuesta de ZRE permite el cultivo de diversos productos como el maíz y la alfalfa, estos representan el 59% de la producción total del estado, lo que a su vez requiere del uso de plaguicidas (García-Salazar, 2020). El uso excesivo de estos plaguicidas, junto con la mala gestión de los envases vacíos y su aplicación en zonas sensibles, ha provocado varios problemas ambientales. Estos problemas incluyen la contaminación del suelo y del agua, la disminución de la biodiversidad y el riesgo para la salud humana. Cabe destacar que a nivel internacional se ha identificado que estos plaguicidas tienen características de persistencia, bioacumulación y biomagnificación en el ambiente, afectando a toda la cadena trófica de la propuesta de ZRE.

La industria de los plaguicidas se ha establecido en la entidad con el fin de importar, formular, maquilar, envasar y distribuir los productos. En la propuesta de la ZRE se tienen identificadas cinco empresas instaladas en los municipios de Atitalaquia y Atotonilco de Tula, y una dedica a la importación de plaguicidas en el municipio de Atitalaquia.

De acuerdo con información del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), en los municipios de Tezontepec de Aldama, Tepeji del Río de Ocampo, Tlahuelilpan, Tula de Allende, Tlaxcoapan, Atotonilco de Tula, y Tepetitlán, se identificaron en muestras de suelo colectadas la presencia de plaguicidas organoclorados como el diclorodifeniltricloroetano (DDT), diclorodifenildicloroetano (DDD), diclorodifenildicloroetileno (DDE), entre otros. Tabla 33.

Tabla 33. Plaguicidas organoclorados presentes en muestras de suelos dentro de la propuesta de ZRE

MUNICIPIO	PLAGUICIDA
Tezontepec de Aldama	DDT, DDD, DDE y endrín aldehído
Tepeji del Río de Ocampo	DDT, DDD, DDE y hexaclorobenceno
Tlahuelilpan	DDT, DDD, DDE y hexaclorobenceno
Tula de Allende	Clordano, DDT, DDD, DDE, hexaclorobenceno y nonaclor
Tlaxcoapan	DDT, DDD, DDE y hexaclorobenceno
Mixquiahuala de Juárez	DDT, DDD, DDE, clordano y nonaclor
Atotonilco de Tula	DDT, DDD, DDE y hexaclorobenceno
Tepetitlán	DDT, DDD, DDE y hexaclorobenceno

FUENTE: Elaboración propia con información del INECC

El artículo 31, fracción IX de la LGPGIR establece el listado de residuos peligrosos que están sujetos a un plan de manejo, este listado incluye a los plaguicidas y sus envases que contengan remanentes de los mismos, los cuales genera el agricultor o el usuario final. Es importante promover el plan de manejo en la propuesta de ZRE, para evitar que los envases vacíos de plaguicidas se dispongan en tiraderos a cielo abierto, barrancas o predios abandonados.

En el caso de que los residuos peligrosos -excluyendo los envases vacíos de plaguicidas- generen una cantidad igual o superior a diez toneladas anuales, deben contar con un plan de manejo adicional para su gestión.

La Tabla 34 muestra el estatus de los planes de manejo.

Tabla 34. Empresas con plan de manejo para envases de plaguicidas

Empresa	Municipio	Año de autorización del plan de manejo	*Registro de plan de manejo de envases vacíos
1	Atitalaquia	2015	No tiene
2	Atitalaquia	2018	No tiene
3	Atitalaquia	2020	No tiene
4	Atitalaquia	No requiere**	No tiene

5	Atitalaquia	No requiere**	No tiene
6	Atotonilco de Tula	2018	No tiene

* Con fines de identificar de manera sencilla a este tipo de plan de manejo se colocó ese nombre, no obstante, el nombre correcto del plan de manejo de referencia es: plan de manejo de productos que al desecharse se convierten en residuos peligrosos.

**Se clasifican como pequeños generadores por lo que no requieren un plan de manejo

De las seis empresas de plaguicidas antes mencionadas, cuatro de ellas se categorizan como gran generador de residuos peligrosos y tienen plan de manejo. Por su parte, los pequeños generadores legalmente no están obligados a tener este plan de manejo, sin embargo, esta situación no las exime de tratar sus residuos con prestadores de servicios autorizados por la SEMARNAT.

Por otro lado, se observa que ninguna de las empresas de plaguicidas tiene un registro de plan de manejo de envases vacíos. No obstante, la ley contempla la posibilidad de que las empresas particulares puedan formalizar un convenio para adherirse a un plan de manejo de esta modalidad.

OTROS CONTAMINANTES

Además de los plaguicidas, los fármacos y sus metabolitos son otro grupo de contaminantes de preocupación que han sido estudiados en la propuesta de ZRE (Álvarez, 2023; Vázquez-Tapia, et al., 2022), ya que se han identificado en el agua residual proveniente de la Ciudad de México y la Zona Metropolitana.

Los suelos regados con agua residual sin tratamiento, al ser provistos en mayor medida con materia orgánica, presentan mayor tasa de absorción de estos compuestos.

Adicionalmente, se han encontrado metales pesados, como Cd, Pb, Cr y Zn, que tienen la capacidad de acumularse en el suelo a largo plazo. Asimismo, la concentración de metales en suelos regados con aguas residuales es de 3 a 6 veces mayor que en suelos regados con agua de pozo o cultivo de temporal (Siebe, 1994).

C) RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL

En la mayoría de los casos, el manejo de los residuos sólidos urbanos (RSU) es inadecuado debido a la existencia de tiraderos y basureros a cielo abierto en la propuesta de la ZRE, que no cumplen con los requisitos establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. El derrame de lixiviados y la falta de control de biogás son algunas de las situaciones más preocupantes en la zona.

Asimismo, los residuos de manejo especial (RME), se definen como aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos, residuos sólidos urbanos, o producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.

INFRAESTRUCTURA PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

De acuerdo con el Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del estado de Hidalgo, en el periodo 2011-2016 el gobierno estatal asignó recursos por \$38,282,826.93 a todos los municipios de la entidad federativa, para el desarrollo de infraestructura sanitaria, que permita cumplir con lo establecido en la NOM-083-SEMARNAT-2003 (Gobierno de Hidalgo, 2011¹⁵).

Además, de acuerdo con el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales del INEGI (INEGI, 2021), la propuesta de ZRE cuenta con el servicio de recolección de residuos sólidos urbanos sin apoyo de concesionarios.

De acuerdo con el INEGI, el municipio de Tula de Allende recolecta 57.3 t/día de residuos, seguido por Tepeji del Río de Ocampo (48 t/día), Tezontepec de Aldama (45 t/día), Atotonilco de Tula (28 t/día), Tlaxcoapan (20 t/día), Atitalaquia (14.5 t/día), Tlahuelilpan (9 t/día), y Tepetitlán (4 t/día). Tabla 35.

En Tula de Allende se encuentra un sitio de disposición final que brinda servicio a los municipios colindantes.

Tabla 35. Recolección de RSU en los municipios que integran la propuesta de la ZRE

Municipio	Cantidad promedio de RSU recolectados (t/día)
Tula de Allende	57.3
Tepeji del Río de Ocampo	48
Tezontepec de Aldama	45
Atotonilco de Tula	28
Tlaxcoapan	20
Atitalaquia	14.5
Tlahuelilpan	9
Tepetitlán	4

FUENTE: Elaboración propia con información de DGGIMAR / INEGI, 2021

No obstante, en los municipios de estudio no se identificó infraestructura para el acopio, tratamiento o valorización de los RSU (Tabla 36).

Además, no se dispone de estaciones de transferencia, plantas de tratamiento, o plantas de composta que favorezcan la valorización de los RSU, estos son enviados directamente a los Sitios de Disposición Final (SDF) de los municipios. Figura 44.

La comunidad reportó la disposición de residuos tóxicos en varios sitios de disposición final, por lo que es necesaria una revisión de estos.

¹⁵ Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187459/Hidalgo.pdf>

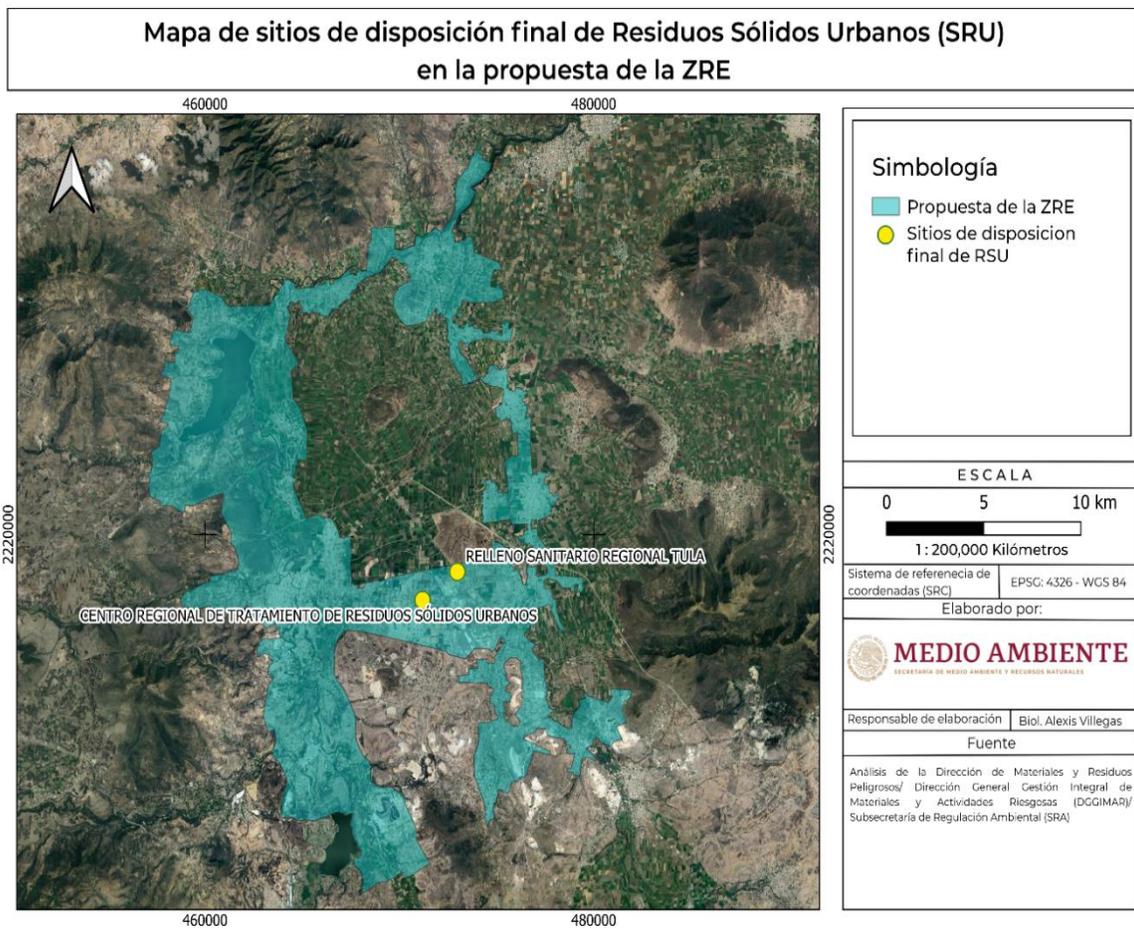
Tabla 36. RSU dispuestos en los municipios que integran la propuesta de la ZRE

Municipio	Tipo de sitio	Cantidad promedio de RSU dispuestos (t/día)
Atitalaquia	SNC	4.6
Atotonilco de Tula ²	SC	24.5
Tepeji del Río de Ocampo	R	15.3
Tepetitlán	SNC	1.7
Tezontepec de Aldama	SNC	14.5
Tlahuelilpan	SNC	12
Tlaxcoapan	SNC	25
Tula de Allende	SC	58.4

Donde: SNC: sitio no controlado, SC: sitio controlado, R: relleno sanitario, conforme los establece la NOM-083-SEMARNAT-2003.

FUENTE: Elaboración propia con información de DGGIMAR / INEGI, 2021

Figura 44. Sitios de disposición final de RSU y sitios potencialmente contaminados



D) SITIOS CONTAMINADOS Y SU REMEDIACIÓN

LOS SITIOS CONTAMINADOS Y SUS FUENTES

El término *sitio contaminado* es definido, en el artículo 5 fracción XL de la LGPGIR como: “Lugar, espacio, suelo, cuerpo de agua, instalación o cualquier combinación de éstos que ha sido contaminado con materiales o residuos que, por sus cantidades y características, pueden representar un riesgo para la salud humana, a los organismos vivos y el aprovechamiento de los bienes o propiedades de las personas”.

La contaminación de sitios en México ha sido provocada por diversas actividades antropogénicas, algunas de éstas son:

- Actividades mineras
- Actividades del sector hidrocarburos
- Actividades agrícolas
- Actividades industriales
- Instalaciones de servicio de combustibles
- Uso de aguas residuales en irrigación de campos agrícolas
- Sitios no controlados de residuos

SITIOS CONTAMINADOS

Un sitio está contaminado cuando los resultados analíticos de la correcta caracterización del suelo señalan que algún parámetro se encuentra por encima de las concentraciones, niveles, límites, o parámetros máximos de contaminantes regulados en la “Norma Oficial Mexicana NOM-133-SEMARNAT-2015 , Protección ambiental-Bifenilos Policlorados (BPCs)-Especificaciones de manejo”, “Norma Oficial Mexicana, NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación” y la “Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio”.

De enero de 2008 a mayo de 2023, en el Inventario Nacional de Sitios Contaminados se tiene registro de un sitio contaminado dentro de la propuesta de la ZRE, ubicado en el municipio de Atitalaquia que representa una superficie de 0.014 ha y un volumen de 170 m³ de suelo contaminado; y presenta contaminación por hidrocarburos. (Tabla 37).

Tabla 37. Sitios contaminados

Año ¹⁶	Modalidad	Municipio	Causa del evento	Producto contaminante	Área de suelo contaminado (ha)	Volumen de suelo contaminado (m³)
2020	Pasivo ambiental	Atitalaquia	Derrame accidental	Diésel, gasolina, aceite	0.014	170
Total					0.014	170.0

FUENTE: Elaboración propia con información de la DGGIMAR

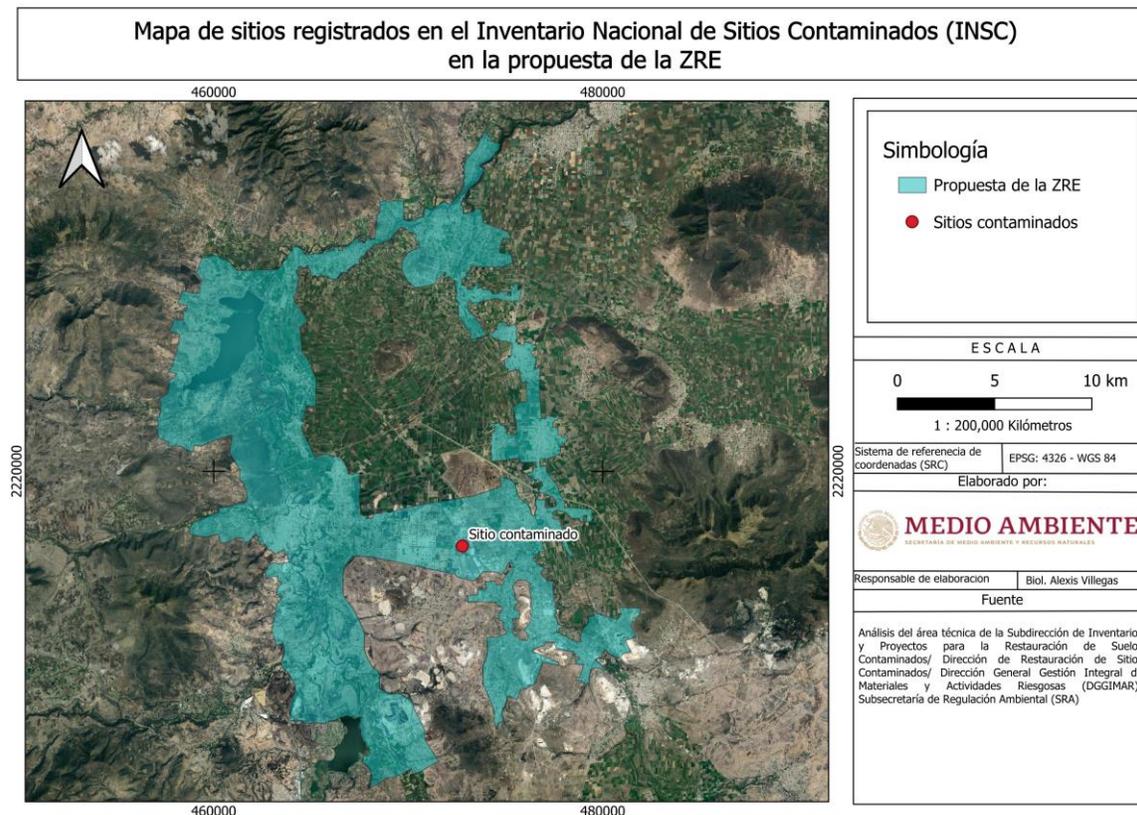
La contaminación del suelo por materiales o residuos peligrosos en la ZRE se debió principalmente al desarrollo del comercio al por menor de gasolina y diésel, conforme al Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 2023 (SCIAN, 2023).

Actividad que debido a que se realiza de manera cotidiana como parte de sus obligaciones, tareas o funciones, de quienes se dedican al comercio al por menor de gasolina y diésel a fin de satisfacer las necesidades humanas, y a las características del producto contaminante que manejan durante el transporte en carretera, representan un riesgo para la salud, el ambiente, la seguridad de la población o la propiedad de terceros.

Es importante mencionar que, durante el autotransporte foráneo de materiales y residuos peligrosos, la frecuencia de accidentes en el país aumenta por las malas condiciones de los caminos, la inexperiencia de los conductores o fallas mecánicas en los vehículos. La contaminación que el transporte terrestre ocasiona por accidentes en carretera es debido al derrame de materiales peligrosos o residuos peligrosos contenidos en la caja de carga o tanques del autotransporte o por su combustible de autoconsumo, que al llegar a suelo éste se ve afectado en sus propiedades naturales. Figura 45.

¹⁶ Año de identificación del sitio como contaminado en SEMARNAT.

Figura 45. Sitios registrados en el Inventario Nacional de Sitios Contaminados en la ZRE



FUENTE: Elaboración propia con información de DGGIMAR

SITIOS POTENCIALMENTE CONTAMINADOS

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, cuenta con el Sistema Informático de Sitios Potencialmente Contaminados (SIPCO), mismo que sirve para registrar los sitios de los que se sospecha existencia de contaminación, pero no se cuenta con evidencia de ello. Cuando se determina la inexistencia de la contaminación se da de baja del sistema, mismo que es administrado por la DGGIMAR. En caso contrario donde si se confirma la contaminación del sitio, este es registrado en el Inventario Nacional de Sitios Contaminados.

La DGGIMAR, al mes de junio de 2023 cuenta con un registro de 527 sitios potencialmente contaminados en el país. Los cuales fueron identificados entre 2006 y 2011 a través de un levantamiento de información de campo en todas las entidades federativas.

En lo que respecta a la ZRE, no se tienen registros de sitios potencialmente contaminados, sin embargo, fueron identificados en 2007 y 2008 dos sitios potencialmente contaminados en el borde de la ZRE en el municipio de Atotonilco de

Tula clasificados como sitios con disposición de residuos sólidos urbanos en la superficie del terreno Tabla 38.

Tabla 38. Sitios potencialmente contaminados

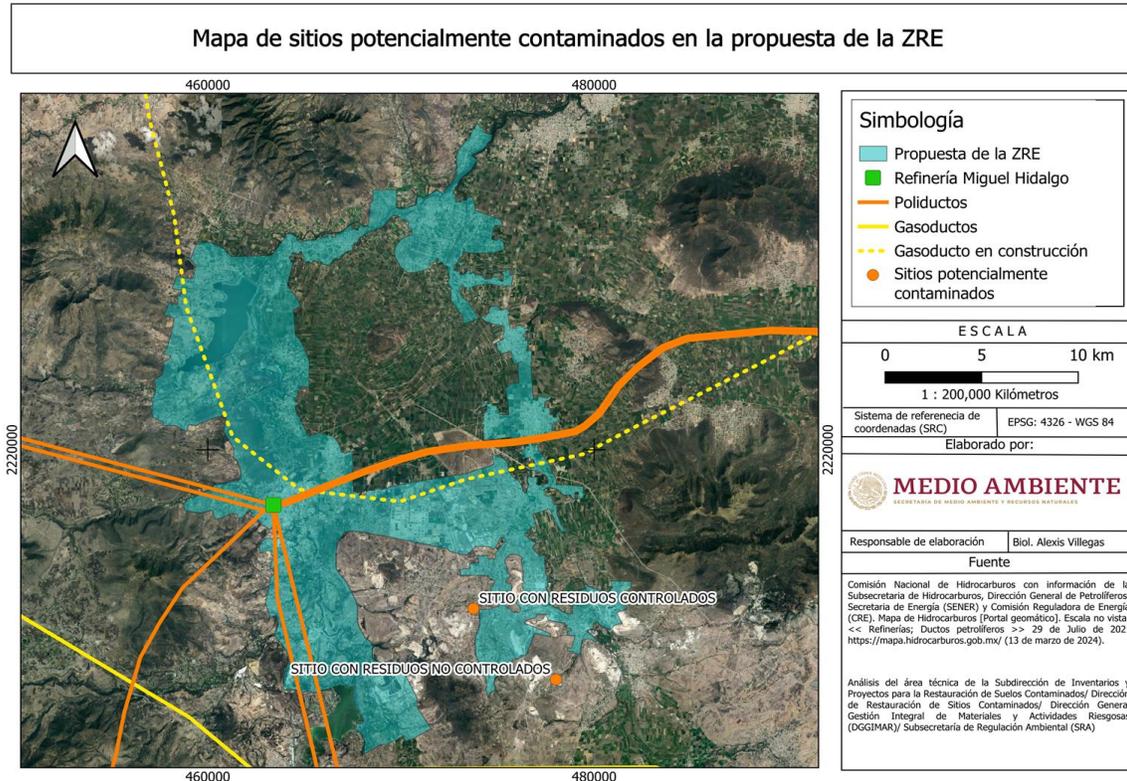
No.	Año de identificación	Municipio	Tipo de fuente (giro)	Posibles Contaminantes	Área del sitio (ha)	Prioridad de atención
1	2007	Atotonilco de Tula	Disposición de residuos	Productos derivados de petróleo	0.1126	Media
2	2008	Atotonilco de Tula	Disposición de residuos	Hidrocarburos halogenados volátiles	0.565	Media

FUENTE: Elaboración propia con información de la DGGIMAR

Adicionalmente, de la Refinería de Tula salen poliductos que llevan hidrocarburos (turbosina, gasolina, diésel, combustóleo) a diversas partes del país (Tuxpan-Poza Rica-Tula; Tula-Pachuca; Tula-Azcapotzalco; Tula-Toluca; y Tula-Salamanca-Tula), en los cuales, de acuerdo a diversas fuentes publicadas en espacios informativos como Excélsior, El Sol de Hidalgo, El Diario de Sonora y Fuerza Informativa Azteca, se ha detectado robo de hidrocarburos en Atotonilco de Tula, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan y Tula de Allende, municipios que se encuentran dentro de la propuesta de la ZRE. (Figura 46).

La contaminación de un suelo por el robo de hidrocarburos sucede cuando, con el fin de extraerlo de manera ilegal, se realizan alteraciones inadecuadas al ducto de transporte de hidrocarburos, lo que da paso al derrame del mismo en el suelo, afectando sus características naturales.

Figura 46. Sitios potencialmente contaminados



SITIOS REMEDIADOS

La remediación está definida en el artículo 5 fracción XXVIII de la LGPGIR como el “conjunto de medidas a las que se someten los sitios contaminados para eliminar o reducir los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión en el ambiente sin modificarlos, de conformidad con lo que se establece en esta Ley”. De acuerdo con el artículo 5 fracción XLI de la LGPGIR, los tratamientos son “procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los cuales se cambian las características de los residuos y se reduce su volumen o peligrosidad”, y actúan disminuyendo la concentración del contaminante en el suelo al transformarlo en un compuesto no dañino para el medio ambiente, separando el contaminante del suelo, asegurando que el contaminante no sea móvil o que la población no esté expuesta a él. La aplicación del tratamiento en un suelo contaminado depende desde el tipo de contaminante a tratar, el tipo de suelo, hasta la disponibilidad del tipo de tratamiento, que entre los más utilizados son los biológicos, químicos y físicos, en ese orden a nivel nacional.

Una vez que estos suelos alcanzaron concentraciones, niveles, límites, o parámetros máximos de contaminantes en suelo, esta Secretaría o la ASEA aprueban el trámite de la conclusión del programa de remediación y se registra como sitio remediado.

A mayo de 2023, se tienen registrados tres sitios remediados en dos sitios de la propuesta de la ZRE, dos localizados en Atitalaquia y uno en Tula de Allende, que representan un área de 4,202 m² (0.4202 ha) y un volumen de 3,490.32 m³ de suelo remediado.

Estos tres sitios estuvieron contaminados por eventos de emergencias ambientales, principalmente por Conforme se establece en el Reglamento Interior de la SEMARNAT, en su artículo 21 fracción XVII, a la DGGIMAR le corresponde evaluar las acciones para la remediación de sitios contaminados en los programas respectivos y, en su caso, determinar las acciones de remediación que procedan, así como evaluar las conclusiones de los programas correspondientes, salvo que se trate de acciones de remediación de sitios contaminados derivados de las Actividades del Sector Hidrocarburos, ya que estas actividades corresponden a la ASEA.

La información que contiene el Inventario Nacional de Sitios Remediados (INSC) proviene del trámite de conclusión del programa de remediación de emergencias y pasivos ambientales que es aprobado por la Secretaría o por la ASEA. En este caso, el sitio se elimina del inventario como sitio de derrames de hidrocarburos derivados de volcaduras en carretera de autotransportes (926 m²) (0.926 ha) y uno por un incendio en una fábrica de agroquímicos (3,276 m²) (0.3276 ha). Tabla 39, Figura 47.

Figura 47. Sitios remediados

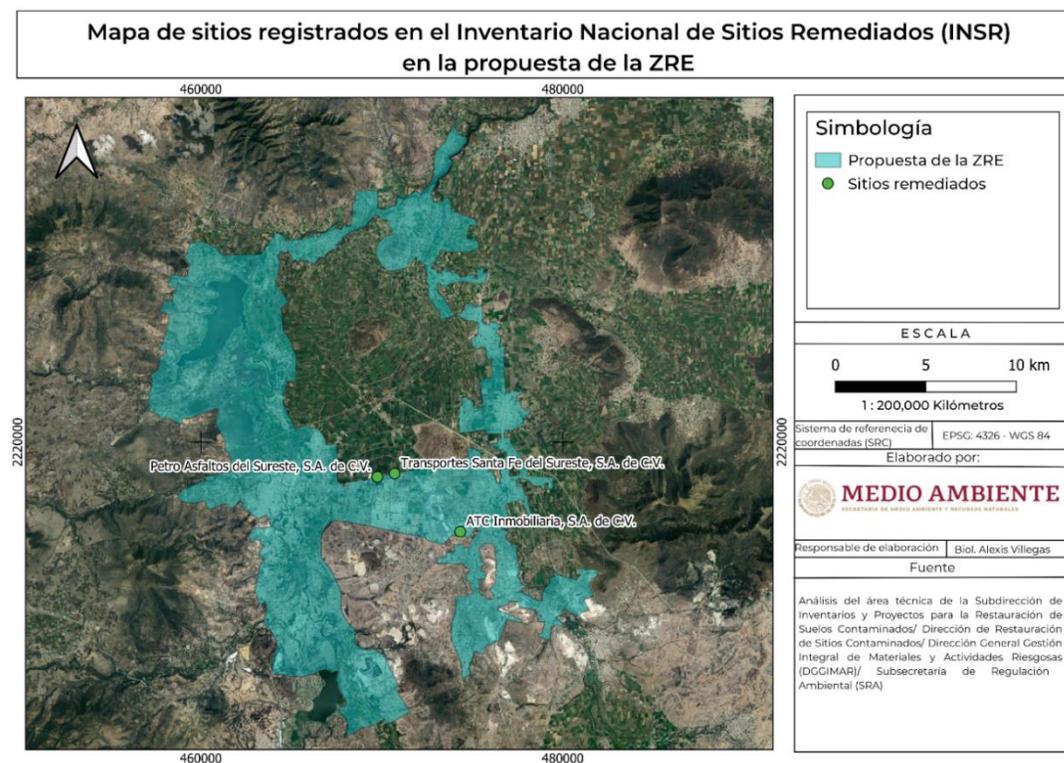


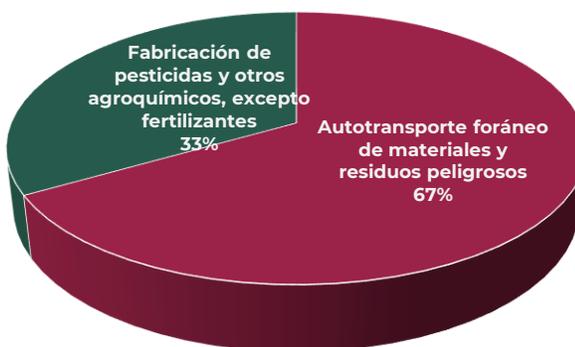
Tabla 39. Sitios remediados

Municipio	Causa del evento	Producto contaminante	Técnica o proceso de remediación	Año ¹⁷	Área de suelo remediado (ha)	Volumen de suelo remediado (m ³)
Atitalaquia	Incendio	Plaguicidas	Disposición final fuera del sitio	2018	0.3276	3,138.32
Atitalaquia	Volcadura	Combustóleo	LAND-LS ¹⁸	2009	0.0621	230
Tula de Allende	Volcadura	Combustóleo	Disposición final fuera del sitio	2010	0.0305	122
Total					0.4202	3,490.32

FUENTE: Elaboración propia con información de la DGGIMAR

De manera general, la actividad económica de autotransporte foráneo de posibles acciones a implementar en materiales y residuos peligrosos es la que cuenta con más acciones de remediación de suelos contaminados (Figura 48), no obstante, en la propuesta de la ZRE se desarrollan actividades del sector hidrocarburos. Dado que todo vehículo que se utiliza en la operación de transporte terrestre de materiales o residuos peligrosos, desde la recepción de la carga hasta su entrega al destinatario, debe contar con una póliza de seguros que cubra los gastos ocasionados por los daños personales, materiales y ambientales derivados de los efectos de un accidente generado por la carga, ocurrido durante dicha operación.

Figura 48. Actividad económica del responsable de los sitios remediados



FUENTE: Elaboración propia con información de la DGGIMAR

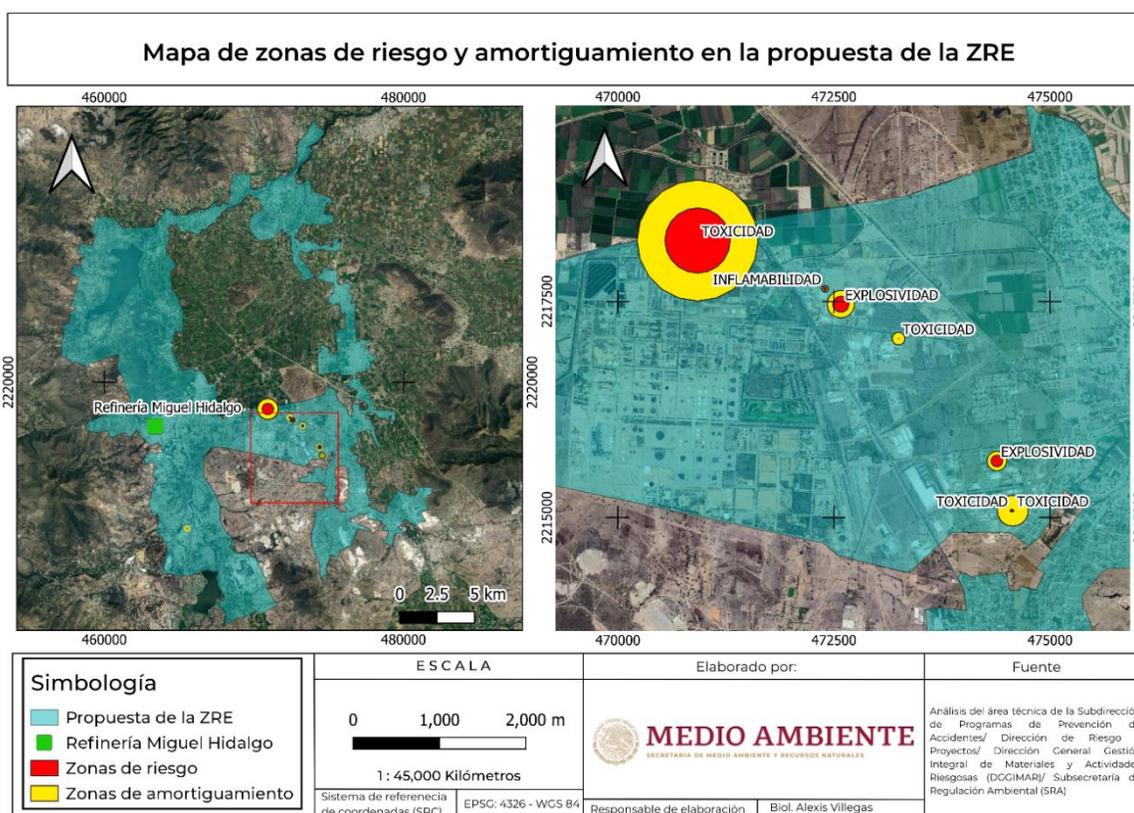
¹⁷ Año de conclusión de la remediación.

¹⁸ Biorremediación por landfarming a un lado del sitio contaminado

A) ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS
EVALUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL (ERA)

En la evaluación del riesgo ambiental, las empresas con actividades altamente riesgosas realizan un estudio de los riesgos posibles que podrían presentarse en caso de una emergencia química. Para determinarlo, se realiza un análisis de consecuencias a través de la simulación de los eventos más probables de acuerdo con el tipo de sustancias químicas peligrosas, representando el alcance posible a través del área de afectación (círculos: rojo para la zona de riesgo, y amarillo, para la zona de amortiguamiento). Figura 49.

Figura 49. Zonas de riesgo y zonas de amortiguamiento para eventos extremos de empresas con Actividad Altamente Riesgosa



Esta representación se realiza habitualmente con el simulador matemático denominado ALOHA, el cual es de uso libre y se encuentra disponible en la página web de la Agencia de los Estados Unidos para el Medio Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés), con éste se representa la opción extrema que podría suscitarse en caso de emergencias químicas, las cuales se prevén y/o evitan, a través de la adopción de medidas reflejadas en los Programas para la Prevención de Accidentes.

La mayor extensión de potencial afectación por una emergencia química se suscita por los giros de tratamiento de aguas residuales y generación de energía eléctrica; esto debe entenderse como una representación que permite prevenir el riesgo por el uso de sustancias químicas peligrosas, así como para efectuar una adecuada comunicación entre la sociedad.

Los datos obtenidos de las simulaciones estiman una superficie de potencial alcance de 597.04 ha que abarcan los municipios de Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tepeji del Río de Ocampo y Tula de Allende, con base en el radio máximo de alguno de los eventos simulados para la zona de amortiguamiento¹⁹. Tabla 40.

Tabla 40. Superficie estimada de afectación por municipio

Municipio	Superficie estimada de alcance (ha)
Atitalaquia	69.5
Atotonilco de Tula	321.3
Tepeji del Río de Ocampo	0.2
Tula de Allende	206.1
Total	597.04

FUENTE: Elaboración propia con información de la DGGIMAR, 2010-2023

La determinación de la superficie total señalada en la Tabla 40 es con base en la simulación de 17 eventos derivados de empresas con giros: de cementos, plaguicidas, químicos, alimentos entre otros. (Tabla 41).

Tabla 41. Superficie estimada de potencial alcance por giro

Giro	Superficie estimada de afectación (ha)
Alimentos	5.8
Generación de energía	153.9
Agroquímicos	23.5
Artes gráficas	0.2
Cementos	0.04
Plaguicidas	45.7
Almacenamiento	52.1

¹⁹ **Zona de amortiguamiento:** Es la superficie sobre la cual tras la liberación de una sustancia tóxica el personal estará expuesto a la concentración TLV (Concentración máxima permitida de un material peligroso en el ambiente laboral); sobre la cual se estima que el riesgo de muerte anual es de 1 en 100,000 (10^{-5}). (INE-SEMARNAP, 1999).

Tratamiento de aguas residuales	307.9
Químico	7.9

FUENTE: Elaboración propia con información de la DGGIMAR, 2010-2023

El aumento de la presencia industrial dispersa y la ampliación de su infraestructura, así como, la expansión de la mancha urbana, y los cambios en el uso del suelo, en particular por el crecimiento de la frontera agrícola y la introducción de especies exóticas invasoras; explican la degradación progresiva que han sufrido los factores bióticos como la flora y la fauna dentro de la propuesta de la ZRE.

Degradación de la Biota

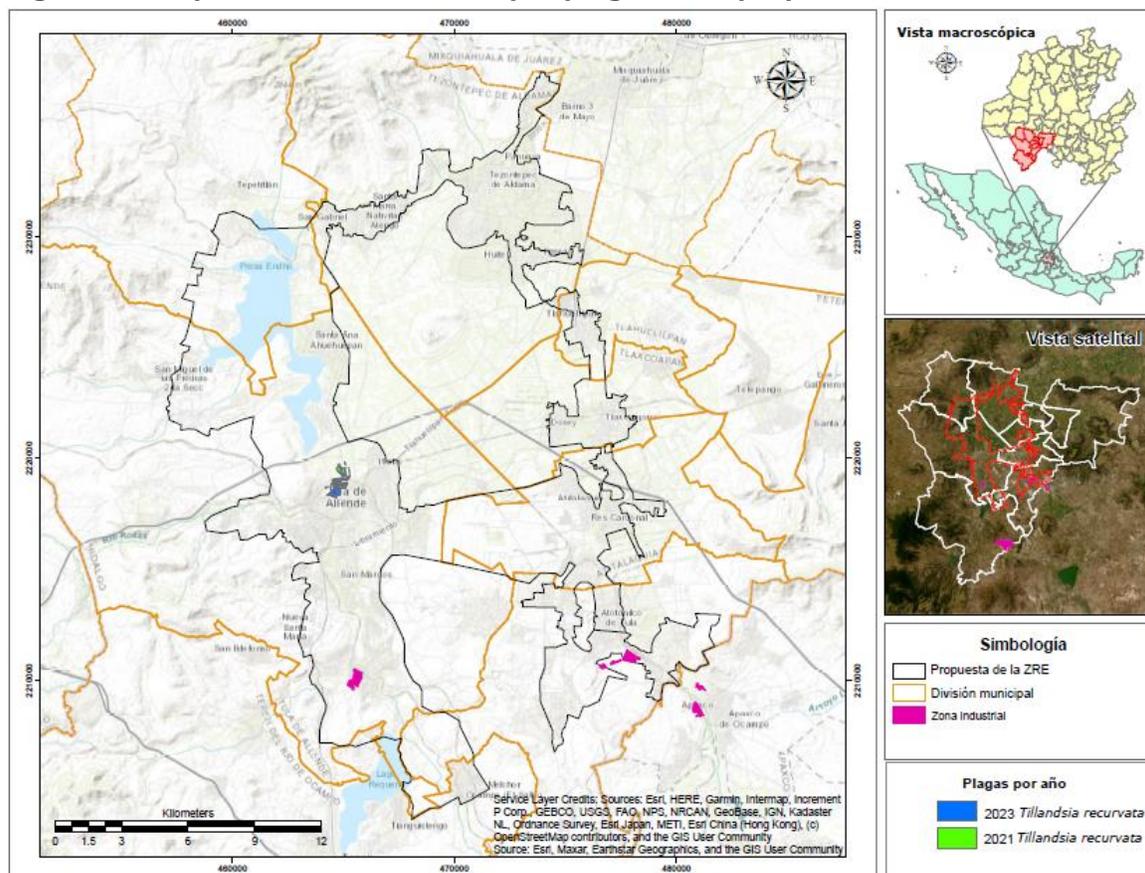
Debido a esas afectaciones en la propuesta de la ZRE se identificaron 33 especies exóticas invasoras (Anexo 3), éstas tienen la capacidad de causar daños significativos en el ambiente, multiplicarse rápidamente y desplazar a las especies nativas, alterando los ecosistemas y causando impactos negativos en la biodiversidad. Tal es el caso del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), que es una planta macrófita libre flotadora e invasora (Rzedowski, 2001; Rzedowski, 2004), ésta obstaculiza el aprovechamiento del agua y su distribución para realizar actividades de riego, causa filtraciones y evaporación, contribuye al deterioro de canales y a la acumulación de sedimentos. Además, proporciona lugares idóneos para la reproducción de insectos y otras plagas dañinas que afectan la salud pública (Camarena y Aguilar, 2013). Actualmente se ha observado presencia del lirio acuático en la presa Endhó.

Ya que el Área Natural Protegida con el carácter de Parque Nacional Tula (PNT) se encuentra inmerso en su totalidad en la propuesta de la ZRE, también el crecimiento de la mancha urbana ejerce presión sobre este, lo que ha propiciado la apertura de veredas y senderos desordenados, erosión y compactación de suelos, incendios forestales, contaminación por residuos sólidos, saqueo de especies de flora y fauna, aprovechamiento ilícito de tierra de monte y leña, y turismo desordenado (CONANP, 2019).

Además, el PNT presenta un proceso de aislamiento ecosistémico y fragmentación del hábitat por la circulación periférica de vialidades en su polígono, de la presión del crecimiento urbano en su vertiente sur, de su vecindad con el río Tula (principal vector regional de flujos ecosistémicos, cuyo caudal está contaminado) y por la instalación de la vialidad Arco Norte a 500 metros del borde de su polígono, lo que ha cerrado de manera definitiva los flujos de intercambio ecosistémico del PNT con los espacios naturales aledaños.

En 2019, la CONAFOR observó, que el PNT resultó afectado por la planta epífita *Tillandsia recurvata*, como huésped de la especie *Prosopis leavigata* en una superficie de 6.57 ha (CONAFOR, 2023). Posteriormente, en 2021 y 2023 se presentaron nuevas infestaciones de plantas parásitas afectando una superficie de 40.28 ha y una de 31.26 ha, respectivamente. Figura 50.

Figura 50. Mapa de zonas afectadas por plagas en la propuesta de la ZRE.



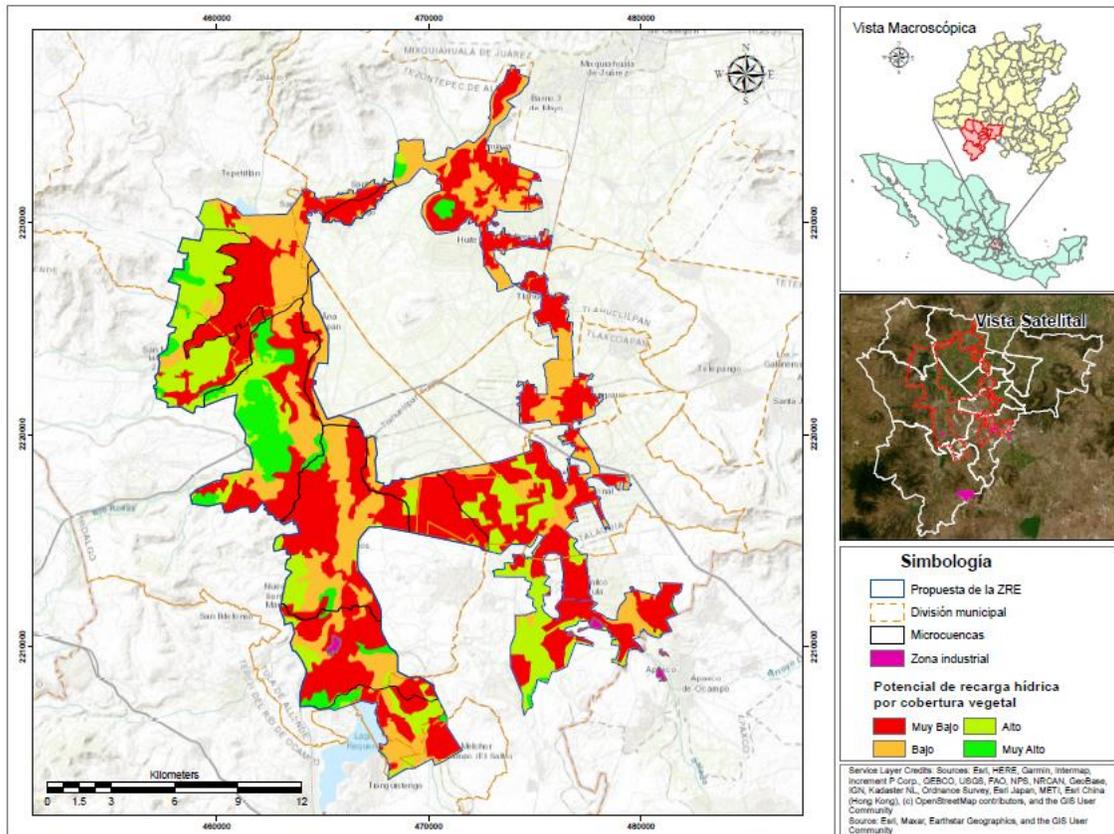
FUENTE: Elaboración propia con datos de CONAFOR²⁰

En la Figura 51, se observa en la propuesta de ZRE, en color rojo las áreas con cobertura vegetal menor a 25%, lo que puede ser indicativo de deterioro en el ambiente, esto sugiere que la vegetación ha sido removida o degradada, ya sea por actividades humanas como la deforestación, agricultura intensiva, urbanización, incendios forestales, o por factores naturales como cambios en el clima.

Las áreas con una cobertura vegetal de 25 a 50% (representadas en color naranja) señalan que todavía existe algo de vegetación en esas zonas. Sin embargo, este nivel de cobertura vegetal indica perturbación o deterioro y reducción en la biodiversidad.

²⁰ Los mapas elaborados con datos de CONAFOR, fueron generados por la Promotoría de Desarrollo Forestal de Hidalgo, con base en la ejecución de apoyos derivados de las convocatorias respectiva.

Figura 51. Mapa de cobertura vegetal reclasificado en la propuesta de ZRE.



B) IDENTIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS O FENÓMENOS NATURALES QUE CONDUJERON A LA DEGRADACIÓN, TALES COMO: INCENDIOS, INUNDACIONES, PLAGAS Y OTRAS SIMILARES

El desarrollo de la industria creó fuentes de empleo y con ello el crecimiento económico, pero generó externalidades negativas al ambiente. El caso de la región del Valle del Mezquital, con la llegada de la industria textil, minera y cementera, se modificó el paisaje. A partir de 1973, la industria de petroquímica y de generación de energía eléctrica, así como la construcción de corredores industriales, contribuyeron al deterioro ambiental.

No solo la industria ha impactado de forma negativa al medio ambiente en esta región, lo ha hecho también la actividad agrícola al utilizar las aguas residuales provenientes de la Ciudad de México y del Estado de México, con el fin de reducir los costos por fertilizantes.

Con la expansión de la industria por la incorporación de una amplia fuerza laboral se fue modificando el espacio urbano en los municipios de Atitalaquia, Tlahuelilpan,

Tlaxcoapan, Tepeji del Río de Ocampo, Atotonilco de Tula, Tezontepec de Aldama, Tepetitlán y Tula de Allende. El proceso acelerado y desorganizado de la urbanización, impactó el hábitat de las especies, tal es el caso del PNT que como se mencionó atraviesa un proceso de aislamiento ecosistémico.

La falta de vigilancia y monitoreo del manejo de residuos industriales y domésticos, aunado a la ausencia de infraestructura de tratamiento de aguas residuales, propician problemas en la calidad de agua, reduciendo su disponibilidad para consumo.

Dentro de la propuesta de la ZRE, se observan actividades económicas que han degradado el medio ambiente:

- **Actividades mineras:** Han generado grandes cantidades de jales y escorias, muchos de los cuales, fueron dispuestos inadecuadamente antes de que iniciara la regulación ambiental en México, la lixiviación de estos residuos contamina el suelo y potencialmente el agua.
- **Actividades del sector hidrocarburos**²¹: Han generado contaminación por hidrocarburos y otro tipo de sustancias potencialmente tóxicas que han dañado suelo y cuerpos de agua.
- **Actividades agrícolas:** El empleo de agroquímicos en las actividades agropecuarias y las prácticas inadecuadas han impactado significativamente al medio ambiente. Este impacto ha resultado en procesos acelerados de degradación ambiental, causando la pérdida irreversible de recursos naturales y la afectación severa de los ecosistemas y sus elementos, incluyendo ríos, lagunas y demás cuerpos de agua.
- **Actividades industriales:** La producción de bienes de consumo ha generado focos de contaminación por el manejo inadecuado de materiales peligrosos y todo tipo de residuos.
- **Instalaciones de servicio:** Las estaciones de servicio de gasolina, talleres de reparación de vehículos, estaciones e instalaciones de ferrocarriles, terminales de autobuses, entre otras, han generado contaminación de suelo y agua subterránea, derivado de las fugas en contenedores de materiales peligrosos; derrames continuos de lubricantes; solventes orgánicos, u otro tipo de sustancias, así como las prácticas inadecuadas del manejo de estas.

²¹ La Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos, señala en su artículo 3o., fracción XI, aquellas que se consideran como actividades del sector hidrocarburos:

“... a. El reconocimiento y exploración superficial, y la exploración y extracción de hidrocarburos; b. El tratamiento, refinación, enajenación, comercialización, transporte y almacenamiento del petróleo; c. El procesamiento, compresión, licuefacción, descompresión y regasificación, así como el transporte, almacenamiento, distribución y expendio al público de gas natural; d. El transporte, almacenamiento, distribución y expendio al público de gas licuado de petróleo; e. El transporte, almacenamiento, distribución y expendio al público de petrolíferos, y f. El transporte por ducto y el almacenamiento, que se encuentre vinculado a ductos de petroquímicos producto del procesamiento del gas natural y de la refinación del petróleo ...)

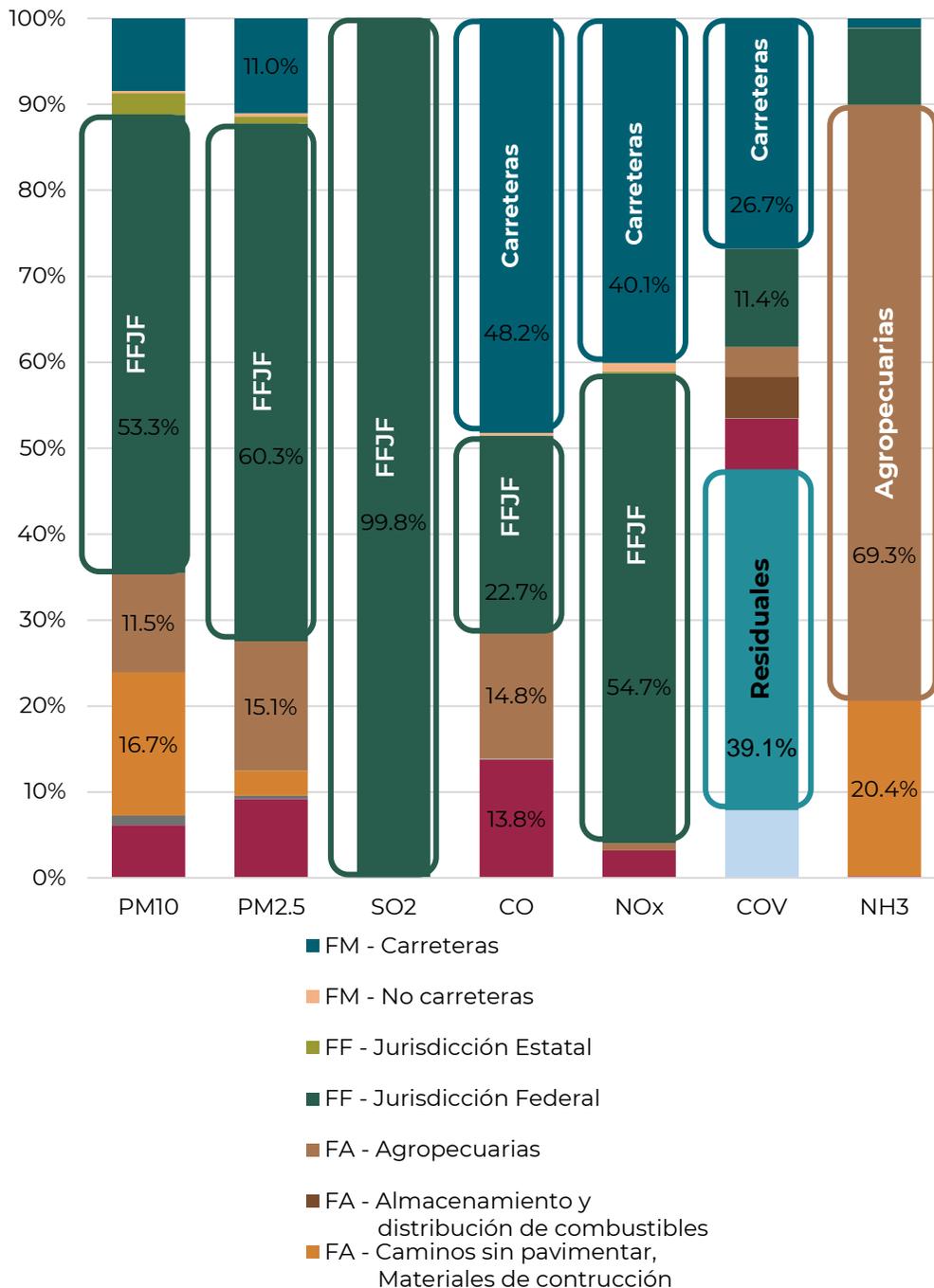
- **Uso de aguas residuales en irrigación de campos agrícolas:** El empleo de dichas aguas para riego de cultivos agrícolas, provoca que los suelos y los cultivos se contaminen con los residuos químicos provenientes de descargas industriales y municipales.
- **Sitios no controlados de residuos:** En los sitios no controlados de residuos (basureo o relleno sanitario sin controles) ocurre la disposición inadecuada de residuos sólidos urbanos que pueden estar mezclados con residuos peligrosos, cuya lixiviación contamina el suelo. (Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados. SEMARNAT, 2021).

Por otra parte, para la identificación de las principales fuentes de emisión de contaminantes en la propuesta de la ZRE, que pudieran provocar degradación o contaminación al ambiente, se consultó el Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio, año base 2018²².

Se identificó que la emisión de contaminantes como: partículas suspendidas menores a 10 y 2.5 micrómetros (PM10 y PM2.5), dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) es aportada principalmente por las Fuentes Fijas de Jurisdicción Federal (FFJF), las fuentes de área (FA) aportan emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), principalmente provenientes del tratamiento de aguas residuales y de amoníaco (NH₃) provenientes en su mayoría de actividades agropecuarias, las Fuentes Móviles (FM), especialmente la categoría de vehículos en carretera, es significativa en la emisión de monóxido de carbono (CO), NO_x y COV. Figura 52.

22 El inventario de emisiones de los municipios que conforman la propuesta de ZRE es un extracto del Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio, año base 2018 (INEM 2018 preliminar). Información referente al inventario se puede consultar en: <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/documentos-del-inventario-nacional-de-emisiones>

Figura 52. Participación por categorías en las emisiones de contaminantes



FUENTE: SEMARNAT, 2018 preliminar

En la revisión de subcategorías destaca la aportación a las emisiones de contaminantes de las fuentes de emisión (fijas, móviles y de área): Generación de energía eléctrica,

Petróleo y petroquímica, en el municipio de Atitalaquia; y Cemento y cal, en los municipios de Atotonilco de Tula y Tula de Allende. (Tabla 42).

Tabla 42. Principales subcategorías con mayores emisiones por contaminante

Contaminante	Subcategoría	%
PM10	Generación de energía eléctrica	41
	Caminos pavimentados y sin pavimentar	15
	Petróleo y petroquímica	8
PM2.5	Generación de energía eléctrica	46
	Quemas agrícolas	14
	Petróleo y petroquímica	10
SO₂	Generación de energía eléctrica*	59
	Petróleo y petroquímica*	41
CO	Cemento y cal	19
	Autos particulares	16
	Quemas agrícolas	15
NO_x	Cemento y cal	27
	Generación de energía eléctrica	21
	Autos particulares	17
COV	Aguas residuales	39
	Petróleo y petroquímica	8
	Combustión doméstica	6
NH₃	Emisiones ganaderas	58
	Emisiones domésticas de amoníaco	20
	Quemas agrícolas	7

FUENTE: SEMARNAT, 2018 preliminar.

*Nota: Respecto a SO₂, por cuestiones de redondeo suman 100 sin embargo existen otras categorías que no se encuentran reflejadas en la Tabla 42.

En el análisis de la aportación de emisiones por municipios, la mayor contribución proviene de los municipios de Atitalaquia, Tula de Allende, Atotonilco de Tula, y Tepeji del Río de Ocampo. La Tabla 43, presenta las principales subcategorías de las fuentes de emisión (fijas, móviles o de área), por municipio y contaminante.

Tabla 43. Fuentes de emisión por contaminante con la mayor aportación en municipios

Municipio	Contaminante	Subcategoría	Aportación en el municipio (%)
Atitalaquia	PM10	Generación de energía eléctrica	78
		Petróleo y petroquímica	16
	PM2.5	Generación de energía eléctrica	78
		Petróleo y petroquímica	17
	SO ₂	Generación de energía eléctrica	59
		Petróleo y petroquímica	41
	CO	Generación de energía eléctrica	22
		Autos Particulares	19
	NO _x	Generación de energía eléctrica	67

		Petróleo y petroquímica	21
	COV	Petróleo y petroquímica	61
		Limpieza de superficies industriales	10
	NH ₃	Emisiones ganaderas	49
		Generación de energía eléctrica	31
Atotonilco de Tula	PM10	Cemento y cal	42
		Caminos pavimentados y sin pavimentar	20
	PM2.5	Cemento y cal	42
		Quemas Agrícolas	17
	SO ₂	Cemento y cal	95
		Combustión agrícola	1
	CO	Cemento y cal	38
		Autos Particulares	14
	NO _x	Cemento y cal	77
		Autos Particulares	9
COV	Aguas residuales	84	
	Cemento y cal	6	
NH ₃	Emisiones ganaderas	55	
	Emisiones domésticas de amoniaco	29	
Tepeji del Río de Ocampo	PM10	Caminos pavimentados y sin pavimentar	23
		Vehículos mayores a 3.8 ton	18
	PM2.5	Vehículos mayores a 3.8 ton	27
		Quemas Agrícolas	24
	SO ₂	Industria textil	39
		Vehículos mayores a 3.8 ton	22
	CO	Vehículos mayores a 3.8 ton	26
		Combustión doméstica	18
	NO _x	Vehículos mayores a 3.8 ton	30
		Autos Particulares	28
COV	Vehículos mayores a 3.8 ton	37	
	Combustión doméstica	10	
NH ₃	Emisiones ganaderas	72	
	Emisiones domésticas de amoniaco	20	
Tepetitlán	PM10	Quemas Agrícolas	32
		Bancos de materiales	18
		Extracción/Beneficio minerales no metálicos	18
	PM2.5	Quemas Agrícolas	61
		Combustión doméstica	14
	SO ₂	Combustión agrícola	40
		Quemas Agrícolas	27
	CO	Quemas Agrícolas	47
		Combustión doméstica	16
	NO _x	Autos Particulares	33
Pickup y vehículos menores a 3.8 ton		18	
COV	Quemas Agrícolas	28	
	Combustión doméstica	20	
NH ₃	Emisiones ganaderas	68	
	Emisiones domésticas de amoniaco	13	
	PM10	Quemas Agrícolas	42

Tezontepec de Aldama	PM2.5	Caminos pavimentados y sin pavimentar	28
		Quemas Agrícolas	61
	SO ₂	Combustión doméstica	18
		Combustión agrícola	34
	CO	Quemas Agrícolas	25
		Combustión doméstica	34
	NO _x	Autos Particulares	18
		Pickup y vehículos menores a 3.8 ton	36
	COV	Combustión doméstica	15
		Quemas Agrícolas	18
NH ₃	Emisiones ganaderas	53	
	Emisiones domésticas de amoniaco	24	
Tlahuelilpan	PM10	Caminos pavimentados y sin pavimentar	27
		Quemas Agrícolas	22
	PM2.5	Quemas Agrícolas	38
		Combustión doméstica	19
	SO ₂	Maquinaria Agrícola y de Construcción	50
		Combustión agrícola	10
	CO	Quemas Agrícolas	22
		Autos Particulares	19
	NO _x	Autos Particulares	30
		Maquinaria Agrícola y de Construcción	29
COV	Vehículos mayores a 3.8 ton	19	
	Combustión doméstica	15	
NH ₃	Emisiones ganaderas	60	
	Emisiones domésticas de amoniaco	24	
Tlaxcoapan	PM10	Caminos pavimentados y sin pavimentar	42
		Quemas Agrícolas	21
	PM2.5	Quemas Agrícolas	37
		Combustión doméstica	31
	SO ₂	Combustión agrícola	43
		Autos Particulares	12
	CO	Autos Particulares	23
		Combustión doméstica	23
	NO _x	Autos Particulares	43
		Pickup y vehículos menores a 3.8 ton	15
COV	Combustión doméstica	19	
	Manejo y Distribución de gas L.P.	12	
NH ₃	Emisiones ganaderas	66	
	Emisiones domésticas de amoniaco	24	
Tula de Allende	PM10	Caminos pavimentados y sin pavimentar	35
		Quemas Agrícolas	13
	PM2.5	Quemas Agrícolas	25
		Combustión doméstica	19
	SO ₂	Cemento y cal	56
		Vehículos mayores a 3.8 ton	11
CO	Cemento y cal	37	
	Autos Particulares	15	
NO _x	Cemento y cal	43	

	COV	Autos Particulares	23
		Vehículos mayores a 3.8 ton	27
		Combustión doméstica	12
	NH ₃	Emisiones ganaderas	53
		Emisiones domésticas de amoniaco	30

FUENTE: SEMARNAT, 2018 preliminar

C) IDENTIFICACIÓN DE LOS RECURSOS DE MUY DIFÍCIL REGENERACIÓN, QUE SE HAYAN PERDIDO Y QUE PRETENDAN RECUPERARSE O RESTABLECERSE

Se realizó el monitoreo de la calidad del agua en 18 sitios de muestreo en aguas superficiales (ríos y arroyos) y 10 pozos de agua subterránea en el acuífero del Valle del Mezquital, sitios definidos en conjunto con las comunidades de la zona dentro de la propuesta de ZRE. La revisión de cantidad y calidad del agua en las cuatro cuencas aledañas a la ZRE: "Río Tula", "Requena", "Taxhimay", y "Río Salado" arrojó que la cuenca que presentó el mayor nivel de contaminación en los parámetros de SST, DBO₅, DQO, *E. coli* y metales, es la cuenca de la presa Endhó, donde desemboca el río Tula que drena las salidas del drenaje profundo de la Ciudad de México (túneles Emisor Oriente y Central), y recibe la descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) de Atotonilco (PTAR).

La industria petrolera y la del cemento y cal, descargan sus efluentes en el río Salado, cuya conexión hidrológica con el río Tula se da aguas debajo de la presa Endhó. Debido al exceso de contaminantes que recibe el sistema río El Salto y presa Endhó, no es posible que los ríos y la presa se purifique de manera natural, sin una acción directa que ayude en la reducción del exceso de contaminación presentes hoy en día en la propuesta de la ZRE.

En conclusión, los cuerpos de agua dentro de la propuesta de la ZRE por sí mismos, no tienen la capacidad de diluir y estabilizar residuos y, por lo tanto, no garantiza que reponga de manera natural sus cualidades ecológicas y sanitarias. Los resultados de calidad del agua superficial y subterránea muestran una condición de contaminación crónica del medio ambiente, mismos que se presentan a continuación:

AGUA SUPERFICIAL

- Se midieron los gastos en el sistema Tula-Río Salado, donde se identificó que las aportaciones del Túnel Emisor Central (TEC), Túnel Emisor Oriente (TEO), y la cuenca de la presa Requena representan un 44% de aportes al río Tula que desemboca en la presa Endhó. El porcentaje restante (56%) es aprovechado por el sistema de riego.
- En todos los sitios monitoreados dentro de la propuesta de la ZRE, se identificó la presencia de materia orgánica no biodegradable, lo cual afecta la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua, siendo la cuenca del Río Tula la que tiene el mayor nivel de impacto, a la altura del área metropolitana.
- Los valores más altos de SST, DBO₅, DQO, *E. coli* y por presencia de metales (principalmente Arsénico), se presentaron en los sitios de muestreo correspondientes

a los túneles Emisor Oriente y Central, Aguas arriba y abajo de la industria del cemento y cal, PTAR de Atotonilco y Descarga de la industria petrolera, todos dentro de la propuesta de la ZRE.

- De los resultados se destaca que el 66% de los sitios muestreados presentan una DQO que indica una contaminación de origen industrial de alta a muy alta, 48% tuvieron una DBO que indica una contaminación por compuestos biodegradables de alta a muy alta. Además, el 58% de los sitios presentaron Coliformes fecales, característicos de las aguas residuales domésticas.
- Como resultado del análisis correspondiente al barrido de compuestos orgánicos semivolátiles, se tuvo la identificación de 65 compuestos, entre los que se encuentran subproductos derivados de la industria petroquímica, compuestos derivados de solventes y subproductos de origen industrial y personal, como: benceno, hexano, ácido acético y amidas, entre otros.
- Sitios como el manantial el Quinte y la presa Taxhimay tienen potencial como zonas de conservación en materia de calidad del agua; sin embargo, aún en estos sitios se hizo evidente el problema de contaminación de tipo doméstico por la presencia de *E. coli*.

AGUAS SUBTERRÁNEAS

- La calidad de las aguas subterráneas dentro del acuífero Valle del Mezquital, que se encuentra en la propuesta de la ZRE, de manera general, posee características que califica a sus aguas de regulares a buenas para aprovechamiento en riego agrícola y potencial consumo humano; sin embargo, existen puntos con problemas significativos de contaminación, como los Pozos Iturbide y El Llano #20, en los cuales se alcanzan las peores categorías de calidad, lo cual se puede deber a su proximidad a la zona industrial del Valle del Mezquital.
- El 60% de los pozos muestreados en la propuesta de la ZRE (Manantial el Salado, Pozo Iturbide, Pozo San Francisco Bojay, Pozo Zaragoza, Pozo el Llano #20 y V MEZ-85 Pozo Bojay) presentan Arsénico en concentraciones superiores al límite permisible por la "Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua", lo que conlleva un riesgo a la salud de la población. Estos sitios son cercanos a la zona metropolitana de Tula.
- Adicionalmente, 70% de los pozos (Manantial El Salado, Pozo Col. Cuauhtémoc, Pozo Gral. Pedro María Anaya, San Francisco Bojay, Zaragoza, Pozo Los Cuates y Pozo el Llano #20), contienen nitratos en concentraciones que definen a estas fuentes como no aptas para abastecimiento de agua potable. La presencia de nitratos en el acuífero indica la infiltración de fertilizantes utilizados en actividades agrícolas.
- Se identificaron 17 compuestos orgánicos semivolátiles en ocho pozos (80%) (Manantial el Salado, Pozo Iturbide, Pozo San Francisco Bojay, Pozo Zaragoza, Pozo Los Cuates, Pozo Col. Cuauhtémoc, Pozo Gral. Pedro María Anaya y Pozo Michimaltongo) del total muestreado dentro de la propuesta de la ZRE. De estos 17 compuestos, cinco estuvieron presentes tanto en agua superficial como en agua subterránea, lo cual evidencia la contaminación del agua superficial hacia el acuífero.

A diferencia de los ambientes acuáticos superficiales, los ambientes acuáticos subterráneos tienen una muy baja capacidad de autodepuración de contaminantes, ya sea por procesos químicos o biológicos, por lo que la presencia compuestos derivados de solventes, subproductos derivados de la industria petroquímica y subproductos de origen industrial, representan un impacto ambiental prácticamente irremediable de forma natural.

Estos impactos ambientales también se reflejan en la calidad del aire.

CALIDAD DEL AIRE EN LOS MUNICIPIOS QUE INTEGRAN LA PROPUESTA DE LA ZRE

La propuesta de la ZRE se encuentra dentro de los municipios: Tepetitlán, Tezontepec de Aldama, Tula de Allende, Atotonilco de Tula, Tlaxcoapan, Atitalaquia, Tlahuelilpan y Tepeji del Río de Ocampo. Y de acuerdo con el informe de “Calidad del Aire en la Cuenca Atmosférica de Tula, Hidalgo 2013 – 2021”, el análisis de la calidad del aire realizado aplica para la propuesta de la ZRE.

El análisis de la calidad de aire se realizó a partir de la información histórica de las estaciones del sistema de monitoreo de la calidad del aire operada por el Gobierno del Estado de Hidalgo, cuya cobertura abarca las principales zonas urbanas de la propuesta de la ZRE. De este análisis se observó que se superaron los límites establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas de salud ambiental que regulan la exposición a los contaminantes del aire ambiente (Anexo 4, inciso A).

En la Tabla 44 se muestra la evaluación del cumplimiento de las NOMs de salud ambiental, por contaminante, por año y por municipio, en el periodo 2013 a 2021 en municipios que integran la propuesta de la ZRE. Las celdas en rojo indican que se superó el valor normado del contaminante correspondiente y las celdas en verde que las concentraciones estuvieron por debajo de este valor. Las celdas en blanco indican que para ese año y para ese contaminante no se midió o no hubo información suficiente para su evaluación.

En general, se observó que a lo largo del tiempo, en el periodo analizado, se superan los límites normados de protección a la salud con respecto a partículas suspendidas (PM10 y PM2.5), ozono (O3) y dióxido de azufre (SO2) en Tula de Allende, Atitalaquia, Atotonilco de Tula y Tepeji del Río de Ocampo.

Tabla 44. Resumen de evaluación de cumplimiento de NOMs de salud ambiental en municipios que forman parte de la propuesta de la ZRE, Hidalgo (2013-2021).

Tula de Allende (CSA)									
Contaminante	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PM10									
PM2.5									
Ozono									
CO									

NO ₂									
SO ₂									
Atitalaquia (ATI)									
Contaminante	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PM10									
PM2.5									
Ozono									
CO									
NO ₂									
SO ₂									
Atotonilco (ATI)									
Contaminante	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PM10									
PM2.5									
Ozono									
CO									
NO ₂									
SO ₂									
Tepeji del Rio (TPJ)									
Contaminante	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PM10									
PM2.5									
Ozono									
CO									
NO ₂									
SO ₂									
Tlaxcoapan (TCP)									
Contaminante	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PM10									

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la SEMARNATH

Partículas suspendidas menores a 10 micrómetros – PM10

Para efectos de proteger la salud de la población más vulnerable, la NOM-025-SSA1-2014, establece que la concentración ambiental de las Partículas Suspendidas menores a 10 micrómetros de diámetro (PM10), no debe exceder el valor de 75 µg/m³, como promedio de 24 horas, ni una sola vez a lo largo de un año calendario.

Los mayores problemas de calidad del aire por partículas suspendidas PM10 se registran en Atitalaquia y Atotonilco de Tula. En ambos sitios, el valor límite de protección a la salud con respecto a este contaminante se superó al menos en el 20% de los días de cada uno de los años, en el periodo 2016 a 2021.

En Atotonilco de Tula se aprecia, además, una tendencia al alza en este indicador en el periodo 2019 a 2021. En este periodo de tiempo el porcentaje de días por año en esta condición pasó de 25% a 48%, lo que indica un claro incremento en el deterioro de la calidad del aire con respecto a las partículas PM10. En Atitalaquia, no es posible establecer una tendencia clara, respecto a este indicador.

En Tula de Allende, Tepeji del Río de Ocampo y Tlaxcoapan, el problema de contaminación por partículas suspendidas PM10 es significativamente menor que el observado en Atotonilco de Tula y Atitalaquia, sin embargo, el problema también está presente. En estos sitios, en el año 2021 por ejemplo, el porcentaje de días con concentraciones superiores al límite normado de protección a la salud fue de 1%, 0.3% y 3%, respectivamente.

Partículas suspendidas menores a 2.5 micrómetros – PM2.5

Para proteger la salud de la población más vulnerable, la NOM-025-SSA1-2014, establece que la concentración ambiental de las Partículas Suspendidas menores a 2.5 micrómetros de diámetro (PM2.5), no debe exceder el valor de 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, como promedio de 24 horas, ni una sola vez a lo largo de un año calendario.

En el periodo 2013 a 2021 se ha registrado una mejora en la calidad del aire con respecto a las partículas suspendidas PM2.5 en todos los municipios que integran la propuesta de la ZRE, toda vez que se tiene registrado una tendencia a la baja en el porcentaje de días con concentraciones superiores al límite normado de protección a la salud. En este periodo de tiempo, en Atitalaquia se pasó de 63% de días en esta condición en 2013 a 1% en 2021, en Atotonilco se pasó de 74% a 5% y en Tepeji del Río de Ocampo de 75% a 3%, en el mismo periodo de tiempo, en tanto que en Tula de Allende se pasó de 17% a 0% de días en esta condición entre 2015 y 2021.

En cualquier caso, el problema de calidad del aire con respecto a este contaminante persiste en la propuesta de la ZRE, pues en 2021 en Atitalaquia, Atotonilco de Tula y Tepeji del Río de Ocampo se registró que el límite de concentración normado se superó al menos una vez al año.

Ozono – O₃

Para efecto de la protección a la salud de la población más susceptible la NOM-020-SSA1-2014, establece que la concentración de ozono debe ser menor o igual a 0.095 ppm como promedio horario y/o menor o igual a 0.070 ppm como promedio móvil de 8 horas. En ambos casos, dichos umbrales no deben superarse ni una sola vez a lo largo de un año calendario.

El ozono es un contaminante que también representa un problema de calidad del aire en la propuesta de la ZRE, aunque menos severo que el que representan las partículas suspendidas (PM10 y PM2.5). En este caso, los valores límite de protección a la salud, también se superan, aunque con una frecuencia menor. Por ejemplo, en 2021, esto ocurrió en el 14% de los días del año en Atitalaquia, 8% en Atotonilco de Tula, 6% en Tula de Allende y 3% en Tepeji del Río de Ocampo.

Dióxido de azufre – SO₂

Para efecto de la protección a la salud de la población más susceptible la NOM-022-SSA1-2019, establece dos valores límite para las concentraciones ambientales del dióxido de azufre (SO₂). Estos valores son: a) 0.075 ppm (196.5 µg/m³) como promedio aritmético de tres años consecutivos de los percentiles 99 anuales de los promedios horarios, y; b) 0.04 ppm (104.8 µg/m³) como el máximo de tres años consecutivos, obtenido de los promedios de 24 horas.

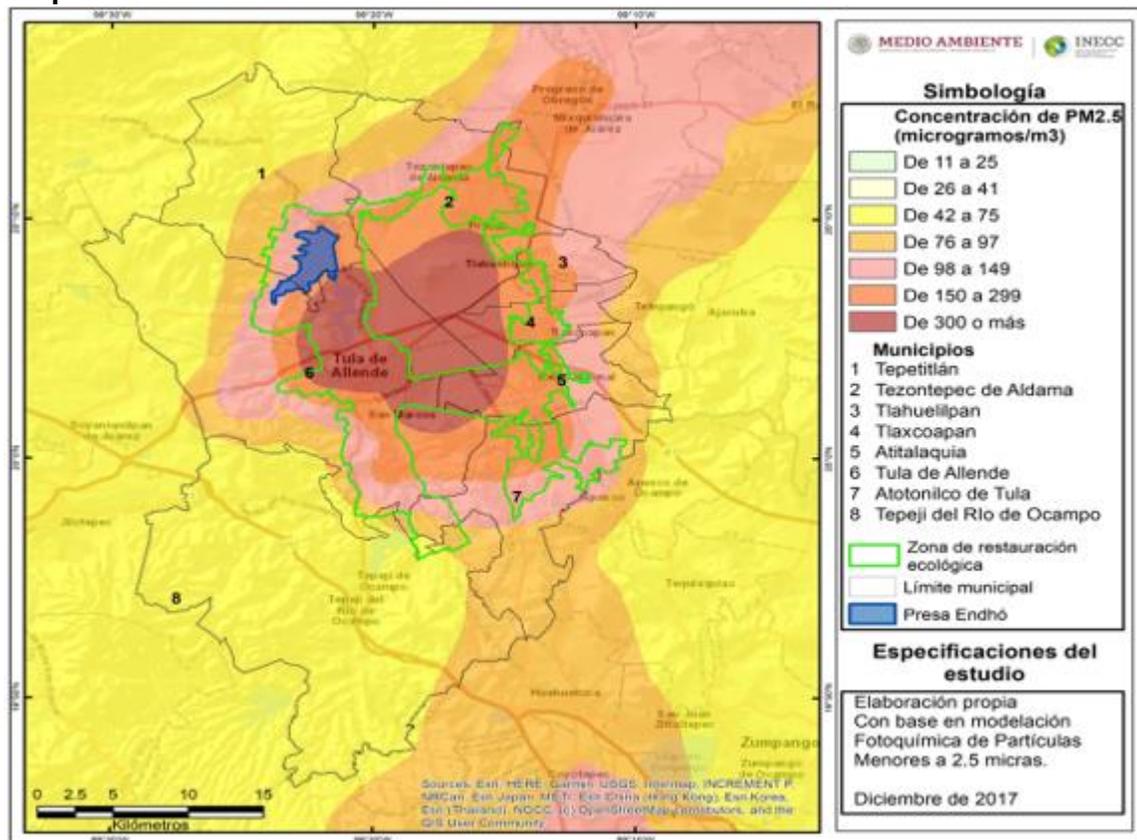
En la propuesta de la ZRE, el problema de la calidad del aire con respecto al dióxido de azufre es tan importante como el que representan las partículas suspendidas, debido a la frecuencia con que se registran concentraciones superiores a al menos uno de los límites normados de protección a la salud. Por ejemplo, en Tepeji del Río de Ocampo los días en esta condición han llegado a representar hasta el 46% de los días del año (en 2017), en Tula de Allende hasta el 42% (2015), en Atotonilco de Tula hasta el 40% (2013) y en Atitalaquia hasta el 31 % (2017). A partir del año 2017 y hasta el 2021, se registra una tendencia general a la baja. Sin embargo, a pesar de ello, en 2021 el porcentaje de días del año con concentraciones superiores a al menos uno de los límites normados de protección a la salud fue de 31% en Tepeji del Río de Ocampo, 28% en Tula de Allende, 9% en Atotonilco de Tula y 17% en Atitalaquia, .

Cabe destacar que este análisis de la calidad del aire de la ZRE se contempló en el diagnóstico del Programa de Gestión para mejorar la Calidad del Aire del Estado de Hidalgo (ProAire Hidalgo²³), en el cual se establecieron 20 medidas agrupadas en 6 estrategias, para la reducción de emisiones de las distintas fuentes contaminantes en el estado. Particularmente para la región de Tula, se establecieron medidas de las fuentes industriales de jurisdicción federal.

Para establecer el transporte del material particulado en la propuesta de la ZRE, la Figura 53 muestra la distribución de las concentraciones horarias máximas de PM2.5 estimada, modelada para el periodo de modelación seleccionado de diciembre de 2017. Como se aprecia en los resultados obtenidos, la distribución de partículas tiene una zona de máxima concentración delimitada por las localidades de Tula de Allende y Atitalaquia.

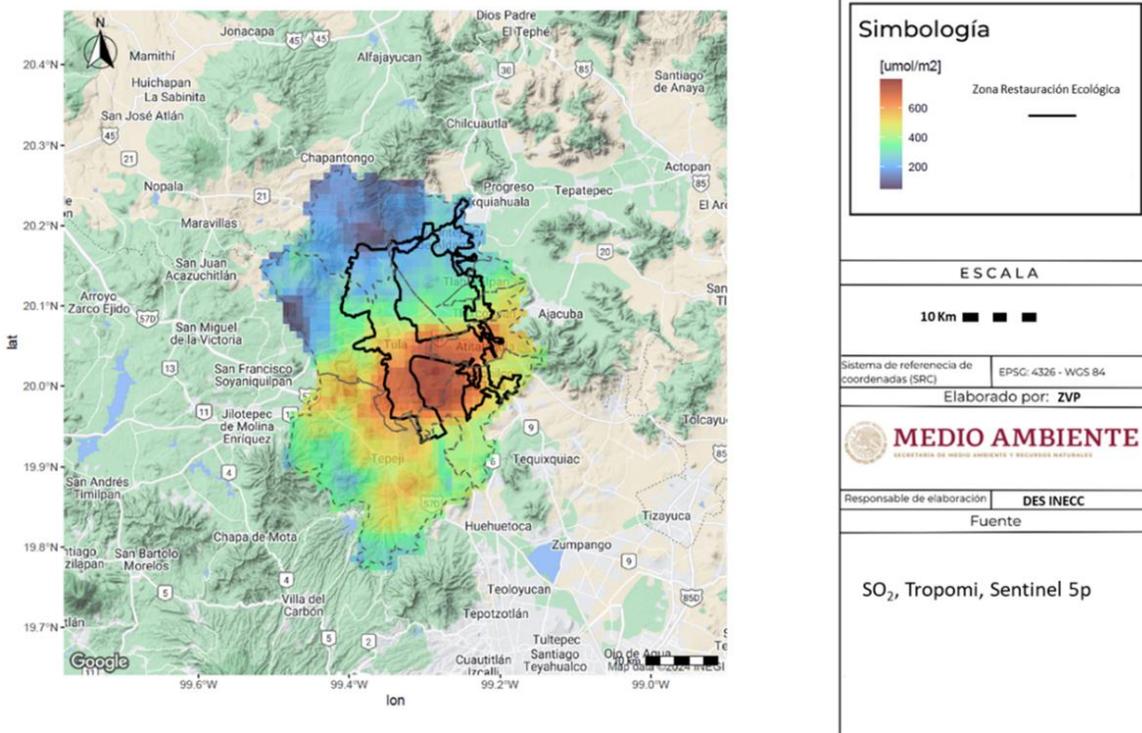
²³ https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/810373/39_ProAire_Hidalgo.pdf

Figura 53. Distribución de concentraciones horarias máximas de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en los periodos modelados de cada año



La distribución espacial de SO_2 dentro los municipios que conforman la propuesta de ZRE, se concentra en los municipios de Tula de Allende, Atitalaquia, Atotonilco de Tula y Tepeji del Río de Ocampo, como se evidencia en los estudios de percepción remota (Figura 54) y las redes de monitoreo atmosférico.

Figura 54. Modelación de SO₂

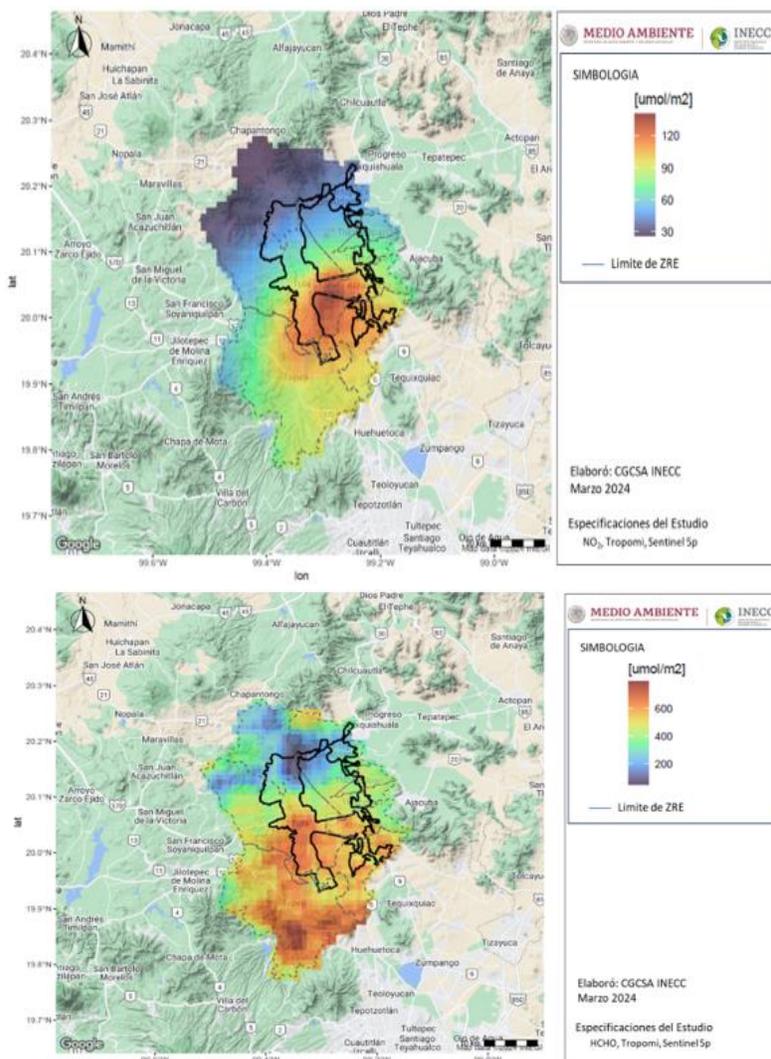


Columna Satelital de SO₂ donde se muestra el área de influencia de las emisiones de estos compuestos en los municipios que conforman la propuesta de la ZRE. Z.I. Tula: Zona Industrial de Tula, Z. T. Tepeji: Zona Industrial de Tepeji, con su distribución de industrias registradas en el inventario de emisiones en los municipios que conforman la propuesta de la ZRE. FUENTE: Elaboración propia con información de INECC

De acuerdo con la información del inventario de emisiones, este contaminante se atribuye principalmente a las FFJJ de los sectores de generación de energía eléctrica, petróleo y petroquímica.

Además del SO₂, en los municipios que conforman la propuesta de la ZRE, los óxidos de nitrógeno (NO_x), específicamente el dióxido de nitrógeno (NO₂), también se concentra entre los municipios mencionados, pero la mancha se dispersa hacia el sureste, adentrándose más en el municipio de Atotonilco de Tula. Figura 55

Figura 55. Modelación de NO₂ y HCHO



Columna Satelital de NO₂ y HCHO donde se muestra el área de influencia de las emisiones de estos compuestos en los municipios que conforman la propuesta de la ZRE. Z.I. Tula: Zona Industrial de Tula, Z. T. Tepeji: Zona Industrial de Tepeji, con su distribución de industrias registradas en el inventario de emisiones en los municipios que conforman la propuesta de la ZRE. FUENTE: Elaboración propia con información de INECC

La densidad de columna de formaldehído (HCHO) obtenida mediante análisis satelital puede utilizarse como un sustituto en la observación de las emisiones regionales de compuestos orgánicos volátiles (COV) (Peralta et al., 2021), lo que permite investigar los cambios espaciales y temporales en las emisiones de COV en todo el mundo (Muhammad et al., 2020). Cabe destacar que el NO₂ y los COV son contaminantes primarios que, con presencia de radiación ultravioleta de la luz solar, forman el contaminante secundario ozono (O₃).

La contaminación del agua y del aire afecta negativamente al suelo. Este constituye el pilar fundamental de los recursos naturales para el desarrollo agrícola y la sostenibilidad

ecológica. Las características del suelo juegan un papel importante en reducir o aumentar los niveles de contaminación. A pesar de que el suelo evoluciona de manera constante en condiciones adecuadas, los períodos necesarios para la formación de apenas unos pocos centímetros de suelo pueden variar entre cientos y miles de años, lo que lo convierte en un recurso natural no renovable.

El suelo se ve afectado por diversas actividades humanas, y la falta de equilibrio en el agua y aire puede generar presión sobre él. Esta situación demanda una revisión en el uso y aprovechamiento del suelo, con el fin de asegurar la seguridad y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos que proporciona.

A fin de identificar los recursos de muy difícil regeneración, que se hayan perdido y que pretendan recuperarse o restablecerse con relación al suelo; la DGGIMAR a través de sus trámites y bases de datos, analizó el panorama actual de la propuesta de la ZRE para los temas correspondientes a:

- Residuos peligrosos
- Residuos sólidos y de manejo especial
- Sitios contaminados
- Actividades altamente riesgosas

Del análisis efectuado, se puede determinar que diversas actividades productivas, tales como la industria cementera, minas no metálicas y el uso de aguas residuales para el desarrollo agrícola, han contribuido a generar condiciones de difícil regeneración de suelos. A continuación, se exponen los hallazgos más relevantes:

- Se identifican seis instalaciones dedicadas a la fabricación de cemento en los municipios de Atotonilco de Tula y Tula de Allende.
- Se identificó un área afectada por la extracción de materiales que alimenta el proceso de fabricación de cal y cemento de aproximadamente 145.69 ha.
- Explotación de 7.2 millones de toneladas de materiales no metálicos al año.
- Se identificaron en muestras de suelo colectadas la presencia de plaguicidas organoclorados como el DDT, DDD, DDE. Así como la presencia de metales pesados, como Cd, Pb, Cr y Zn.
- Se localiza un sitio contaminado en el municipio de Atitalaquia, con una superficie de 0.014 ha y un volumen de 170 m³.
- Se localizan tres sitios remediados, que suman una superficie de 0.4202 ha y un volumen de 3,490.32 m³.
- No se identificaron sitios potencialmente contaminados.

Las conclusiones señalan que las actividades mencionadas han ejercido una presión considerable sobre los recursos naturales, comprometiendo la calidad del suelo y limitando su capacidad para regenerarse. Además, la acumulación de residuos peligrosos y la contaminación resultante han generado impactos negativos que afectan no solo al medio ambiente, sino también a la salud y el bienestar de las comunidades

locales. La combinación de estos factores destaca la urgencia de implementar medidas efectivas de mitigación y restauración en la propuesta de ZRE para revertir los daños causados y promover la regeneración ambiental a largo plazo.

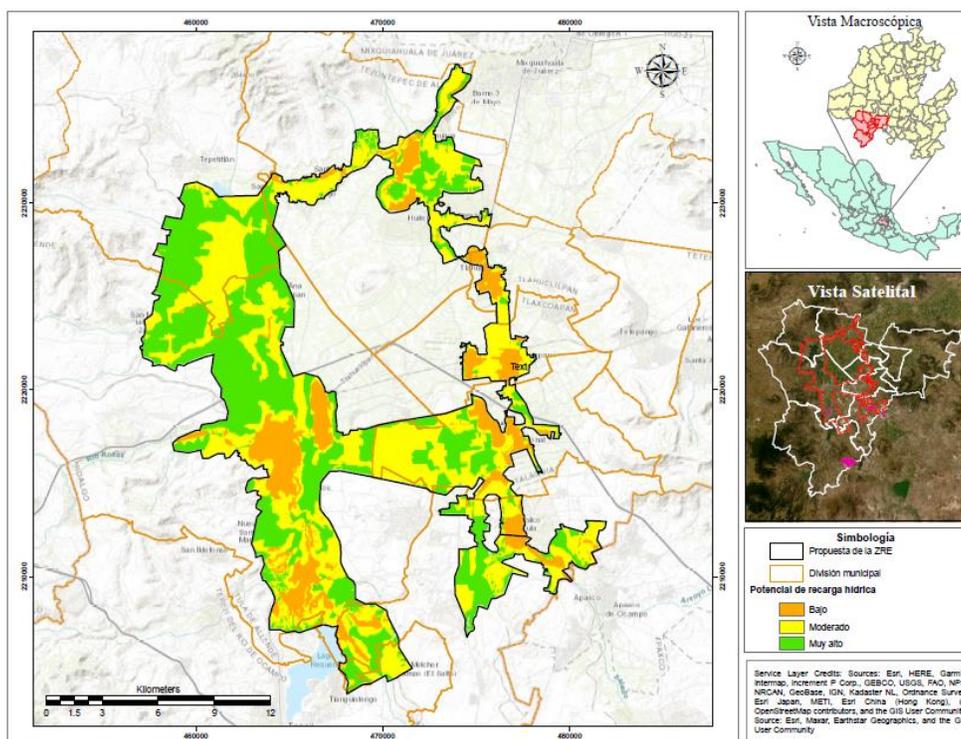
A continuación, se propone el desarrollo de diversas acciones que, si bien algunas de ellas son de carácter preventivo, su objetivo es establecer las bases y acciones para la recuperación de suelos en caso de emergencias ambientales. Lo anterior, toda vez que quienes resulten responsables de la contaminación de un sitio determinado son los responsables de su remediación.

- Coadyuvar en el desarrollo de un Programa de recuperación de suelos ensalitrados en parcelas agrícolas ubicadas dentro de la propuesta de la ZRE.
- Impulsar la elaboración de un Atlas de Riesgo por Manejo de Sustancias Químicas Peligrosas en actividades productivas de competencia estatal y municipal.
- Acercamiento con el gobierno estatal y municipal para el desarrollo de estudios de factibilidad para el establecimiento de un Sitio de Disposición final de RSU, de conformidad con la NOM-083-SEMARNAT-2003.
- Promover el adecuado manejo de los envases vacíos generados en los campos agrícolas, a través de planes de manejo de envases de vacíos de plaguicidas.
- Fomentar la capacitación al sector agrario en el manejo adecuado de los plaguicidas por medio de la implementación del Programa de cuidado al ambiente (PCSCA).
- Impulsar un Programa de vigilancia a sitios contaminados, a fin de promover y dar seguimiento al programa de remediación de los sitios contaminados.
- Difusión de los requerimientos para la inscripción en el INSC de un sitio contaminado.

El proceso de formación y pérdida del suelo con componentes como el agua y la vegetación se pueden analizar a partir de estudiar las cuencas hidrográficas, las cuales permiten una perspectiva espacial del ciclo hidrológico, con la finalidad de abordar y comprender la conservación del suelo, ya que este, cumple funciones trascendentes como ser el filtro que permite la recarga de acuíferos, mismo que determina la calidad de agua subterránea (SEMARNAT, 2013). En la Figura 56 se observan en color verde los sitios con el potencial de recarga hídrica considerado de alto a muy alto, representando cerca del 50 % de la propuesta de la ZRE.

En color amarillo se marcan las zonas con potencial de recarga moderado, en naranja las zonas con potencial bajo de recarga y las áreas en verde claro sugieren las superficies donde se pueden realizar actividades de restauración para prevenir la erosión y cambio de uso de suelo.

Figura 56. Mapa de zonas de recarga hídrica dentro de la propuesta de ZRE²⁴



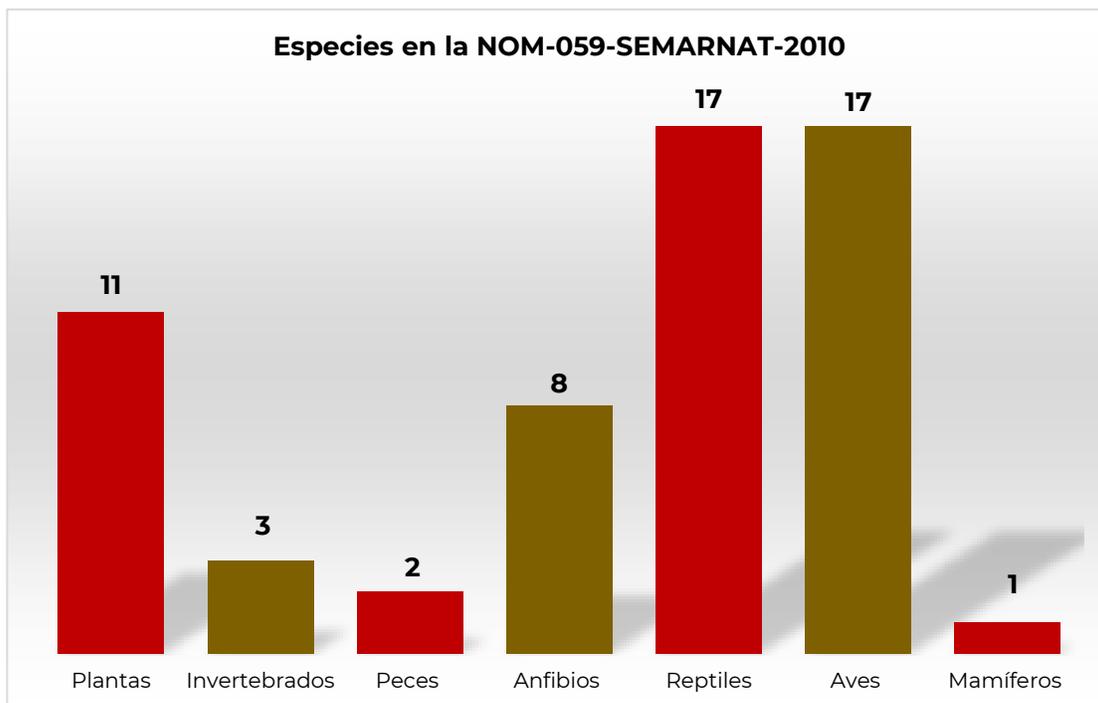
El Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México²⁵, descrito en el Anexo Normativo I de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, propone los siguientes criterios de evaluación: a) Amplitud de la distribución del taxón en México; b) Estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón; c) Vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón; d) Impacto de la actividad humana sobre el taxón. Con ellos, se analiza la situación de los taxones, para poder determinar su categoría de riesgo. Factores como la destrucción de su hábitat natural, caza excesiva, contaminación, cambio climático, entre otros, son amenazas a las que se ven enfrentadas la fauna y la flora, y que ponen en peligro su supervivencia. En la propuesta

²⁴ Los mapas elaborados con datos de CONAFOR, fueron generados por la Promotoría de Desarrollo Forestal de Hidalgo, con base en la ejecución de apoyos derivados de las convocatorias respectiva.

²⁵ Este método se aplicará a los grupos de Anfibios, Aves, Hongos, Invertebrados, Mamíferos, Peces y Reptiles; en el caso de Plantas se utilizará el Anexo Normativo II, Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de Plantas (MER-Plantas).

de ZRE se tienen registros de 59 especies²⁶ incluidas en alguna categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059- SEMARNAT-2010. (Figura 57).

Figura 57. Número de especies en la NOM-059-SEMARNAT-2010 registradas en la propuesta de ZRE.



FUENTE: Elaboración propia con datos de CONABIO

D) RELEVANCIA, A NIVEL REGIONAL Y NACIONAL, DE LOS ECOSISTEMAS A RESTAURAR

A pesar de que el estado de Hidalgo ocupa solo el 1.1% del territorio nacional, posee una abundante diversidad biológica (SGM, 2021). En él se encuentran alrededor de 3,961 especies, que abarcan desde macrohongos, briofitas, pteridofitas, cícadas, bromelias, invertebrados y vertebrados (Hidalgo, 2020).

En la zona semiárida hidalguense se han identificado 31 especies endémicas, de las que destacan, a nivel de familia, las crasuláceas (6 especies) y cactáceas (5 especies), y en relación con las formas biológicas, las suculentas (13 especies). Únicamente 2.3% de la

²⁶ Revisar el listado de las especies de flora y fauna en alguna categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 en el Anexo 2

riqueza florística de la entidad se encuentra en alguna categoría de riesgo de la NOM 059-SEMARNAT-2010 (CONABIO, 2021).

De acuerdo con la CONABIO (2021), la zona semiárida de Hidalgo es una región cactológica destacada y representativa de México debido a su gran biodiversidad, en esta área se encuentran un total de 20 géneros y 64 especies; el 84.4% de estas especies son endémicas. El 14.1% de ellas están enlistadas en alguna categoría de la NOM-059-SEMARNAT-2010, (CONABIO, 2021; SEMARNAT, 2010). El 72.3% de las especies presentes en esta zona, se encuentran en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), (UICN, 2022).

La riqueza biológica de la entidad está amenazada por algunos aspectos sociodemográficos, como el crecimiento acelerado de los centros urbanos, y los impactos asociados a las actividades productivas como el pastoreo y la minería (por ejemplo, el cambio de uso del suelo y la contaminación), estos factores impactan de forma negativa el establecimiento y supervivencia de las poblaciones de especies y, por lo tanto, su conservación.

En la propuesta de la ZRE incide en una superficie aproximada de 1,261.55 ha, dentro de la Región Hidrológica Prioritaria (RHP) No. 64 denominada "Humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca". Los tipos de vegetación que se encuentran en esta RHP son bosques de pino-encino y pino, pastizal inducido y tular, además de una gran diversidad de hábitats: lagos, reservorios, cuerpos acuáticos someros, ríos, y humedales. La ictiofauna característica de esta zona: *Algansea tincella*, *Chirostoma arge*, *C. humboldtianum*, *C. jordani*, *C. labarcae*, *Poecilia mexicana*, *Poeciliopsis gracilis*, *Xenotoca variata*, *Yuriria alta*. Endemismos de peces *Algansea barbata*, *Chirostoma estor*, *Girardinichthys multiradiatus*, *Goodea atripinnis*, *Notropis sallei*, *Skiffia lermae* y el efemeróptero *Lachlania sp.*

En cuanto a la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), se encuentran 61 especies de flora en alguna categoría de riesgo en la propuesta de la ZRE, esto puede ser debido a que las plantas son buscadas por su madera, aceites esenciales y características ornamentales, lo que las hace vulnerables a la sobreexplotación. De igual manera las aves se ven amenazadas por el comercio ilegal, resultado de la demanda de mascotas exóticas y la caza furtiva, ya que son altamente valoradas por su belleza, inteligencia y rareza.

La falta de cobertura vegetal en la propuesta de la ZRE puede tener impactos negativos en el medio ambiente y en la calidad de vida de las personas que habitan en la delimitación de la ZRE. Su existencia es fundamental para el equilibrio de los ecosistemas, ya que contribuye a la conservación del suelo, la regulación del clima, la protección del agua, la provisión de alimento, y refugio para la fauna, entre otros beneficios.

Derivado de los cambios realizados a la estructura y composición vegetal, transformación en tierras de cultivo o en usos industriales y desarrollo urbano, menos del 1.8% de la superficie de la propuesta de la ZRE presenta vegetación secundaria tipo Crasicaule y una escasa presencia de vegetación primaria.

E) RAZONES QUE JUSTIFIQUEN EL RÉGIMEN DE RESTAURACIÓN

La contaminación de los cuerpos de agua de la propuesta de la ZRE está asociada a las descargas de agua residual provenientes del drenaje profundo de la Ciudad de México, que han operado desde hace más de 40 años. Además, existe una actividad industrial de diversas empresas en la zona, de diferentes sectores como hidrocarburos, energía, manufactura y servicios, lo que ha dado lugar a un deterioro evidente en la calidad del agua de la propuesta de la ZRE que recibe los aportes del río Tula.

El área de Influencia de la Presa Endhó, tiene un dominio directo de varias cuencas que confluyen al río Tula que vierte parte de sus aguas en la presa. El río Tula es una de las corrientes de agua más importantes del estado de Hidalgo, tiene como principales afluentes los ríos Tepeji, Rosas, Tlautla, Salto, Salado, Chicavasco y Alfajayucan. La decisión ingenieril de conducir el desagüe de la Ciudad de México y su zona metropolitana hacia este río, aunada a la producción de la carga contaminante local en su cuenca, impone una serie de retos que es necesario atender desde una perspectiva ambiental.

Las aguas residuales provenientes de la zona metropolitana de la Ciudad de México son aprovechadas por productores del Valle del Mezquital, que se caracteriza por ser una de las zonas agrícolas más importantes del centro del país. Sin embargo, esta acción a lo largo del tiempo ha degradado el estado de la cantidad y calidad de los cuerpos de agua como arroyos y pequeños ríos que confluyen con el río Tula y permean en el acuífero del Valle del Mezquital dentro de la propuesta de la ZRE. Esta degradación impacta los servicios ecosistémicos de soporte, provisión, regulación y culturales que afectan directamente a las personas que habitan en las comunidades asentadas en la ZRE, lo que ha motivado reclamos sociales.

La determinación del grado de contaminación que persiste en el río Tula, la presa Endhó y el acuífero del Valle del Mezquital a través de la evidencia científica es importante para identificar la relación que guarda la salud ambiental de la propuesta de la ZRE con la salud humana de las personas que habitan este territorio. La cantidad y calidad del agua de las cuatro cuencas que se encuentran en la propuesta de la ZRE: "Río Tula", "Requena", "Taxhimay", y "Río Salado", que descargan sus aguas en la ZRE, fue analizada a través de la toma de muestras en diferentes sitios. El objetivo es describir el estado que guarda la calidad del agua en la región de la cuenca del río Tula hasta llegar a la presa Endhó, considerando el impacto al agua subterránea que yace en el acuífero del Valle del Mezquital.

Debido a la carga contaminante que recibe el sistema río El Salto y presa Endhó, no es posible la purificación (limpieza) del agua, sin una acción directa que incida en la reducción de dicha carga, o bien, sin realizar alguna alteración de los patrones de calidad referidos a los usos que se tienen en la zona. La reducción y tratamiento de los aportes provenientes de las diferentes actividades previamente señaladas, así como la implementación de nuevos y mejores sistemas de tratamiento de aguas a lo largo de los diferentes tributarios a la presa Endhó podrían ser algunas acciones que promuevan la recuperación de la ZRE. En conclusión, el cuerpo de agua por sí mismo, no tiene la capacidad de diluir y estabilizar residuos y, por lo tanto, no garantiza que reponga de manera natural sus cualidades ecológicas y sanitarias. Además, la calidad del agua

superficial y subterránea en la propuesta de la ZRE muestran una condición de contaminación crónica debido a la presencia y alta concentración de compuestos que nos son tan fácilmente degradables por actividad biológica. Lo anterior requiere atención urgente, dado el riesgo que representa a la salud humana, ya que muchos de los contaminantes pueden ocasionar enfermedades ya sea por uso directo e indirecto del agua.

Por otra parte, los contaminantes atmosféricos observados en la propuesta de la ZRE, como el SO₂, NO₂, HCHO y ozono troposférico, provienen principalmente de actividades antropogénicas, incluyendo la quema de combustibles fósiles, procesos industriales, generación de energía eléctrica y el transporte. Estas emisiones representan un riesgo para la salud pública, especialmente para personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares preexistentes, así como para los niños y niñas menores de 5 años y personas de la tercera edad.

En general se considera que los ríos y presas dentro de la propuesta de la ZRE son de los principales generadores de la contaminación aerobiológica y pueden ser causantes de múltiples enfermedades en la población. Es indispensable evitar la generación de material bioparticulado en ríos y presas, así como un estudio de biomonitoreo para asegurar que se están reduciendo estas aeromicrobiotas.

Con base en los estudios y análisis en materia de contaminación atmosférica, llevados a cabo en la propuesta de ZRE, se observa la necesidad de fortalecer las acciones para reducir las emisiones de contaminantes a la atmósfera y su impacto a la calidad del aire, en coordinación con la Secretaría de Salud, en el ámbito de su competencia. De manera enunciativa, el fortalecimiento o desarrollo de las siguientes acciones:

- Reducción de emisiones de las principales fuentes de contaminantes atmosféricos en la ZRE.
- Fortalecimiento del sistema de monitoreo de la calidad del aire.
- Desarrollo y publicación del programa de contingencias ambientales atmosféricas para la ZRE.

Campañas de muestreo de compuestos orgánicos volátiles para determinar su correlación con los casos de enfermedades crónico degenerativas observadas en la población.

Además, el suelo como componente vital de los ecosistemas terrestres, desempeña un papel crucial en la interacción entre los sistemas hídricos y atmosféricos. En la propuesta de la ZRE, la calidad del suelo se ve influenciada por una serie de factores, incluyendo las actividades agrícolas y la contaminación atmosférica.

Las prácticas agrícolas intensivas, especialmente el reúso de aguas residuales en el riego de cultivos, han generado preocupación por la acumulación de metales pesados en el suelo, lo que plantea desafíos para la salud ambiental y la seguridad alimentaria en la propuesta de la ZRE. Además, la presencia de industrias como la cementera, química y metalúrgica también contribuye a la degradación del suelo, destacando la importancia de abordar la gestión de residuos peligrosos y la identificación de sitios contaminados para proteger la calidad del suelo y los ecosistemas locales.

Asimismo, el suelo desempeña varias funciones y usos, actúa como regulador del ciclo del agua y de los ciclos biogeoquímicos; es el medio filtrante del agua que recarga los acuíferos y su capa de protección alberga una gran diversidad de organismos lo que implica que este contiene importantes reservas genéticas. Además, funge como espacio para actividades agrícolas, ganaderas, forestales y recreativas; para la construcción de obras civiles; y guarda parte de la riqueza cultural.

Por su actividad agrícola, la superficie que corresponde a la propuesta de ZRE es conocida como el sitio de mayor extensión a nivel nacional en el reúso de aguas residuales en los campos de cultivo (García-Salazar, 2020), en total se estima que el Valle del Mezquital recibe aproximadamente 50 m³/s de agua residual no tratada para el riego de alrededor de 45,214 ha (Lesser-Carrillo L. et al., 2011).

Como consecuencia de esta actividad, diversos estudios han reportado la acumulación de metales pesados en el suelo (Vázquez et al., 2001; Prieto-García et al., 2007; y García et al., 2001); destacando el cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), arsénico (As), y Mercurio (Hg).

Las principales afectaciones al suelo en la región del Valle del Mezquital no solo provienen de factores como el reúso de aguas residuales, también se derivan de la presencia de la industria cementera, química y metalúrgica, por mencionar algunas. En este sentido, se analizó el impacto de las actividades riesgosas, manejo de residuos peligrosos e identificación de sitios contaminados presentes en la propuesta de la ZRE.

Derivados de los factores mencionados en el párrafo anterior, se identificaron áreas que cuentan con una alta diversidad biológica y ecosistemas frágiles que requieren especial atención y medidas de conservación, ya que representan la oportunidad de proteger y gestionar de manera efectiva los ecosistemas y especies en riesgo. Dentro de la propuesta de ZRE, se encuentra en su totalidad, el ANP "Parque Nacional Tula" (PNT).

Conforme al cruce de información de las capas de Vegetación y Uso de Suelo INEGI serie VII (INEGI, 2021), se encontró que, en una cuarta parte de la ZRE, existe una cobertura vegetal menor al 25 %, lo que es indicativo de manera indirecta del grado de afectación de la zona. La falta de cobertura vegetal en la propuesta de la ZRE puede tener impactos negativos en el medio ambiente y en la calidad de vida de las personas que habitan el área. Su existencia es fundamental para el equilibrio de los ecosistemas, ya que contribuye a la conservación del suelo, la regulación del clima, la protección del agua, la provisión de alimento, y el refugio para la fauna, así como otros servicios ambientales.

Para la caracterización de la flora y fauna (listado de especies con presencia potencial) en la propuesta de ZRE, se realizó una consulta al Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) que contiene la información disponible a la fecha, la cual está validada a través de controles de calidad establecidos por la CONABIO.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Abou Zaki, N., Torabi Haghghi, A., M Rossi, P., J Tourian, M., & Kløve, B. 2019. Monitoring Groundwater Storage Depletion Using Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Data in Bakhtegan Catchment, Iran. *Water*, 11(7), 1456.

Acosta Álvarez M.M. 2007. Determinación de metales pesados en suelos agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de las aguas nacionales subterráneas del acuífero Valle del Mezquital, clave 1310, en el Estado de Hidalgo, Región Hidrológico-Administrativa Aguas del Valle de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Estados Unidos Mexicanos; DOF 15/09/2016.

Álvarez Olivares M. 2023. Movilidad de fármacos asociados al tratamiento de la enfermedad COVID en suelo regado con agua residual. Universidad Nacional Autónoma de México.

Amador-Muñoz, O., Martínez-Domínguez, Y. M., Gómez-Arroyo, S., & Peralta, O. 2020. Current situation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in PM2.5 in a receptor site in Mexico City and estimation of carcinogenic PAH by combining non-real-time and real-time measurement techniques. *Science of the Total Environment*, 703, 134526.

ANDERSON JO, THUNDIYIL JG, STOLBACH A. Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health. *J Med Toxicol Off J Am Coll Med Toxicol*. 2012 Jun; 8 (2):166-75. <https://doi.org/10.1007/s13181-011-0203-1>

Arias, A. N. A., Calle, J. R., Villaseñor, E. A., & Hernández, J. A. 2012. Remoción fotocatalítica de DQO, DBO5 y COT de efluentes de la industria farmacéutica. *Revista politécnica*, 8(15), 9-17.

Austria, R. 2017. Principales amenazas para la biodiversidad y perspectivas para su manejo y conservación en el estado de Hidalgo: El caso de los anfibios y reptiles. En: Ramírez-Bautista, A., Sánchez-González, A., Sánchez-Rojas, G. y Cuevas-Cardona, C. (eds.). *Biodiversidad del estado de Hidalgo. Tomo II*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Pachuca de Soto, Hidalgo, México, pp. 577-590.

Backman, B., Bodiš, D., Lahermo, P., Rapant, S., & Tarvainen, T. 1998. Application of a groundwater contamination index in Finland and Slovakia. *Environmental geology*, 36, 55-64.

Béjar, V., Chumpitaz, J., Pareja, E., Valencia, E., Huamán, A.; Sevilla, C., Tapia, M. y Sáez, G. 2006. *Musca domestica* como vector mecánico de bacterias entero-patógenas en mercados y basurales de Lima y Callao. *Rev. Perú Med. Exp. Salud Pública*. 23(1):39-43.

Bossert, J. E. 1997. An Investigation of Flow Regimes Affecting the Mexico City Region. *Journal of Applied Meteorology* (1988-2005), 36(2), 119-140. <http://www.jstor.org/stable/26182207>.

Calderón-Garcidueñas L, Torres-Jardón R, Kulesza Rj, Mansour y, González-González Lo, González-Maciél A, Reynoso-Robles R, Mukherjee PS. Alzheimer disease starts in childhood in polluted Metropolitan Mexico City. A major health crisis in progress. *Environ*

Res. 2020 Apr;183:109137. doi: 10.1016/j.envres.2020.109137.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109137>

Camarena, M. O., Aguilar, Z. J. A. 2013. Primera experiencia exitosa con neoquetinos en distritos de riegos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 2013. Vol 1. Jiutepec, Morelos. pp 122.

Castle, S. L., Thomas, B. F., Reager, J. T., Rodell, M., Swenson, S. C., & Famiglietti, J. S. 2014. Groundwater depletion during drought threatens future water security of the Colorado River Basin. *Geophysical Research Letters*, 41(16), 5904-5911.

Cervantes, V., J. Carabias, V. Arriaga et al. 2008. Evolución de las políticas públicas de restauración ambiental, en *Capital natural de México*, vol. III: Políticas públicas y perspectivas de sustentabilidad. CONABIO, México, pp. 155-226.

Chen, J. et al. 2014. Global land cover mapping at 30m resolution: A POK-based operational approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103, 7-27. <http://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.09.002>

Chrysikou L, Gemenetzis P, Kouras A, Manoli E, Terzi E, Samara C. 2008. Distribution of persistent organic pollutants, polycyclic aromatic hydrocarbons and trace elements in soil and vegetation following a large-scale landfill fire in northern Greece. *Environment International* 34: 210-225.

CNH Comisión Nacional de Hidrocarburos. 29/07/2021. Mapa de Hidrocarburos. <https://mapa.hidrocarburos.gob.mx/>

Comisión Federal de Electricidad. 1996. "Estudio Geohidrológico de Factibilidad para la Localización de Tres pozos de Abastecimiento de Agua Subterránea para la Refinería Miguel Hidalgo, en Tula de Allende, Hidalgo", Subdirección Técnica, Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2019. Caracterización y diagnóstico del Parque Nacional Tula. CONABIO. México.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2022. Estudio de diagnóstico de área natural protegida Parque Nacional Tula. PROCODES. CONANP. México.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2023. Parque Nacional Tula. Disponible en <https://www.gob.mx/conanp> . Consultada el 7 de junio de 2023.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2013. "Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Valle del Mezquital (1310) Estado de Hidalgo, México", subdirección general técnica, 40 p.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Gobierno del Estado de Hidalgo. 2021. La Biodiversidad en Hidalgo. Estudio de Estado. CONABIO. México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Gobierno del Estado de Hidalgo. 2021. La Biodiversidad en Hidalgo. Estudio de Estado. CONABIO. México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2017. Comunicado de prensa Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Disponible en: <https://www.gob.mx/conabio/prensa/estado-de-hidalgo>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2019. ¿Qué es la biodiversidad? Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/que_es

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2023. 64. Humedales de Jilotepec – Ixtlahuaca. Disponible en http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_064.html

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2023. Lista de las Regiones Hidrológicas Prioritarias. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Hlistado.html>

CONABIO: <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/dest2019gw.html>

CONABIO, División política municipal, 1:250000. 2021. Recuperado de <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/mun21gw.html>

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2023. Programa Operativo de Sanidad Forestal 2023 Estado de Hidalgo. Disponible en: <http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/02%20Informes%20de%20acciones%20operativas/DiagnosticosEstatales/2023/Hidalgo.pdf>

CONAGUA. 2018. Comisión Nacional del Agua. «Sistema Nacional de Información del Agua: Monitoreo de las Principales Presas de México». Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México.

CONAGUA. 2018. Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del Agua en México. Ciudad de México: Gobierno de la República.

CONAGUA. 2021. Comisión Nacional del Agua. Sistema Nacional de Información del Agua. Retrieved from [Indicadores_calidad_agua_subterranea_2012_2019: http://sina.conagua.gob.mx/sina/calidadAguaSub.php](http://sina.conagua.gob.mx/sina/calidadAguaSub.php)

Cortés, F. A., Guillén, R. C., Navarro, P. S., & Smedley, P. L. 2010. Una revisión de la presencia de arsénico en el agua subterránea en México. *Rev. Tlaloc AMH*, 45, 1-11.

CRE. 2011.

DGGIMAR y <https://www.semarnat.gob.mx/gobmx/transparencia/residuos.html>. Fecha de consulta: 02 de agosto de 2023.

DIRECTIVA 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de diciembre de 2004, relativa al arsénico.

DOF. 2015. NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.

DOF. 2016. ACUERDO por el que se dan a conocer los límites de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos.

DOF. 2020. ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 Regiones Hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos.

DOF. Última reforma. 2023. Ley General para la Gestión Integral de Residuos.

Eisler, R. 1987. Polycyclic aromatic hydrocarbon hazard to fish, wildlifem and invertebrates: a synoptic review (No. PB-87-189825/XAB; BIOLOGICAL-85 (1.11)). Patuxent Wildlife Research Center, Laurel MD (USA).

EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2021. Nitrogen Dioxide (NO₂) Pollution. <https://www.epa.gov/no2-pollution>

EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2021. Sulfur Dioxide (SO₂) Pollution. <https://www.epa.gov/so2-pollution>

EPA, U.S. 2004. <http://www.epa.gov>

Falahatpisheh, M. H., Donnelly, K. C., % Ramos, K.S. 2001. Antagonistic interactions among nephrotoxic polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*, 62 (7), 543-560.

García Salazar E.M. 2020. El agua residual como generadora del espacio de la actividad agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Estud. Soc. Rev.* vol.29 no.54. Hermosillo, México.

Gobierno de Hidalgo. 2011. Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial.

Gobierno de México. 2017. Firman CONANP y gobierno de Hidalgo acuerdo de colaboración. Disponible en: <https://www.gob.mx/conanp/prensa/firman-conanp-y-gobierno-de-hidalgo-acuerdo-de-colaboracion>

Gobierno del Estado de Hidalgo y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNATH). 2018. Inventario de Emisiones del Estado de Hidalgo, año base 2016. Hidalgo, México.

Goldman, R., Enewold, L., Pellizzari, E., Beach, J. B., Bowman, E.D., Krishnan, S.S., & Shields, P.G. 2001. Smoking increases carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in human lung tissue. *Cancer Research*, 61(17), 6367-6371.

Hernández Arellano M. 2020. Percepción social del riesgo por contaminación ambiental a causa de las cementeras y caleras, en Atotonilco de Tula, Hidalgo y Apaxco, Estado de México.

Hidalgo. 2020. Programa Institucional de Desarrollo de la Comisión Estatal de Biodiversidad de Hidalgo 2020-2022. Estado de Hidalgo. pp 1-33. Disponible en: http://planestataldedesarrollo.hidalgo.gob.mx/pdf/Institucionales/61_COESBIOH/PID_COESBIOH_2020.pdf

INEGI (2018): Uso de Suelo y Vegetación, <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>

INEGI (2021), Conjunto de Datos Vectoriales de la carta Topográfica escala 1:250 000 por entidad federativa, <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/#collapse-Mapas>

INEGI. 2001. Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos escala 1:1 000 000. Continuo Nacional serie I. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Edición 2001 <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267575>. Descargado el 15 de febrero de 2023.

INEGI. 2004. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Evapotranspiración. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Edición 2004. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267520> Descargado el 15 de febrero de 2023.

INEGI. 2004. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Precipitación media anual. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Edición 2004. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267520>. Descargado el 15 de febrero de 2023.

INEGI. 2008. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Edición 2008. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>. Descargado el 15 de febrero de 2023.

INEGI. 2011a. Conjunto de datos vectoriales escala 1:250 000. Edafología. Serie II. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Edición 2011.

INEGI. 2011b. Guía para la interpretación de cartografía. Edafología. Escala 1:250000. Serie II. INEGI. 2011. ISBN 978-607-494-162-3.

INEGI. 2013. Continúo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Edición 2013.

INEGI. 2016. Diccionario de Datos Edafológicos. Escala 1:250 000 (versión 4). Disponible en https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825092023.pdf

INEGI. 2017. Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo 2017. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825095093.p

INEGI. 2018. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación Escala 1:250 000, SERIE VII. Conjunto Nacional. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Edición 2018.

INEGI. 2020. Información por entidad, Campeche. Obtenido de https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/camp/territorio/div_municipal.aspx?tema=me&e=04

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Comisión Ambiental de la Megalópolis. 2020. Dimensión del mejoramiento de la calidad del agua de la presa Endhó, Hgo.Mor. 2022. Pág. 1-43.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2014. Estudio de Calidad del Aire y su Impacto en la Región Centro de México. 726 pp. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/251717/Informe_Final_-_ECAICM_Tomo_1_-_P1.pdf

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2019. Informe Nacional de Calidad del Aire 2018, México. Ciudad de México: Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2020. Calidad del Aire en la Cuenca Atmosférica de Tula. Ciudad de México. 46 pp.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2021. Definición de zonas para mediciones ambientales en la cuenca de Tula, precampaña octubre – diciembre 2021. 23 pp. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/702165/133_2021_Mediciones_ambientales_Cuenca_Tula.pdf

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2021. Evaluación de la calidad del aire en dos cuencas atmosféricas del Estado de Hidalgo (Tula y Pachuca) durante la contingencia por COVID-019. México. Ciudad de México: Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos. Ciudad de México. 45 pp.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2023. Calidad del Aire en la Cuenca Atmosférica de Tula, Hidalgo (2013-2021). Ciudad de México. Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos. Ciudad de México. 46 pp.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2023, "Informe Preliminar de Resultados de La Campaña de Caracterización y Diagnóstico de la Calidad del Aire en la Cuenca Atmosférica de Tula y su relación con otros Problemas ambientales de la Zona".

Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP. 1999. Promoción de la prevención de accidentes químicos, México. Primera Edición.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (INEGI). 2020. Censo de Población y Vivienda.

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2021. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021. Módulo 6: Residuos Sólidos Urbanos

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2019. Cobertura vegetal para la conservación del suelo en pastizales. Disponible en: <https://www.gob.mx/inifap/prensa/cobertura-vegetal-para-la-conservacion-del-suelo-en->

pastizales#:~:text=Algunos%20beneficios%20colaterales%20al%20incremento,org%C3%A1nica%20e%20incremento%20de%20la

Johnsen AR, Karlson U. 2007. Diffuse PAH contamination of surface soils: environmental occurrence, bioavailability, and microbial degradation. *Appl Microbiol Biotechnology* 76: 533-543.

Juhasz, A.L., & Naidu, R. 2000. Bioremediation of high molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons: a review of the microbial degradation of benzo [*a*] pyrene, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 45 (1), 57-88.

KAMPA M, CASTANAS E. Human health effects of air pollution. *Environ Pollut.* 2008 Jan; 151(2):362-7. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.012>

Katpatal, Y. B., Rishma, C., & Singh, C. K. 2018. Sensitivity of the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) to the complexity of aquifer systems for monitoring of groundwater. *Hydrogeology Journal*, 26(3), 933-943.

KIM K-H, KABIR E, KABIR S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environ Int.* 2015 Jan; 74:136-43. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005>

Krauss M, Wilcke W, Zech W. 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in forest soils: Depth distribution as indicator of different fate. *Environmental Pollution* 110: 79-88.

Lesser y Asociado. 2013.

Lesser-Carrillo L.E, Lesser-Illades J.M., Arellano-Islas S, González-Posadas D. 2011. Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle del Mezquital, México. *México central: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v.28, núm.3, p.323-336.

Lesser-Carrillo Luis E, Lesser-Illades Juan M., Arellano Islas Santiago, González David. 2011. "Balance Hídrico y Calidad del Agua Subterránea en el Acuífero del Valle del Mezquital, México", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, volumen 28 núm. 3, pp. 323-336.

Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. 08/05/2023. México: D.O.F.; disponible en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>.

López Aguilar, F. 2002. La distribución de los asentamientos del Valle del Mezquital como un modelo de desarrollo social. *Estudios de cultura Otopame*, 3.

López Fernando & Fourier Patricia. 2009. Espacio, tiempo y asentamientos en el Valle del Mezquital: un enfoque comparativo con los desarrollos de William T. Sanders. *Cuicuilco* vol.16 no.47, México.

López-Aguilar, F., Solar, L., y Vilanova, R. 1988. El Valle del Mezquital. Encrucijadas en la historia de los asentamientos humanos en un espacio discontinuo", en *Arqueología*, núm. 20, pp. 21-37.

Malik, A. et al. 2007. House Fly (*Musca domestica*): una revisión de las estrategias de control de una plaga desafiante. *J Environ Sci Health Parte B* 42: 453 - 469.

Martínez-Jiménez, E. 2018. Autocorrelación entre industrias cementeras y la presencia de cáncer en el Valle del Mezquital, México. Universidad Autónoma del Estado de México. Población en condiciones de vulnerabilidad y riesgo. Vol. XI. COMECSO.

Matus, O., Faustino, J. y Jiménez, F. 2009. Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica: aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza división de investigación y desarrollo Turrialba Costa Rica (CAITE). pp 36.

Mejía Barrón, M., Sánchez, S., Hernández, G., Flores, L., Villareal, G. y Guajardo, R. 1990. Metales Pesados en Maíz (*Zea mays* L) y Alfalfa (*Medicago sativa* L.) y su correlación con extractables en suelos del DDR 063, Hgo., Memorias del 1er Simposio Nacional de Degradación del Suelo, UNAM, México.

Miguel Ángel Gómez Albores. 2023. Evaluación de riesgo para la salud humana y ambiental por agentes tóxicos de origen antrópico como herramienta de empoderamiento social. Región Estratégica Ambiental Norte del Estado de México y Zona Tula, Hidalgo. Pronaii 318998, CONACYT.

Moissant, E., Tkachuk, O. y Roma R. 2004. Detección de agentes bacterianos en adultos de *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) recolectadas en Maracat, Estado de Aragua, Venezuela. *Entomotropica* 19 (3): 161 - 64 p. Morales, R. (2014). En flora Ibérica. Plantas vasculares de la península ibérica e islas Baleares. 327-331 pp. Real jardín Botánico, CSIC, Madrid.

Moron, T. D. 2017. Diagnóstico y control de la infestación de *Tillandsia recurvata* (L.) L. Como plaga de leñosas, en el jardín botánico de Cadereyta de Montes, Querétaro, México. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México.

Moryani, H. T., Kong, S., Du, J., & Bao, J. 2020. Health risk assessment of heavy metals accumulated on PM2.5 fractioned road dust from two cities of Pakistan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(19), 7124.

Muhammad, S., Long, X., Salman, M. 2020. COVID-19 pandemic and environmental pollution: a blessing in disguise? *Sci. Total Environ.* 728, 138820.

Muñoz-Rojas, S., Ayala-Pérez, L. A., Sosa-López, A., & Villalobos-Zapata, G. J. 2013. Distribución y abundancia de la comunidad de peces en la porción litoral de la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*, 61(1), 213-227.

National Center for Biotechnology Information. Explore Chemistry. National Library of Medicine. Metano. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> (Consultado el 01 de agosto de 2023).

Niu, G. Y., Yang, Z. L., Dickinson, R. E., Gulden, L. E., & Su, H. 2007. Development of a simple groundwater model for use in climate models and evaluation with Gravity Recovery and Climate Experiment data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D7).

NOM-020-SSA1-1993. NORMA Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993, Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al ozono (O₃). Valor normado para la concentración de ozono (O₃) en el aire ambiente como medida de

protección a la salud de la población. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de diciembre de 1994. México: Secretaría de Salud.

NOM-020-SSA1-2014. Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014, Salud ambiental. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O₃) en el aire ambiente y criterios para su evaluación. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 19 de agosto de 2014. México: Secretaría de Salud.

NOM-020-SSA1-2021. Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a ozono (O₃). Valores normados para la concentración de ozono (O₃) en aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de octubre de 2021. México: Secretaría de Salud.

NOM-021-SSA1-1993. NORMA Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de diciembre de 1994. México: Secretaría de Salud.

NOM-021-SSA1-2021. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-2021, Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al monóxido de carbono (CO). Valores normados para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de octubre de 2021. México: Secretaría de Salud.

NOM-022-SSA1-1993. Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-1993, Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire, bióxido de azufre (SO₂). Valor permisible para la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

NOM-022-SSA1-2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Secretaría de Salud.

NOM-022-SSA1-2019. Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2019. Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂). Valores normados para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Secretaría de Salud.

NOM-023-SSA1-1993. NORMA Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno (NO₂). Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de diciembre de 1994. México: Secretaría de Salud.

NOM-023-SSA1-2021. NORMA Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de nitrógeno (NO₂). Valores normados para la concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire

ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de octubre de 2021. México: Secretaría de Salud.

NOM-025-SSA1-1993. Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM10 y partículas menores de 2.5 micrómetros PM2.5 de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de agosto de 2014. México: Secretaría de Salud.

NOM-025-SSA1-2005.Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1- 1993, Salud ambiental. Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a material particulado. Valor de concentración máxima de material particulado para partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM10 y partículas menores de 2.5 micrómetros PM2.5 en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población, para quedar como Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM10 y partículas menores de 2.5 micrómetros PM2.5 de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire. México: Secretaría de Salud.

NOM-025-SSA1-2014. Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límite permisible para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de agosto de 2014. México: Secretaría de Salud.

NOM-025-SSA1-2021.Norma oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021, Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM10 y PM2.5. Valores normados para concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de octubre de 2021. México: Secretaría de Salud.

Ortiz-Pulido, R. y Zuria. 2017. Diversidad de Aves del Estado de Hidalgo. En: Biodiversidad del Estado de Hidalgo. A. Ramírez-Bautista, A. Sánchez-González, G. Sánchez-Rojas y C. Cuevas-Cardona. Eds. Tomo II. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Proyecto FOMIX-CONACYT Hidalgo 191908 Diversidad Biológica del Estado de Hidalgo (Tercera Etapa). México. 650 pp.

Peralta, O. et al. 2021 'Ozone over Mexico City during the COVID-19 pandemic', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 761, p. 143183. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143183.

Prieto-García F., Méndez-Marzo M., Martínez-Pezina F., Prieto-Méndez J. 2007. Presencia de metales pesados en cultivos del Valle del Mezquital, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*: 100-110.

Estado Libre y Soberano de Hidalgo. 2020-2024. Programa Municipal de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial de Tula de Allende Hidalgo (PMDUOT). Recuperado de <https://hidalgo.azurewebsites.net/Documentos/Formatos/0-PMDUOT.pdf>

Registro Agrario Nacional: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/zona-de-asentamiento-humano/resource/15e40317-d6d7-4645-867e-135c8141d589>

Registro Agrario Nacional: Núcleos Agrarios, <https://datos.gob.mx/busca/dataset/datos-geograficos-perimetricos-de-los-nucleos-agrarios-certificados-por-estado--formato-shape/resource/5a07a2f7-98a9-4a1f-ae4f-5cfe26c065b5>

REPDA. 2019. Registro Público de Derechos del Agua. Comisión Nacional del Agua. 2019.

REPDA. 2021. Registro Público de Derechos del Agua. Comisión Nacional del Agua. 2021

Rosas, R. A. 2003. Evaluación ambiental del proceso de tratamiento de aguas residuales y los riesgos a la salud en la comunidad universitario del CUCBA. Javier García Velasco. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara (Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias). Las Agujas, Zapopan, Jalisco.

Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.

Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski. 2004. Manual de Malezas de la Región de Salvatierra, Guanajuato. En: Rzedowski, J. y G. Calderón de R. (eds.). Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo complementario XX. Instituto de Ecología-Centro Regional del Bajío. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.

SACMEX. 2012. El gran reto del agua en la Ciudad de México. Sistema de Aguas de la Ciudad de México. Consultado el 18 de febrero de 2020.

Secretaría de Economía. 2020. DataMéxico.

Secretaría de Gobernación (SEGOB). 2023. ¿Qué es una cuenca? Disponible en <https://www.gob.mx/imta/articulos/que-es-una-cuenca-211369>. Consultada el 1 de julio de 2023.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2020. Región Atitalaquia-Tula-Apaxco: Hacia un modelo de restauración ecológica. Revista trimestral: Diálogos Ambientales. Año1, No. 1. Disponible en: https://mia.semarnat.gob.mx:8443/dialogosAmbientales/documentos/DialogosAmbientales_Anio1_no1.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Hidalgo (SEMARNATH). 2012. Actualización del programa de ordenamiento ecológico territorial región Tula-Tepeji, Etapa de Diagnóstico. SEMARNATH. Hidalgo, México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Hidalgo (SEMARNATH). 2013. Cuencas Hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. México. pp 27.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Hidalgo (SEMARNATH). 2015. Estudio previo justificativo para extinguir el decreto de creación del Parque Nacional Tula. SEMARNATH. Hidalgo, México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Hidalgo (SEMARNATH). 2019. Actualización del Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Hidalgo, Etapa de Diagnóstico. SEMARNATH. Hidalgo, México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Disponible en: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2013. Compendio de Estadísticas ambientales edición 2013.

Seinfeld, J. y Pandis, S. 2008. Atmospheric Chemistry and Physics. 1997. New York.

SEMARNAT. (2018 preliminar). INEM. Obtenido de Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio: <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/documentos-del-inventario-nacional-de-emisiones>

SEMARNAT. 2021. Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados 2021-2024. Ciudad de México, DOF, 05/11/2021; [citado el 04 de agosto de 2023]; disponible: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5634656&fecha=05/11/2021#gsc.tab=0

Seposo X., et al. Effect of global atmospheric aerosol emission change on PM2.5-related health impacts, *Global Health Action*, 12:1, 1664130. <https://doi.org/10.1080/16549716.2019.1664130>.

Sepúlveda, R. S. 2009. El arsénico en la contaminación de aguas subterráneas. *CIENCIA-UANL*, 12(3), 239-244.

Servicio Sismológico Mexicano. 2009. Léxico estratigráfico de México. Disponible en línea: <https://mapserver.sgm.gob.mx/lexico/DonGuinyo.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. 2021. Panorama Minero del Estado de Hidalgo. México. pp 1 – 73. Disponible en: <http://www.sgm.gob.mx/pdfs/HIDALGO.pdf>

SGM. 2021. Panorama Minero del Estado de Hidalgo.

SIASv2. 2009. Sistema de Información de Aguas Superficiales. Gerencia en el Estado de México. Comisión Nacional del Agua. Diciembre de 2009.

SIATL. 2023. Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas. INEGI. Visto en https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/ el 20 de febrero de 2023.

Siebe C. 1994. Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el distrito de riego 03, Tula, Hidalgo, México. *Rev. Int. Contaminación Ambiental*. Vol. 10, pp 15-21.

SINAT-SEMARNAT. 2023. Registros de Trámite SEMARNAT-07-013. México.

Sivasankar, V., Darchen, A., Omine, K., & Sakthivel, R. 2016. Fluoride: A world ubiquitous compound, its chemistry, and ways of contamination. Surface modified carbons as scavengers for fluoride from water, 5-32.

Tapley, B. D., Bettadpur, S., Watkins, M., & Reigber, C. 2004. The gravity recovery and climate experiment: Mission overview and early results. *Geophysical Research Letters*, 31(9).

Tarbut, E. J.; Lutgens, F. K.; y Tasa, D. 2005. *Ciencias de la Tierra*. Pearson Educación S. A., 8va ed. pp:736. Madrid, España.

The Science of Where, Esri. 2022. Disponible en: <https://learn.arcgis.com/es/projects/get-started-with>

THE IUCN RED LIST OF THREATENED SPECIES. 2022. Disponible en: <https://www.iucnredlist.org/es>

Torres-Castro, I.L., M.E. Vega-Cendejas, J.J. Schmitter- Soto, G. Palacio-Aponte & R. Rodiles-Hernández. 2008. Ictiofauna de sistemas cárstico-palustres con impacto antrópico: Los Petenes de Campeche, México. *Rev. Biol. Trop.* 57: 141-157.

Twiss, M. R., Granier, L., Lafrance, P., & Campbell, P.G. 1999. Bioaccumulation of 2, 2',5,5'-Tetrachlorobiphenyl and pyrene by picoplankton (*Synechococcus leopoliensis*, cyanophyceae): Influence of variable humic acid concentrations and pH. *Environmental toxicology and chemistry*, 18(9), 2063-2069.

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). 2013. Programa Estatal de acción ante el cambio climático de Hidalgo. Pachuca de Soto, Hidalgo: SEMARNATH. p. 83. Disponible en: <https://www.cambioclimatico.semarnath.gob.mx/webFiles/pagesFiles/02PEACCH.pdf>.

U.S. Environmental Protection Agency. 2014a. Receptor modeling, positive matrix factorization. <http://www.epa.gov/heasd/research/pmf.html>.

U.S. Environmental Protection Agency. 2014b. EPA positive matrix factorization (PMF) 5.0 fundamentals and user guide. Available at <http://www.epa.gov/heasd/documents/EPA%20PMF%205.0%20User%20Guide.pdf>

U.S. Environmental Protection Agency. 2019. Database SPECIATE 5.0. <https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate-0>

Vázquez Tapia I., Salazar Martínez T., Acosta Castro M., Meléndez Castolo K., Mahlkecht J., Cervantes Ávula P., Capparelli M., Mora A. 2022. Occurrence of emerging organic contaminants and endocrine disruptors in different water compartments in Mexico - A Review. *Chemosphere*, vol. 308, parte 1.

Vázquez-Alarcón A., Justin-Cajuste L., Siebe-Grabach C., Alcántar-González G., de la Isla de Bauer M. 2001. Cadmio, Níquel y plomo en agua residual, suelo y cultivos en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Agrociencia*, vol. 35, núm 3, pp 267-274.

Vega, E., Mugica, V., Carmona, R., & Valencia, E. 2000. Hydrocarbon source apportionment in Mexico City using the chemical mass balance receptor model. *Atmospheric Environment*, 34(24), 4121-4129.

Viana, M., et al. 2008. Source apportionment of particulate matter in Europe: a review of methods and results. *Journal of aerosol science*, 39(10), 827-849.

Wang, X., de Linage, C., Famiglietti, J., & Zender, C. S. 2011. Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) detection of water storage changes in the Three Gorges Reservoir of China and comparison with in situ measurements. *Water Resources Research*, 47(12).

Weatherspark.com (sin fecha) El clima en Atitalaquia, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/6069/Clima-promedio-en-Atitalaquia-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o> (Consultado: 13 Mayo 2024).

Weatherspark.com (sin fecha) El clima en Atotonilco de Tula, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/6081/Clima-promedio-en-Ocampo-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o> (Consultado: 13 Mayo 2024).

Weatherspark.com (sin fecha) El clima en Tepeji del Río de Ocampo, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/5588/Clima-promedio-en-Tepeji-del-Rio-de-Ocampo-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o> (Consultado: 13 Mayo 2024).

Weatherspark.com (sin fecha) El clima en Tepetitlán, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/6120/Clima-promedio-en-Jos%C3%A9-Mar%C3%ADa-Pino-Su%C3%A1rez-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o> (Consultado: 13 Mayo 2024).

Weatherspark.com (sin fecha) El clima en Tezontepec de Aldama, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/6041/Clima-promedio-en-Tezontepec-de-Aldama-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o> (Consultado: 13 Mayo 2024).

Weatherspark.com (sin fecha) El clima en Tlahuelilpan, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/6040/Clima-promedio-en-Tlahuelilpan-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o> (Consultado: 13 Mayo 2024).

Weatherspark.com (sin fecha) El clima en Tlaxcoapan, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/6039/Clima-promedio-en-Tlaxcoapan-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o> (Consultado: 13 Mayo 2024).

Weatherspark.com (sin fecha) El clima en Tula de Allende, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/6038/Clima-promedio-en-Tula-de-Allende-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o> (Consultado: 13 Mayo 2024).

WHO (World Health Organization). 2021. Nitrogen Dioxide (NO₂). [https://www.who.int/news-room/q-a-detail/nitrogen-dioxide-\(no2\)](https://www.who.int/news-room/q-a-detail/nitrogen-dioxide-(no2))

Wilcke W, Krauss M, Safronov G, Fokin AD, Kaupenjohann M. 2005. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils of the Moscow Region - Concentrations, temporal trends and small scale distribution. *Journal of Environmental Quality*. 34(5): 1581-1590.

Wilcke W. 2007. Global patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil. *Geoderma* 141: 157-166.

World Health Organization. 2021. WHO. Global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO

Zhao, B., Sun, Z., & Liu, Y. 2022. An overview of in-situ remediation for nitrate in groundwater. *Science of The Total Environment*, 804, 149981.

VIII. ANEXOS

ANEXO I. Coordenadas de ZRE.

La superficie total de la propuesta de ZRE es 24,684.28, las coordenadas se aprecian a continuación:

Perímetro Exterior

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
1	473676.92	2235740.60	32	474699.16	2231272.86
2	473676.69	2235740.23	33	474968.42	2231212.01
3	473678.95	2235717.04	34	475090.30	2231375.95
4	474035.92	2235442.11	35	475177.05	2231280.81
5	474041.68	2235437.99	36	475159.56	2231203.10
6	474031.87	2235436.04	37	475289.83	2231159.73
7	474031.75	2235436.06	38	475333.09	2231030.10
8	474030.93	2235435.65	39	475367.38	2230701.82
9	473884.34	2235432.53	40	475184.88	2230676.17
10	473622.99	2234940.70	41	474837.09	2230521.19
11	473096.80	2234535.63	42	473603.22	2230514.38
12	472922.53	2234199.09	43	473231.94	2230631.56
13	472883.25	2234082.57	44	473168.70	2230475.10
14	472800.68	2234056.79	45	473212.14	2230468.55
15	472796.02	2233853.85	46	473178.23	2230316.36
16	472700.48	2233871.27	47	473132.62	2230320.75
17	472713.22	2233685.57	48	472986.92	2230223.80
18	472813.05	2233633.59	49	472937.93	2230147.21
19	472834.20	2233270.83	50	472986.78	2230130.94
20	473129.58	2233266.05	51	472987.77	2230071.55
21	473155.79	2233361.01	52	473009.45	2230042.36
22	473399.02	2233343.37	53	473185.39	2230029.13
23	473442.73	2233520.35	54	473300.42	2229963.09
24	473707.67	2233498.35	55	473278.59	2229890.24
25	473850.37	2233070.63	56	473240.06	2229914.05
26	473823.93	2232824.52	57	473209.11	2229911.94
27	475156.81	2232312.99	58	473174.77	2229833.71
28	475299.65	2231954.35	59	473077.57	2229844.12
29	474969.57	2232006.64	60	473010.33	2229907.93
30	474882.70	2232015.40	61	472997.41	2229980.84
31	474725.65	2231566.50	62	472936.12	2230034.38

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
63	472885.98	2229923.24	96	474305.97	2229241.35
64	472781.14	2229907.75	97	474309.65	2229157.66
65	472750.60	2229825.73	98	474540.43	2229126.01
66	472779.80	2229743.63	99	474540.51	2229182.16
67	472735.03	2229595.76	100	474585.85	2229177.23
68	472928.34	2229574.95	101	474688.51	2229180.86
69	472942.43	2229550.09	102	474688.06	2229249.16
70	473062.97	2229535.86	103	474795.08	2229263.31
71	473045.95	2229415.49	104	474803.19	2229237.93
72	473094.82	2229407.32	105	474811.87	2229230.90
73	473071.95	2229369.56	106	475087.27	2229260.19
74	473114.31	2229372.20	107	475118.09	2229169.45
75	473158.84	2229367.27	108	475127.15	2229047.41
76	473197.38	2229354.25	109	475248.76	2229016.46
77	473191.50	2229414.19	110	475284.79	2229144.91
78	473323.49	2229425.32	111	475296.80	2229183.77
79	473381.12	2229463.57	112	475309.46	2229303.07
80	473371.44	2229525.13	113	475309.62	2229419.69
81	473461.11	2229566.57	114	475217.32	2229438.17
82	473504.33	2229768.96	115	475249.00	2229561.77
83	473579.80	2229754.27	116	475329.90	2229544.37
84	473588.62	2229487.01	117	475415.70	2229536.69
85	473573.39	2229471.91	118	475426.06	2229569.61
86	473573.34	2229439.52	119	475442.39	2229594.97
87	473797.16	2229475.89	120	475442.54	2229701.86
88	473810.09	2229406.77	121	475629.86	2229663.27
89	473860.88	2229414.25	122	475620.17	2229339.88
90	473868.39	2229351.88	123	475689.11	2229316.03
91	474044.93	2229370.78	124	475708.23	2229395.37
92	474049.78	2229348.10	125	475786.97	2229387.16
93	474268.64	2229338.59	126	475788.64	2229415.23
94	474263.17	2229309.45	127	475827.18	2229400.06
95	474238.09	2229249.01	128	475711.09	2228724.26

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
129	475662.17	2228695.71	162	474042.51	2227129.59
130	475542.86	2228819.52	163	474083.77	2227131.96
131	475423.26	2228740.86	164	474113.24	2227121.74
132	474961.15	2228803.07	165	474158.26	2227092.52
133	474495.27	2228887.97	166	474165.95	2227126.22
134	474439.87	2228883.74	167	474220.80	2227135.40
135	474156.81	2228822.06	168	474260.13	2227176.65
136	473859.09	2228763.66	169	474321.12	2227098.20
137	473763.46	2228737.89	170	474338.25	2227109.11
138	473740.63	2228724.96	171	474497.99	2227280.79
139	473656.42	2228713.21	172	474567.68	2227298.91
140	473629.23	2228686.26	173	474540.86	2227349.37
141	473567.59	2228515.19	174	474530.54	2227393.12
142	473553.97	2228484.98	175	474536.10	2227436.24
143	473403.08	2228550.00	176	474549.63	2227492.11
144	473426.61	2228664.97	177	474579.65	2227549.77
145	473402.20	2228686.06	178	474611.49	2227591.03
146	473268.57	2228677.09	179	474660.45	2227642.59
147	473256.76	2228764.04	180	474702.65	2227670.47
148	473033.41	2228686.63	181	474765.02	2227695.29
149	473131.56	2228229.70	182	474811.47	2227702.51
150	473281.23	2228078.29	183	474889.06	2227695.72
151	473280.77	2228073.08	184	474974.58	2227676.15
152	473439.93	2227988.68	185	475024.03	2227645.71
153	473542.38	2227850.03	186	475079.57	2227601.29
154	473603.20	2227666.49	187	475117.40	2227562.96
155	473695.95	2227578.87	188	475164.97	2227496.68
156	473735.05	2227575.17	189	475164.91	2227452.34
157	473910.35	2227164.43	190	475315.29	2227492.82
158	473917.60	2227162.58	191	475427.79	2227542.48
159	473983.67	2227110.23	192	475426.05	2227608.69
160	474003.68	2227107.63	193	475438.28	2227610.50
161	474029.20	2227116.55	194	475459.65	2227596.49

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
195	475516.97	2227516.23	228	476522.52	2225517.43
196	475571.75	2227364.90	229	476538.85	2225386.18
197	475576.02	2227357.60	230	476494.22	2225373.48
198	475601.70	2227369.71	231	476515.52	2225310.88
199	475613.27	2227336.29	232	476763.02	2225300.83
200	475610.12	2227271.29	233	476789.28	2225283.17
201	475535.54	2227247.71	234	476747.35	2225004.37
202	475651.88	2226547.13	235	476744.23	2224961.85
203	475786.93	2226547.55	236	476748.40	2224877.39
204	475799.70	2226497.71	237	476782.63	2224885.85
205	475961.07	2226527.26	238	476788.64	2224803.83
206	475945.33	2226637.84	239	476775.75	2224763.14
207	475988.15	2226666.94	240	476800.17	2224743.06
208	476051.09	2226665.64	241	476767.09	2224685.99
209	476166.60	2226672.77	242	476726.75	2224683.01
210	476171.48	2226667.30	243	476729.09	2224608.88
211	476236.88	2226682.39	244	476726.01	2224609.98
212	476255.68	2226574.84	245	476766.45	2223981.22
213	476269.74	2226574.22	246	476816.55	2223045.46
214	476352.94	2226647.61	247	476856.47	2222731.88
215	476387.63	2226537.00	248	477097.47	2222718.65
216	476375.95	2226492.06	249	477087.02	2222821.47
217	476465.19	2226506.52	250	477084.38	2222899.40
218	476554.49	2226561.07	251	477579.31	2222777.99
219	476587.24	2226378.78	252	477632.10	2222838.08
220	476464.35	2226335.82	253	477670.67	2222881.78
221	476497.78	2226199.69	254	477777.83	2222798.70
222	476316.84	2226162.27	255	477697.94	2222698.54
223	476339.27	2226032.24	256	477678.67	2222689.91
224	476433.99	2226026.64	257	477692.33	2222616.07
225	476441.15	2225897.84	258	477568.59	2222642.66
226	476548.12	2225914.10	259	477446.00	2222494.25
227	476596.53	2225561.07	260	477432.71	2222497.92
			261	477440.22	2222280.98

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
262	477699.67	2222261.05	296	477107.61	2219997.18
263	477694.15	2222245.11	297	477122.26	2219975.28
264	477714.76	2221870.93	298	477558.00	2219398.60
265	477846.80	2221882.15	299	477666.00	2219238.01
266	477926.38	2221730.29	300	477804.67	2218848.12
267	478070.80	2221740.14	301	477795.93	2218844.70
268	478008.64	2221884.68	302	478042.23	2218416.23
269	478060.04	2221929.28	303	478047.18	2218147.81
270	478076.05	2221900.09	304	478544.84	2218136.67
271	478134.29	2221914.15	305	479283.31	2218067.36
272	478220.60	2221643.79	306	479439.49	2218064.54
273	478117.40	2221610.19	307	479445.34	2217691.18
274	478145.73	2221536.33	308	479537.65	2217679.72
275	478022.37	2221502.30	309	479534.07	2217592.56
276	478041.09	2221446.68	310	479457.96	2217588.53
277	477971.84	2221428.08	311	479426.70	2217390.30
278	477962.16	2221381.60	312	479122.43	2217389.05
279	477843.36	2221339.83	313	479203.25	2217734.97
280	477817.62	2220926.95	314	479027.21	2217763.31
281	477788.71	2220900.55	315	479006.19	2217620.12
282	477496.98	2220792.45	316	478994.42	2217429.54
283	477133.20	2220630.67	317	478982.43	2217371.09
284	477172.50	2220528.98	318	478937.77	2217381.50
285	477075.25	2220487.64	319	478860.41	2217437.85
286	477066.25	2220623.01	320	478823.23	2217480.08
287	477063.96	2220623.01	321	478784.65	2217589.67
288	477059.91	2220682.27	322	478543.42	2217589.96
289	476798.50	2220617.44	323	478512.85	2217554.47
290	476809.39	2220531.74	324	478481.58	2217558.21
291	476756.19	2220522.70	325	478425.78	2217584.93
292	476783.32	2220240.08	326	478358.06	2217611.29
293	476913.54	2220241.73	327	478338.54	2217630.74
294	477080.51	2220305.32	328	478318.49	2217676.28
295	477107.86	2220188.61	329	478277.74	2217687.99

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
330	478247.05	2217701.90	362	478373.07	2215549.81
331	478243.70	2217708.01	363	478318.16	2215519.05
332	478244.86	2217737.43	364	477697.23	2216840.64
333	478227.00	2217744.67	365	476823.24	2216558.71
334	478218.63	2217753.56	366	477021.85	2215904.57
335	478205.28	2217791.33	367	476755.62	2215863.02
336	478152.26	2217814.71	368	476436.11	2215530.45
337	478114.37	2217880.26	369	476440.87	2215498.45
338	478087.02	2217890.28	370	476441.38	2215425.05
339	478060.25	2217915.85	371	476548.24	2215374.34
340	477860.39	2217948.30	372	476585.19	2215286.27
341	477709.66	2217982.91	373	476822.40	2215107.48
342	477625.68	2218007.16	374	476830.97	2215096.81
343	477404.03	2217866.42	375	476882.48	2215123.54
344	477489.60	2217681.48	376	476951.03	2215064.97
345	477532.33	2217524.94	377	477012.25	2215018.60
346	477779.23	2217542.40	378	476840.43	2214836.08
347	477914.59	2217072.74	379	476840.31	2214750.79
348	478054.13	2217069.01	380	476818.24	2214736.20
349	478100.53	2216980.03	381	476948.56	2214588.61
350	478021.78	2216951.68	382	477179.71	2214332.91
351	478090.67	2216728.70	383	477194.73	2214335.33
352	478073.95	2216709.75	384	477208.90	2214335.69
353	478073.81	2216600.67	385	477229.98	2214344.12
354	478133.24	2216432.24	386	477335.62	2214354.19
355	478237.85	2216157.04	387	477356.61	2214354.77
356	478297.31	2216012.31	388	477390.39	2214356.25
357	478411.61	2215855.66	389	477416.67	2214357.13
358	478559.13	2215547.20	390	477437.20	2214356.34
359	478458.99	2215582.90	391	477473.11	2214345.48
360	478382.73	2215644.65	392	477481.03	2214315.01
361	478335.01	2215642.34	393	477474.86	2214279.08

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
394	477453.35	2214231.89	428	477794.20	2211712.38
395	477447.49	2214200.22	429	477935.40	2211577.52
396	477443.77	2214165.20	430	477999.52	2211563.13
397	477448.04	2214153.92	431	478044.67	2211559.82
398	477427.99	2214049.78	432	478257.90	2211446.99
399	477437.39	2213976.06	433	478348.10	2211353.84
400	477440.59	2213839.29	434	478348.07	2211353.80
401	477460.00	2213686.96	435	478350.15	2211353.36
402	477484.70	2213594.33	436	478433.98	2211317.98
403	477476.94	2213517.28	437	478502.46	2211314.61
404	477464.63	2213474.96	438	478559.29	2211278.85
405	477471.30	2213417.07	439	478666.38	2211241.94
406	477503.09	2213357.03	440	478740.37	2211230.32
407	477553.26	2213292.69	441	478887.30	2211264.46
408	477570.98	2213255.81	442	478869.23	2211386.35
409	477557.19	2213051.13	443	478884.36	2211569.14
410	477606.59	2212864.04	444	478901.03	2211656.40
411	477603.08	2212758.03	445	478947.55	2211763.39
412	477552.44	2212689.56	446	479017.34	2211941.17
413	477526.00	2212623.80	447	479294.36	2212245.51
414	477526.80	2212533.02	448	479221.79	2212515.67
415	477580.01	2212446.74	449	479558.14	2212566.32
416	477668.46	2212361.34	450	479464.81	2212800.00
417	477692.84	2212258.95	451	479620.97	2212822.05
418	477697.91	2212148.37	452	479704.02	2212651.65
419	477697.91	2212148.37	453	479731.36	2212663.83
420	477939.13	2212056.44	454	479758.16	2212675.19
421	477947.24	2212030.98	455	479767.82	2212676.69
422	477796.42	2211916.09	456	479776.80	2212676.95
423	477771.93	2211875.06	457	479784.80	2212675.02
424	477732.33	2211846.77	458	479848.40	2212639.54
425	477642.71	2211820.86	459	480786.85	2212382.27
426	477649.90	2211754.35			
427	477670.21	2211712.39			

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
460	480786.94	2212465.71	492	480553.03	2210486.21
461	480966.07	2212665.33	493	480498.94	2210519.03
462	480842.75	2213005.79	494	480412.07	2210554.17
463	481964.74	2212958.49	495	480276.66	2210639.14
464	481927.04	2212807.03	496	480276.27	2210641.04
465	481889.30	2212620.43	497	480274.03	2210642.37
466	481723.47	2212464.71	498	480273.89	2210642.40
467	481577.70	2212473.65	499	480253.87	2210683.77
468	481468.94	2211973.13	500	480139.86	2210824.61
469	481718.08	2211524.92	501	480112.70	2210831.10
470	481163.38	2211288.35	502	480111.40	2210832.76
471	481441.13	2210736.88	503	480067.64	2210713.13
472	481076.52	2210629.67	504	480006.34	2210714.30
473	481069.77	2210623.32	505	479977.63	2210722.02
474	481068.28	2210623.03	506	479950.13	2210577.53
475	481025.48	2210592.22	507	479958.69	2210451.52
476	481001.67	2210564.56	508	479767.27	2210407.28
477	481000.07	2210557.82	509	479609.37	2210324.70
478	480992.49	2210550.70	510	479811.90	2210157.72
479	480984.04	2210537.34	511	479966.90	2210001.21
480	480983.17	2210536.43	512	480135.44	2209775.89
481	480981.26	2210534.03	513	480053.61	2209731.16
482	480981.18	2210533.73	514	480029.56	2209731.19
483	480969.09	2210521.85	515	480028.88	2209731.94
484	480958.36	2210496.76	516	479874.70	2209864.67
485	480921.68	2210438.78	517	479816.41	2209888.04
486	480839.90	2210397.15	518	479723.31	2209894.58
487	480793.92	2210416.46	519	479621.00	2209887.16
488	480789.48	2210420.00	520	479527.93	2209865.71
489	480766.82	2210432.70	521	479437.20	2209837.74
490	480744.97	2210435.04	522	479394.29	2209816.16
491	480555.93	2210480.76	523	479371.92	2209716.93

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
524	479354.44	2209616.06	556	478628.85	2209258.42
525	479340.52	2209537.88	557	478623.98	2209278.40
526	479333.68	2209475.25	558	478629.14	2209355.01
527	479333.68	2209451.86	559	478639.35	2209414.58
528	479316.82	2209424.68	560	478826.85	2209392.57
529	479306.00	2209377.52	561	478858.48	2209537.44
530	479311.87	2209245.08	562	478861.54	2209540.65
531	479309.20	2209190.67	563	478884.26	2209542.27
532	479300.77	2209129.23	564	479004.55	2210034.86
533	479278.77	2209126.14	565	478871.42	2210050.31
534	479254.97	2209100.45	566	478707.37	2210084.03
535	479197.30	2209099.48	567	478593.96	2210082.08
536	479180.83	2209064.76	568	478646.52	2210334.77
537	479161.25	2209054.01	569	478681.46	2210332.64
538	479141.68	2209056.12	570	478806.90	2210306.08
539	479129.80	2209061.69	571	478811.91	2210409.61
540	479117.23	2209074.91	572	478656.08	2210438.98
541	479085.09	2209082.94	573	478564.55	2210464.10
542	479060.64	2209098.95	574	478599.54	2210640.37
543	479038.28	2209103.14	575	478471.12	2210653.38
544	478985.53	2209126.49	576	478500.65	2210745.32
545	478955.82	2209127.22	577	478346.57	2210742.21
546	478938.69	2209123.76	578	477891.59	2210834.55
547	478933.11	2209126.90	579	477891.59	2210834.55
548	478964.98	2209185.57	580	477891.59	2210834.55
549	478963.24	2209191.48	581	477620.37	2210898.66
550	478920.28	2209212.38	582	477521.90	2211179.86
551	478888.48	2209216.59	583	477518.02	2211215.65
552	478823.82	2209217.36	584	477256.18	2211191.26
553	478795.86	2209219.48	585	477060.36	2211227.09
554	478738.56	2209234.49	586	477027.63	2211109.15
555	478645.09	2209249.19	587	476994.98	2211059.07

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
588	476961.84	2211028.78	621	474872.67	2207173.26
589	476456.91	2210878.31	622	474847.46	2207120.88
590	476368.13	2210749.05	623	474832.74	2207110.55
591	477757.50	2210165.95	624	474711.29	2207065.62
592	477742.59	2210005.11	625	474647.49	2207037.68
593	476926.37	2210181.65	626	474517.15	2206780.69
594	476503.76	2209052.49	627	474493.20	2206756.96
595	476006.93	2208821.00	628	474491.99	2206764.88
596	475804.63	2208817.62	629	474394.55	2207208.69
597	475585.94	2208260.34	630	474429.20	2207428.03
598	475126.43	2208434.66	631	474409.69	2207506.06
599	475088.71	2208423.75	632	474429.57	2207686.42
600	475075.75	2208365.27	633	473867.61	2209047.39
601	475088.60	2208346.97	634	473843.23	2209963.88
602	475093.14	2208304.00	635	473848.17	2209989.46
603	475057.13	2208202.59	636	473882.66	2210097.87
604	475064.45	2208176.98	637	473958.93	2210276.08
605	475061.65	2208148.65	638	473961.42	2210301.26
606	475041.39	2208124.91	639	474002.03	2210408.04
607	475030.29	2208077.40	640	474041.40	2210504.66
608	474992.48	2208001.58	641	474075.10	2210637.03
609	474996.04	2207918.39	642	474072.97	2210849.07
610	474988.65	2207894.64	643	474060.83	2211485.99
611	474945.37	2207848.99	644	474210.76	2211465.87
612	474877.26	2207809.78	645	474267.15	2211467.82
613	474848.59	2207690.99	646	474292.90	2211477.12
614	474817.11	2207539.29	647	474319.46	2211477.49
615	474821.58	2207455.19	648	474441.23	2211480.97
616	474848.23	2207438.70	649	474523.34	2211468.66
617	474867.49	2207409.42	650	474537.65	2211470.27
618	474874.75	2207337.19	651	474553.18	2211473.09
619	474894.91	2207289.63	652	474620.65	2211508.73
620	474893.93	2207245.75	653	474690.15	2211533.00

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
654	474759.64	2211554.84	686	474796.47	2212907.76
655	474868.40	2211605.86	687	474874.16	2212912.37
656	474915.41	2211620.01	688	474839.36	2213010.96
657	475044.53	2211625.10	689	474838.41	2213036.91
658	475053.94	2211630.78	690	474751.28	2213060.14
659	475070.10	2211786.73	691	474530.58	2213132.66
660	475029.13	2211819.96	692	474558.39	2213277.03
661	474939.48	2211878.24	693	473066.55	2213299.48
662	474911.33	2211911.18	694	473081.37	2213492.96
663	474900.33	2211933.13	695	473008.75	2213498.85
664	474909.13	2212086.65	696	473017.58	2213571.04
665	474928.36	2212249.29	697	473078.60	2213576.72
666	474924.70	2212257.21	698	473223.96	2213640.03
667	474898.97	2212268.83	699	473401.17	2213636.87
668	474851.80	2212278.64	700	473578.44	2213671.26
669	474816.25	2212278.69	701	473558.50	2213934.11
670	474802.86	2212341.46	702	473735.76	2213956.94
671	474768.53	2212340.90	703	474037.85	2213924.72
672	474669.87	2212348.36	704	474001.88	2214155.82
673	474650.88	2212355.09	705	473935.28	2214304.65
674	474595.80	2212407.56	706	473978.95	2214365.23
675	474585.43	2212439.26	707	474121.21	2214302.93
676	474679.19	2212431.81	708	474129.96	2214326.02
677	474674.94	2212458.62	709	474482.99	2214364.49
678	474667.06	2212520.17	710	474523.45	2214220.03
679	474670.26	2212615.21	711	474535.10	2214157.80
680	474680.78	2212687.69	712	474647.43	2214154.75
681	474700.39	2212687.66	713	474658.65	2214211.53
682	474766.44	2212692.44	714	474755.43	2214175.77
683	474766.15	2212708.13	715	474842.09	2214163.61
684	474773.91	2212777.57	716	474933.41	2214367.57
685	474778.87	2212814.12	717	474844.86	2214406.20

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
718	475427.09	2215152.69	750	467749.34	2211374.92
719	475187.36	2215312.64	751	467747.72	2211116.67
720	475162.55	2215310.51	752	467741.98	2211113.57
721	474987.06	2214931.32	753	467740.93	2210868.03
722	474885.06	2214778.11	754	467768.86	2210705.72
723	474762.71	2214672.89	755	467949.13	2210307.14
724	474536.04	2214827.10	756	468149.10	2209954.70
725	473876.20	2214829.83	757	468411.31	2209764.00
726	473372.77	2214360.66	758	468524.15	2209536.95
727	472752.84	2214506.52	759	468530.79	2208812.99
728	472660.17	2214541.45	760	469076.56	2208535.66
729	472551.04	2214560.64	761	469589.08	2208557.59
730	472384.84	2214704.17	762	470221.03	2208162.67
731	469407.23	2215341.61	763	470241.69	2207928.04
732	467747.00	2215651.25	764	470466.96	2207468.55
733	467152.19	2215629.51	765	470752.58	2206908.03
734	466816.31	2215225.92	766	470859.07	2206639.66
735	466681.42	2215017.23	767	470843.25	2206222.05
736	466643.78	2214512.48	768	471418.96	2205312.24
737	466632.67	2214377.28	769	471569.60	2205101.73
738	466631.90	2214104.78	770	471250.76	2204914.72
739	466625.61	2213948.46	771	470941.73	2204737.87
740	466642.76	2213735.03	772	470738.37	2204601.82
741	466655.57	2213649.71	773	470262.35	2204394.96
742	466738.59	2213489.26	774	470162.71	2204722.48
743	466968.04	2213201.12	775	469339.77	2204269.71
744	467019.44	2213153.28	776	468921.72	2204232.60
745	467174.09	2212939.43	777	468070.84	2203716.20
746	467292.75	2212710.36	778	468088.48	2203984.71
747	467489.13	2212304.72	779	468097.87	2204151.86
748	467681.92	2211888.65	780	468152.72	2204336.56
749	467746.44	2211646.96	781	468036.10	2204566.01

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
782	468034.91	2204581.34	814	464076.97	2208359.07
783	468011.71	2204732.68	815	464186.29	2208617.85
784	467797.06	2204940.62	816	464220.47	2208876.58
785	467622.04	2205066.50	817	464041.80	2209282.65
786	467679.84	2205162.28	818	463843.00	2209593.29
787	467682.52	2205288.37	819	463689.92	2209788.16
788	467658.58	2205423.32	820	463585.51	2209793.98
789	467906.62	2205350.25	821	463458.06	2210183.14
790	468009.91	2205418.53	822	463496.57	2210241.16
791	468047.74	2205490.53	823	463655.76	2210649.97
792	468021.38	2205667.23	824	463543.38	2211142.11
793	467967.02	2205802.94	825	463187.26	2211030.70
794	467830.97	2205883.89	826	463178.45	2211252.51
795	467823.42	2205987.70	827	463064.25	2211558.88
796	467704.15	2206159.98	828	462977.13	2211759.87
797	467652.57	2206312.45	829	463258.63	2213194.77
798	467558.69	2206487.44	830	463529.11	2213513.81
799	467574.22	2206703.40	831	463229.24	2213668.60
800	467459.84	2206861.40	832	463230.11	2213834.36
801	467602.88	2207373.19	833	463319.18	2214093.88
802	467304.50	2207296.46	834	463369.38	2214108.07
803	467171.45	2207355.42	835	463484.44	2214191.98
804	466794.35	2207442.28	836	463478.46	2214312.21
805	466288.31	2207247.38	837	463389.41	2214341.95
806	465849.94	2207109.29	838	463302.75	2214364.03
807	465536.65	2206993.63	839	463276.37	2214397.56
808	465287.39	2207093.90	840	463278.39	2214495.63
809	464833.25	2207016.31	841	463327.89	2214599.50
810	464485.89	2207175.69	842	463060.73	2214604.99
811	463930.70	2207167.08	843	462927.52	2214543.45
812	463925.50	2207777.51	844	462703.20	2214493.93
813	463990.00	2208054.16	845	462660.45	2214718.10

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
846	462776.94	2215118.32	878	460252.63	2216711.49
847	463034.90	2215282.17	879	460245.30	2216774.62
848	463157.74	2215291.49	880	459603.02	2216621.45
849	463337.07	2215251.43	881	458829.45	2216735.45
850	463903.23	2215333.62	882	458747.41	2217134.11
851	463833.38	2215500.28	883	459041.74	2217407.75
852	463831.91	2215563.90	884	459964.13	2217812.86
853	463781.50	2215656.82	885	460231.04	2217853.78
854	463826.46	2215760.72	886	460258.71	2218021.14
855	463621.13	2215749.05	887	460319.17	2218137.61
856	463623.19	2215992.24	888	460955.70	2218226.51
857	463162.18	2215743.13	889	461267.23	2218352.41
858	463003.89	2215870.97	890	461639.17	2218375.80
859	462951.64	2215970.28	891	461673.41	2218539.75
860	462890.99	2215942.80	892	461714.94	2218830.77
861	462787.58	2215980.19	893	461548.57	2219370.06
862	462605.86	2216279.28	894	461483.50	2219478.08
863	462575.67	2216214.13	895	461318.91	2219606.51
864	462393.02	2216244.51	896	461366.54	2220070.69
865	462403.33	2216397.49	897	461147.48	2220414.97
866	462222.90	2216471.85	898	460816.52	2220960.71
867	462337.14	2216628.32	899	460955.49	2221883.94
868	462207.95	2216650.11	900	460424.32	2221736.64
869	462235.45	2216754.08	901	459542.08	2221398.57
870	462129.71	2216774.20	902	459371.08	2221290.72
871	461970.87	2216579.60	903	459022.38	2221345.48
872	461799.18	2216384.87	904	458939.78	2221165.31
873	461564.34	2216327.21	905	458968.27	2221079.72
874	461506.44	2216577.81	906	458879.66	2221001.07
875	461162.88	2216575.77	907	458623.43	2221112.26
876	460675.18	2216338.56	908	458325.76	2221294.65
877	460361.92	2216321.91	909	458000.47	2221324.54

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
910	457666.54	2221279.85	942	458114.12	2226242.84
911	457687.02	2221490.84	943	458159.69	2226450.55
912	457450.23	2221613.59	944	458259.95	2227054.91
913	457171.94	2221716.47	945	457701.30	2227224.61
914	457088.01	2222086.87	946	457887.20	2227518.78
915	457153.59	2222112.71	947	457967.99	2227843.12
916	457120.52	2222164.33	948	458434.50	2227779.59
917	457031.87	2222163.77	949	458424.35	2228270.75
918	457002.92	2222318.85	950	458567.99	2228250.39
919	457122.63	2222338.89	951	458660.88	2228566.21
920	457178.54	2222483.92	952	458381.70	2228558.51
921	457156.79	2222530.15	953	458240.48	2228627.00
922	457097.76	2222632.19	954	458159.26	2228621.66
923	457086.60	2222644.10	955	458383.83	2229294.57
924	457084.22	2222778.62	956	458772.25	2229207.12
925	457218.16	2222878.62	957	459207.00	2229152.54
926	457284.94	2223200.69	958	459389.60	2229842.24
927	457296.88	2223393.37	959	459028.52	2230276.06
928	457227.36	2223729.62	960	459149.79	2230279.53
929	457652.44	2224033.43	961	459395.82	2230993.36
930	457734.76	2224574.56	962	460043.78	2231128.93
931	457756.21	2224741.46	963	460857.23	2230755.78
932	458001.88	2224843.89	964	460966.45	2230582.09
933	458080.33	2225043.29	965	461116.46	2230444.78
934	457807.36	2225091.38	966	461211.83	2230338.60
935	457641.75	2225152.48	967	463293.97	2230398.50
936	457679.59	2225169.73	968	464009.59	2231367.85
937	457718.32	2225231.31	969	464028.75	2231422.35
938	457864.25	2225389.36	970	464039.63	2231512.36
939	457865.01	2225515.71	971	464081.92	2231557.36
940	457905.60	2225501.70	972	464118.90	2231564.11
941	458004.37	2225885.31	973	464181.98	2231559.81

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
974	464224.25	2231567.96	1006	466134.87	2231418.06
975	464251.04	2231590.72	1007	466135.59	2231379.69
976	464491.86	2231454.17	1008	466209.42	2231386.44
977	464624.29	2231385.27	1009	466201.78	2231490.37
978	464595.85	2231318.93	1010	466190.23	2231550.01
979	464622.35	2231291.31	1011	466293.58	2231565.93
980	464604.95	2231249.56	1012	466344.94	2231540.81
981	464662.17	2231216.80	1013	466421.41	2231529.46
982	464660.25	2231159.69	1014	466423.71	2231458.72
983	464747.42	2231157.15	1015	466404.84	2231382.41
984	464754.05	2231114.15	1016	466454.18	2231368.61
985	464879.50	2231107.81	1017	466522.13	2231381.50
986	464894.65	2231186.45	1018	466581.57	2231383.28
987	464930.65	2231181.95	1019	466595.22	2231389.02
988	465100.68	2231185.96	1020	466613.69	2231409.69
989	465133.56	2231176.26	1021	466610.91	2231457.12
990	465132.41	2231193.58	1022	466628.80	2231486.08
991	465123.15	2231218.59	1023	466634.25	2231567.93
992	465410.60	2231228.45	1024	466788.46	2231570.76
993	465502.51	2231200.24	1025	466991.95	2231702.67
994	465581.94	2231223.42	1026	466992.40	2231702.08
995	465639.89	2231298.92	1027	467227.44	2231906.36
996	465695.72	2231344.39	1028	467412.34	2232047.08
997	465764.23	2231421.19	1029	467449.23	2232026.86
998	465787.00	2231322.21	1030	467454.26	2232006.70
999	465906.70	2231328.77	1031	467436.11	2231983.70
1000	465885.67	2231402.89	1032	467435.89	2231863.50
1001	465927.04	2231403.54	1033	467462.55	2231797.23
1002	465969.31	2231411.69	1034	467535.01	2231823.00
1003	465984.61	2231351.22	1035	467545.21	2231858.97
1004	466066.25	2231372.10	1036	467645.12	2231856.63
1005	466065.40	2231403.70	1037	467641.39	2231794.02

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
1038	467651.48	2231770.24	1070	470518.00	2233058.16
1039	467721.70	2231764.35	1071	470774.37	2233106.31
1040	467783.92	2231737.61	1072	470818.43	2233471.13
1041	467807.90	2231785.07	1073	470893.51	2233560.60
1042	467764.54	2231830.49	1074	471065.03	2233524.69
1043	467779.08	2231859.26	1075	471168.09	2233461.90
1044	467808.77	2231862.08	1076	471679.03	2233790.32
1045	467836.32	2231883.62	1077	471831.22	2233889.39
1046	467850.91	2231941.18	1078	472017.88	2233815.68
1047	467861.84	2231980.03	1079	472122.04	2233755.06
1048	467872.08	2232035.43	1080	472626.66	2234229.24
1049	467887.42	2232108.82	1081	472879.31	2234686.55
1050	467987.13	2231997.79	1082	472859.89	2234765.38
1051	468056.54	2231942.96	1083	472918.70	2234876.48
1052	468165.16	2231949.96	1084	472791.75	2234936.05
1053	468287.59	2231985.72	1085	472880.96	2235043.85
1054	468387.54	2232800.29	1086	472913.62	2235102.09
1055	468411.50	2233232.08	1087	472868.88	2235652.67
1056	468544.83	2233298.05	1088	472973.71	2236030.30
1057	468562.91	2233685.22	1089	473208.71	2236332.16
1058	468512.44	2233799.03	1090	473361.03	2236534.85
1059	468535.73	2233870.95	1091	473539.27	2236651.15
1060	468858.77	2233952.41	1092	473709.46	2237181.92
1061	468945.52	2233887.49	1093	473815.81	2237147.22
1062	469026.54	2233847.04	1094	473887.88	2237423.42
1063	469193.91	2233924.11	1095	473887.35	2237430.17
1064	469737.58	2233912.35	1096	473951.48	2237421.31
1065	469814.58	2233229.94	1097	473951.60	2237421.20
1066	469742.89	2233223.59	1098	474014.25	2237412.00
1067	469798.85	2232929.85	1099	474018.27	2237411.96
1068	470074.64	2232896.98	1100	474018.91	2237412.00
1069	470381.04	2232987.14	1101	474021.68	2237411.62

Vértice	Coord. X	Coord. Y
1102	474060.97	2237370.81
1103	474112.89	2237239.06
1104	474122.65	2237228.25
1105	474172.57	2237216.30
1106	474187.80	2237236.79
1107	474275.70	2237208.60
1108	474260.20	2237003.55
1109	474637.85	2236879.94
1110	474739.02	2236853.32
1111	474738.77	2236853.15
1112	474694.73	2236651.61
1113	474669.36	2236578.26
1114	474593.96	2236481.26
1115	474516.15	2236418.19
1116	474504.15	2236406.54
1117	474471.59	2236360.95
1118	474414.01	2236255.72
1119	474348.20	2236182.37
1120	474283.42	2236110.05
1121	474250.17	2236073.72
1122	474138.48	2236007.25
1123	474138.11	2236006.58
1124	474031.83	2235946.10
1125	473851.49	2235845.70
1126	473812.30	2235824.98
1127	473809.98	2235824.49
1128	473796.29	2235817.35
1129	473710.89	2235795.54
1130	473710.88	2235795.52
1131	473680.50	2235768.94
1132	473676.92	2235740.60

Perímetro Interior 1

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
1	471220.53	2218384.43	33	476598.626	2218077.57
2	472739.596	2218628.56	34	476600.059	2218080.89
3	473338.759	2218723.97	35	476596.824	2218095.38
4	474400.186	2219089.06	36	476596.692	2218102.27
5	474807.897	2219234	37	476599.743	2218126.28
6	474719.629	2219771.24	38	476600.534	2218153.28
7	474798.102	2219766.62	39	476592.283	2218190.8
8	474856.853	2219691.52	40	476564.405	2218224.6
9	475027.344	2219656.77	41	476539.55	2218261.39
10	475273.227	2219572.4	42	476533.541	2218282.41
11	475420.952	2219444.67	43	476533.606	2218330.42
12	475499.259	2219321.53	44	476537.392	2218340.17
13	475547.277	2219123.42	45	476527.639	2218382.94
14	475572.666	2218931.34	46	476581.444	2218550.17
15	475593.695	2218859.29	47	476586.776	2218586.92
16	475774.46	2218606.98	48	476550.829	2218792.52
17	475826.448	2218546.89	49	476526.707	2218812.06
18	475936.468	2218431.21	50	476498.851	2218861.6
19	475949.266	2218407.93	51	476655.844	2218881.65
20	476088.828	2218370.98	52	476645.149	2218784.89
21	476113.704	2218350.69	53	476634.437	2218674.63
22	476195.011	2218206.54	54	476677.283	2218547.79
23	476276.265	2218021.88	55	476699.158	2218540.26
24	476334.076	2217801.24	56	476896.132	2218546.75
25	476407.144	2217715.16	57	477061.392	2218539.78
26	476513.295	2217738.61	58	477055.832	2218328.23
27	476515.803	2217823.35	59	477012.391	2218148.98
28	476534.844	2217953.11	60	477086.354	2218152.83
29	476567.328	2217977.07	61	477102.808	2218109.91
30	476571.903	2218012.33	62	477248.183	2218124.93
31	476587.033	2218039.31	63	477471.102	2218161.82
32	476598.404	2218077.56	64	477612.812	2218222.89

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
65	477615.328	2218443.75	65	477615.328	2218443.75
66	477406.327	2218732.61	66	477406.327	2218732.61
67	477278.865	2218768.8	67	477278.865	2218768.8
68	477084.748	2218821.02	68	477084.748	2218821.02
69	476934.65	2218872.95	69	476934.65	2218872.95
70	476855.584	2218894.94	70	476855.584	2218894.94
71	476696.338	2218962.38	71	476696.338	2218962.38
72	476740.486	2219060.32	72	476740.486	2219060.32
73	476781.36	2219109.49	73	476781.36	2219109.49
74	476825.638	2219133.14	74	476825.638	2219133.14
75	476818.159	2219198.1	75	476818.159	2219198.1
76	476916.822	2219261.1	76	476916.822	2219261.1
77	476898.168	2219370.28	77	476898.168	2219370.28
78	476861.898	2219507.53	78	476861.898	2219507.53
79	476748.085	2219429.74	79	476748.085	2219429.74
80	476688.741	2219625.58	80	476688.741	2219625.58
81	476529.511	2219529.62	81	476529.511	2219529.62
82	476506.178	2219567.48	82	476506.178	2219567.48
83	476484.868	2219575.26	83	476484.868	2219575.26
84	476458.502	2219573.25	84	476458.502	2219573.25
85	476434.191	2219565.53	85	476434.191	2219565.53
86	476408.699	2219532.29	86	476408.699	2219532.29
87	476398.131	2219515.9	87	476398.131	2219515.9
88	476381.146	2219501.11	88	476381.146	2219501.11
89	476353.4	2219496.36	89	476353.4	2219496.36
90	476321.315	2219503.7	90	476321.315	2219503.7
91	476294.976	2219522.65	91	476294.976	2219522.65
92	476285.388	2219552.29	92	476285.388	2219552.29
93	476284.986	2219594.22	93	476284.986	2219594.22
94	476293.501	2219618.37	94	476293.501	2219618.37
95	476314.155	2219633.61	95	476314.155	2219633.61
96	476345.111	2219639.26	96	476345.111	2219639.26

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
97	476370.33	2219639.91	129	476359.089	2220480.16
98	476386.156	2219645.59	130	476278.85	2220476.85
99	476396.044	2219668.14	131	476165.599	2220472.22
100	476398.377	2219697.99	132	475798.334	2220456.77
101	476394.728	2219712.12	133	475713.27	2220610.03
102	476385.575	2219724.44	134	475694.102	2220672.95
103	476371.592	2219725.83	135	475018.649	2220590.5
104	476345.449	2219719.02	136	474539.909	2220529.66
105	476291.512	2219672.84	137	474285.433	2220516.36
106	476275.456	2219666.48	138	474268.046	2220851.38
107	476256.664	2219671.29	139	474256.015	2221086.57
108	476244.756	2219681.1	140	474281.535	2221371.09
109	476223.758	2219749.5	141	474166.864	2221371.26
110	476215.291	2219760.45	142	474169.739	2221455.34
111	476200.86	2219769.13	143	474276.02	2221478.09
112	476180.463	2219773.72	144	474282.755	2221615.48
113	476132.552	2219775.15	145	474288.408	2221718.02
114	476119.959	2219786.79	146	474125.732	2221690.23
115	476117.242	2219811.86	147	474133.404	2221763.02
116	476119.811	2219846.04	148	474288.168	2221788.43
117	476117.075	2219856.76	149	474302.233	2222000.32
118	476103.568	2219870.68	150	474442.555	2222026.78
119	476067.599	2219887.13	151	474453.7	2222358.3
120	476246.482	2219938.17	152	474442.762	2222402.07
121	476407.474	2219982.84	153	474174.349	2222246.61
122	476391.353	2220098.4	154	474145.592	2222330.05
123	476459.465	2220117.46	155	474208.96	2222401.05
124	476437.325	2220189.27	156	474215.302	2222504.26
125	476597.365	2220209.79	157	474226.327	2222519.96
126	476567.791	2220378.93	158	474390.606	2222473.92
127	476577.801	2220493.31	159	474532.923	2222456.62
128	476474.631	2220484.11	160	474585.227	2222485.94

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
161	474643.791	2222564.47	193	476021.59	2224622.2
162	474657.516	2222545.31	194	475920.489	2224582.24
163	474673.938	2222489.91	195	475856.907	2224567.34
164	474704.078	2222409.21	196	475745.384	2224943.36
165	474741.143	2222362.67	197	475771.879	2224951.43
166	474967.376	2222360.29	198	475766.624	2224981.41
167	474965.215	2222292.62	199	475667.189	2225258.18
168	474987.137	2222234.48	200	475142.216	2225112.91
169	475060.712	2222231.64	201	475153.926	2225288.82
170	475067.193	2221955.46	202	475053.849	2225250.76
171	475097.356	2221889.79	203	474953.453	2225534.65
172	475427.447	2221897.53	204	474992.313	2225547.82
173	475526.45	2221883.03	205	474974.449	2225591.86
174	475581.521	2221923.97	206	474938.997	2225681.56
175	475576.098	2221980.04	207	474915.167	2225731.27
176	475547.335	2222064.84	208	475307.094	2225917.55
177	475560.014	2222279.47	209	475284.184	2226041.79
178	475568.997	2222310.22	210	475280.765	2226120.63
179	475544.373	2222403.91	211	475282.413	2226133.59
180	475537.679	2222533.8	212	475291.151	2226166.52
181	475532.986	2222619.93	213	475307.527	2226222.38
182	475531.693	2222678.72	214	475311.363	2226246.68
183	475489.148	2222740.99	215	475308.944	2226263.96
184	475472.005	2222775.19	216	475328.939	2226383
185	475475.74	2222986.41	217	475348.913	2226486.38
186	475383.362	2223305.07	218	475346.787	2226519.6
187	475779.802	2223576.57	219	475304.029	2226628.19
188	476107.086	2223566.54	220	475298.877	2226634.68
189	476069.474	2224217.31	221	475276.892	2226644.16
190	476086.577	2224654.73	222	475260.6	2226647.15
191	476063.685	2224669.15	223	475094.929	2226649.01
192	476057.086	2224657.79	224	475079.996	2226652.27

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
225	475074.306	2226662	257	474022.168	2227042.6
226	475069.473	2226700.35	258	473995.266	2227032.66
227	475056.985	2226704.14	259	473983.578	2227026.19
228	475026.289	2226700.14	260	473955.591	2227017.33
229	474997.497	2226698.56	261	473940.095	2227007.09
230	474957.574	2226699.16	262	473930.814	2226976.05
231	474900.81	2226698.97	263	473921.285	2226960.41
232	474838.626	2226707.16	264	473861.851	2226990.2
233	474745.225	2226725.92	265	473685.703	2226886.79
234	474703.958	2226737.05	266	473585.735	2226871.82
235	474694.184	2226738.96	267	473440.055	2226802.92
236	474629.862	2226770.37	268	473244.418	2226744.91
237	474598.922	2226785.26	269	473209.817	2226850.8
238	474557.941	2226806.11	270	473192.921	2227166.17
239	474514.794	2226830.74	271	473019.403	2227358.66
240	474476.533	2226853.48	272	472934.82	2227455.99
241	474429.584	2226878.93	273	472924.074	2227531.6
242	474392.301	2226827.95	274	472843.804	2227607.32
243	474363.554	2226856.08	275	472681.047	2227879.16
244	474336.162	2226882.85	276	472679.108	2227878.36
245	474313.11	2226905.29	277	472653.074	2227902.16
246	474292.483	2226915.04	278	472581.45	2227947.63
247	474255.044	2226942.36	279	472592.388	2227995.13
248	474241.759	2226958.04	280	472594.615	2228029.68
249	474173.984	2227040.49	281	472562.807	2228524.31
250	474151.401	2227013.25	282	472565.242	2228690.6
251	474143.817	2227027.03	283	472430.888	2228906.78
252	474134.334	2227041.9	284	472411.473	2228993.2
253	474115.351	2227061.36	285	472496.408	2229124.81
254	474101.778	2227065.43	286	472494.42	2229241.43
255	474087.65	2227061.68	287	472436.159	2229489.88
256	474057.493	2227054.7	288	472406.078	2229699.4

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
289	472412.78	2229816.01	321	469897.443	2232482.72
290	472228.19	2229855.18	322	469689.063	2232560.82
291	472197.867	2229911.37	323	469593.478	2232552.35
292	472208.808	2229961.02	324	469044.984	2231914.17
293	472158.996	2230056.12	325	468305.976	2231647.75
294	471876.399	2229937.8	326	468140.67	2231527.13
295	471854.655	2229924.88	327	468053.72	2231492.74
296	471944.217	2230231.39	328	468083.995	2231419.27
297	471840.005	2230268.27	329	467953.573	2231369.84
298	471776.713	2230086.97	330	467908.041	2231415.27
299	471450.496	2229865.07	331	467807.796	2231240.55
300	471413.367	2229744.2	332	467809.764	2231130.42
301	471424.144	2229692.35	333	467751.174	2231162.92
302	471213.275	2229604.16	334	467722.731	2231052.84
303	470613.473	2229475.59	335	467583.74	2231070.38
304	470309.319	2229467.47	336	467561.982	2231050.98
305	470283.368	2229536.62	337	467583.631	2231012.07
306	469988.294	2229753.08	338	467507.49	2230951.75
307	469849.741	2230029.75	339	467487.859	2230908.6
308	469754.503	2230228.59	340	467498.348	2230709.91
309	469667.776	2230323.76	341	467452.629	2230656.01
310	469659.6	2230617.46	342	467254.642	2230642.32
311	469712.232	2230902.41	343	467257.455	2230612.14
312	469990.862	2231238.8	344	467104.17	2230544.62
313	470217.022	2231385.25	345	467114.871	2230516.57
314	470547.37	2231488.33	346	467071.703	2230501.67
315	470582.637	2231790.58	347	467006.839	2230455.64
316	470348.195	2231877.35	348	466931.189	2230397.04
317	470418.174	2232153.62	349	466887.703	2230330.27
318	470331.497	2232274.69	350	466876.731	2230308.69
319	470192.544	2232309.47	351	466843.916	2230212.36
320	470044.844	2232309.73	352	466801.244	2230221.51

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
353	466744.105	2230221.94	385	464531.11	2230548.77
354	466713.172	2230253.41	386	464474.273	2230527.38
355	466589.853	2230216.85	387	464359.461	2230538.77
356	466548.39	2230211.69	388	464349.28	2230482.58
357	466506.996	2230173.44	389	464486.177	2230448.18
358	466470.229	2230104.27	390	464483.902	2230337.69
359	466446.046	2230061.91	391	464245.582	2230376.44
360	466325.796	2229882.41	392	464224.432	2230225.73
361	466188.126	2229879.24	393	464276.015	2230211.14
362	466107.95	2229892.92	394	464266.253	2230175.24
363	465990.38	2229916.4	395	464338.037	2230155.72
364	465978.176	2229944.47	396	464312.981	2230034.42
365	465904.827	2229961.02	397	464413.939	2230007.53
366	465894.063	2230059	398	464112.959	2228798.16
367	465585.79	2230060.08	399	464179.043	2228704.21
368	465542.366	2230142.19	400	464554.206	2228175.37
369	465444.756	2230112.62	401	464821.229	2227732.54
370	465406.541	2230009.64	402	464583.519	2227563.71
371	465273.551	2230014.63	403	464395.536	2227397
372	465250.049	2230078.28	404	464445.126	2227194.7
373	465166.805	2230089.02	405	464520.992	2226226.4
374	465165.55	2230028.14	406	464523.551	2226181.58
375	464965.193	2230048.06	407	464842.382	2225783.23
376	464994.291	2230365.53	408	465271.692	2224723.22
377	464906.584	2230378.61	409	465246.46	2224155.3
378	464907.652	2230430.48	410	465238.946	2223352.43
379	464838.123	2230449.95	411	464776.683	2223382.37
380	464850.115	2230594.08	412	464724.83	2223193.53
381	464757.804	2230602.75	413	464574.037	2222768.1
382	464746.555	2230494.7	414	464524.928	2222604.38
383	464667.681	2230498.58	415	464573.206	2222561.38
384	464643.879	2230438.17	416	464673.969	2222524.37

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
417	464654.515	2222377.09	449	469789.504	2218114.54
418	464560.451	2222410.13	450	470263.465	2218214.25
419	464523.097	2222327.91	451	470691.707	2218299.95
420	464542.468	2222200.46	452	471220.53	2218384.43
421	464540.421	2222165.72			
422	465205.091	2220721.57			
423	465793.64	2220907.46			
424	466049.69	2220824.38			
425	466500.93	2220713.05			
426	466620.131	2220593.41			
427	466877.164	2220134.16			
428	466918.935	2219874.97			
429	467035.48	2219871.21			
430	467098.241	2219819.47			
431	467349.904	2219939.57			
432	467468.334	2219867.5			
433	467469.809	2219719.71			
434	467554.526	2219083.33			
435	467458.301	2218791.38			
436	467534.255	2218065.06			
437	467517.289	2217767.47			
438	467608.314	2217780.28			
439	467638.474	2217746.21			
440	467708.652	2217719.03			
441	467868.354	2217725.43			
442	467846.191	2217557.03			
443	468166.545	2217617.56			
444	468271.104	2217837			
445	468639.346	2217832.33			
446	468667.389	2217918.19			
447	469055.883	2217892.31			
448	469245.554	2217954.86			

Perímetro Interior 2

Vértice	Coord. X	Coord. Y	Vértice	Coord. X	Coord. Y
1	476275.269	2212259.6	37	475701.623	2213272.52
2	476327.238	2212620.2	38	475550.39	2213160.09
3	476265.952	2212620.28	39	475521.216	2213073.49
4	476284.543	2212771.95	40	475431.053	2213004.3
5	476282.956	2212806.48	41	475416.413	2212923.45
6	476267.068	2212840.62	42	475738.74	2212805.6
7	476266.673	2212850.98	43	475706.337	2212420.61
8	476268.519	2212856.66	44	475418.281	2212414.92
9	476271.994	2212858.08	45	475413.414	2212440.51
10	476284.257	2212862.73	46	475368.05	2212432.05
11	476444.606	2212852.16	47	475383.702	2212230.97
12	476271.608	2213025.82	48	475421.519	2212101.76
13	476272.432	2213030.69	49	475475.292	2211987.14
14	476275.503	2213035.56	50	475455.584	2211918.93
15	476291.666	2213053.61	51	475296.236	2211920.38
16	476313.552	2213074.09	52	475364.685	2211782.59
17	476323.813	2213109.01	53	475412.346	2211679.42
18	476322.214	2213135.41	54	475436.841	2211664.76
19	476324.099	2213169.52	55	475473.552	2211620.03
20	476337.931	2213239.17	56	475491.477	2211581.83
21	476332.549	2213489.35	57	475545.368	2211550.07
22	476214.165	2214161.15	58	475657.996	2211445.93
23	476311.15	2214180.16	59	475786.181	2211362.08
24	476244.791	2214251.18	60	475912.788	2211318.03
25	476124.344	2214336.54	61	476016.597	2211334.95
26	476024.222	2214413.21	62	476044.32	2211290.23
27	475688.676	2214409.34	63	476089.266	2211289.36
28	475600.009	2214366.14	64	476173.203	2211416.43
29	475477.806	2214232.02	65	476172.598	2211542.12
30	475375.937	2214097.87	66	476077.395	2211694.93
31	475388.771	2213927.46	67	476002.236	2211755.18
32	475427.961	2213905.75	68	475980.578	2211799.93
33	475436.243	2213855.56	69	475988.449	2211883.2
34	475462.292	2213785.85	70	476064.588	2211972.54
35	475483.227	2213694.48	71	476241.761	2212206.71
36	475501.355	2213414.32	72	476275.269	2212259.6

73	476327.238	2212620.2
----	------------	-----------

ANEXO 2. Especies por Municipio Listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 por Municipio (SEMARNAT, 2010)

Para determinar la categoría de riesgo, se utilizó el Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER) que se aplica a diversos grupos como Anfibios, Aves, Hongos, Invertebrados, Mamíferos, Peces y Reptiles. Para las Plantas, se emplea una variante específica, el Anexo Normativo II, conocido como Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de Plantas (MER-Plantas).

Estos métodos unifican criterios de decisión respecto a las categorías de riesgo, proporcionando información detallada que respalda la clasificación de cada especie en su respectiva categoría de riesgo. En este contexto, las categorías son las siguientes:

- Probablemente extinta en el medio silvestre **(E)**

Aquella especie²⁷ nativa de México cuyos ejemplares en vida libre dentro del Territorio Nacional han desaparecido, hasta donde la documentación y los estudios realizados lo prueban, y de la cual se conoce la existencia de ejemplares vivos, en confinamiento o fuera del Territorio Mexicano.

- En peligro de extinción **(P)**

Aquellas cuyas áreas de distribución o tamaño de sus poblaciones en el Territorio Nacional han disminuido drásticamente poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, debido a factores tales como la destrucción o modificación drástica del hábitat, aprovechamiento no sustentable, enfermedades o depredación, entre otros.

- Amenazadas **(A)**

Aquellas que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo, si siguen operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminuir directamente el tamaño de sus poblaciones.

- Sujetas a protección especial **(Pr)**

Aquellas que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación o la recuperación y conservación de poblaciones de especies asociadas.

No	Grupo	Especie	NOM-059	Municipio
1	Plantas	<i>Brahea dulcis</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA DE ALLENDE
2	Plantas	<i>Cupressus lusitanica lusitanica</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	ATOTONILCO DE TULA

²⁷ Se entenderá por "especie" a la definición que la NOM-059-SEMARNAT-2010 describe. Especie: la unidad básica de clasificación taxonómica, formada por un conjunto de individuos que son capaces de reproducirse entre sí y generar descendencia fértil, compartiendo rasgos fisonómicos, fisiológicos y conductuales. Puede referirse a subespecies y razas geográficas.

No	Grupo	Especie	NOM-059	Municipio
3	Plantas	<i>Cupressus lusitanica lusitanica</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA
4	Plantas	<i>Dasyllirion acrotrichum</i>	Amenazada (A)	ATOTONILCO DE TULA
5	Plantas	<i>Dasyllirion acrotrichum</i>	Amenazada (A)	TULA DE ALLENDE
6	Plantas	<i>Echinocactus platyacanthus</i>	En peligro de extinción (P)	TEPETITLAN
7	Plantas	<i>Erythrina (Erythrina) americana</i>	Amenazada (A)	TULA DE ALLENDE
8	Plantas	<i>Hymenocallis concinna</i>	En peligro de extinción (P)	TULA DE ALLENDE
9	Plantas	<i>Laelia speciosa</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	ATITALAQUIA
10	Plantas	<i>Mammillaria rhodantha</i>	Amenazada (A)	ATOTONILCO DE TULA
11	Plantas	<i>Zinnia elegans</i>	Amenazada (A)	TEZONTEPEC DE ALDAMA

No	Grupo	Especie	NOM-059	Municipio
1	Invertebrados	<i>Danaus plexippus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA DE ALLENDE
2	Invertebrados	<i>Danaus plexippus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	ATOTONILCO DE TULA
3	Invertebrados	<i>Danaus plexippus plexippus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA DE ALLENDE

No	Grupo	Especie	NOM-059	Municipio
1	Peces	<i>Girardinichthys viviparus</i>	En peligro de extinción (P)	TULA DE ALLENDE
2	Peces	<i>Ictalurus mexicanus</i>	Amenazada (A)	TEZONTEPEC DE ALDAMA

No	Grupo	Especie	NOM-059	Municipio
1	Anfibios	<i>Dryophytes plicatus</i>	Amenazada (A)	TLAHUELILPAN
2	Anfibios	<i>Dryophytes plicatus</i>	Amenazada (A)	TLAHUELILPAN
3	Anfibios	<i>Lithobates berlandieri</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TEPETITLAN
4	Anfibios	<i>Lithobates megapoda</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TEPETITLAN
5	Anfibios	<i>Lithobates montezumae</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TEZONTEPEC DE ALDAMA
6	Anfibios	<i>Lithobates montezumae</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TEZONTEPEC DE ALDAMA
7	Anfibios	<i>Lithobates montezumae</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA DE ALLENDE

No	Grupo	Especie	NOM-059	Municipio
8	Anfibios	<i>Lithobates neovolcanicus</i>	Amenazada (A)	TULA DE ALLENDE

No	Grupo	Especie	NOM-059	Municipio
1	Reptiles	<i>Barisia imbricata</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA DE ALLENDE
2	Reptiles	<i>Conopsis biserialis</i>	Amenazada (A)	TULA DE ALLENDE
3	Reptiles	<i>Crotalus molossus molossus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TEPETITLAN
4	Reptiles	<i>Crotalus scutulatus scutulatus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA DE ALLENDE
5	Reptiles	<i>Crotalus scutulatus scutulatus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA DE ALLENDE
6	Reptiles	<i>Kinosternon integrum</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA DE ALLENDE
7	Reptiles	<i>Phrynosoma orbiculare</i>	Amenazada (A)	TLAXCOAPAN
8	Reptiles	<i>Pituophis deppei</i>	Amenazada (A)	TULA DE ALLENDE
9	Reptiles	<i>Pituophis deppei</i>	Amenazada (A)	TEZONTEPEC DE ALDAMA
10	Reptiles	<i>Pituophis deppei</i>	Amenazada (A)	ATOTONILCO DE TULA
11	Reptiles	<i>Pituophis deppei jani</i>	Amenazada (A)	TEZONTEPEC DE ALDAMA
12	Reptiles	<i>Sceloporus grammicus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	ATITALAQUIA
13	Reptiles	<i>Sceloporus grammicus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TEPETITLAN
14	Reptiles	<i>Sceloporus grammicus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA DE ALLENDE
15	Reptiles	<i>Sceloporus grammicus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	ATOTONILCO DE TULA
16	Reptiles	<i>Sceloporus grammicus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA DE ALLENDE
17	Reptiles	<i>Thamnophis melanogaster</i>	Amenazada (A)	TEPETITLAN

No	Grupo	Especie	NOM-059	Municipio
1	Aves	<i>Accipiter cooperii</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TEZONTEPEC DE ALDAMA
2	Aves	<i>Accipiter cooperii</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	ATOTONILCO DE TULA
3	Aves	<i>Accipiter striatus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA DE ALLENDE
4	Aves	<i>Accipiter striatus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA
5	Aves	<i>Amazona autumnalis</i>	Amenazada (A)	TULA DE ALLENDE
6	Aves	<i>Amazona autumnalis</i>	Amenazada (A)	TULA

No	Grupo	Especie	NOM-059	Municipio
7	Aves	<i>Amazona oratrix</i>	En peligro de extinción (P)	TULA DE ALLENDE
8	Aves	<i>Anas diazi</i>	Amenazada (A)	TEPEJI DEL RIO DE OCAMPO
9	Aves	<i>Anas diazi</i>	Amenazada (A)	TULA DE ALLENDE
10	Aves	<i>Buteo albonotatus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA DE ALLENDE
11	Aves	<i>Buteo lineatus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA DE ALLENDE
12	Aves	<i>Falco peregrinus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA DE ALLENDE
13	Aves	<i>Geothlypis tolmiei</i>	Amenazada (A)	TULA DE ALLENDE
14	Aves	<i>Geothlypis tolmiei</i>	Amenazada (A)	TLAHUELILPAN
15	Aves	<i>Tachybaptus dominicus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA DE ALLENDE
16	Aves	<i>Tachybaptus dominicus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TEZONTEPEC DE ALDAMA
17	Aves	<i>Tachybaptus dominicus</i>	Sujeta a protección especial (Pr)	TULA DE ALLENDE

No	Grupo	Especie	NOM-059	Municipio
1	Mamíferos	<i>Cratogeomys fumosus tylosinus</i>	Amenazada (A)	TULA DE ALLENDE

ANEXO 3. Especies Exóticas Invasoras, con Distribución Potencialmente en la Propuesta de ZRE

Grupo	Especie válida	Exótica-Invasora
Aves	<i>Bubulcus ibis</i>	Exótica-Invasora
Aves	<i>Columba livia</i>	Exótica-Invasora
Aves	<i>Myiopsitta monachus</i>	Exótica-Invasora
Aves	<i>Passer domesticus</i>	Exótica-Invasora
Aves	<i>Streptopelia decaocto</i>	Exótica-Invasora
Aves	<i>Sturnus vulgaris</i>	Exótica-Invasora
Invertebrados	<i>Cornu aspersum</i>	Exótica-Invasora
Invertebrados	<i>Harmonia axyridis</i>	Exótica-Invasora
Invertebrados	<i>Rumina decollata</i>	Exótica-Invasora
Mamíferos	<i>Felis catus</i>	Exótica-Invasora
Peces	<i>Ctenopharyngodon idella</i>	Exótica-Invasora
Peces	<i>Cyprinus carpio</i>	Exótica-Invasora
Peces	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	Exótica-Invasora
Peces	<i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	Exótica-Invasora
Peces	<i>Megalobrama amblycephala</i>	Exótica-Invasora
Plantas	<i>Arundo donax</i>	Exótica-Invasora
Plantas	<i>Asphodelus fistulosus</i>	Exótica-Invasora
Plantas	<i>Canna indica</i>	Exótica-Invasora
Plantas	<i>Cortaderia selloana</i>	Exótica-Invasora
Plantas	<i>Cynoglossum amabile</i>	Exótica-Invasora
Plantas	<i>Eichhornia crassipes</i>	Exótica-Invasora
Plantas	<i>Erodium cicutarium</i>	Exótica-Invasora
Plantas	<i>Erodium malacoides</i>	Exótica-Invasora
Plantas	<i>Euphorbia terracina</i>	Exótica-Invasora
Plantas	<i>Leonotis nepetifolia</i>	Exótica-Invasora
Plantas	<i>Melaleuca citrina</i>	Exótica-Invasora
Plantas	<i>Melinis repens</i>	Exótica-Invasora
Plantas	<i>Polypogon monspeliensis</i>	Exótica-Invasora
Plantas	<i>Ricinus communis</i>	Exótica-Invasora
Plantas	<i>Senecio inaequidens</i>	Exótica-Invasora
Plantas	<i>Thunbergia alata</i>	Exótica-Invasora
Plantas	<i>Zantedeschia aethiopica</i>	Exótica-Invasora
Reptiles	<i>Indotyphlops braminus</i>	Exótica-Invasora

ANEXO 4. Especificaciones del Estudio en Materia de Aire

A) NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE

La literatura científica ha documentado una amplia gama de efectos en la salud provocados por la exposición a contaminantes del aire, tales como: asma, bronquitis, reducción de la capacidad pulmonar, enfermedades cardíacas, cardiovasculares, cerebro-vasculares, reproductivos, neurológicos, nacimientos prematuros, retraso en el crecimiento intrauterino, bajo peso al nacer, síndrome de muerte temprana y mortalidad infantil (Kampa, 2008; Anderson, 2012 y Kim, 2015), así como aparición temprana de Alzheimer, entre otros (Calderón-Garcidueñas et al., 2020).

Para proteger la salud humana, los gobiernos en muchos países del mundo controlan los niveles de contaminantes atmosféricos utilizando diversas herramientas normativas. Entre éstas se encuentran las normas de calidad del aire, también conocidas como normas de salud ambiental, las cuales establecen concentraciones aceptables para la población en términos de los riesgos que los contaminantes representan para la salud humana. Así, dichas normas definen las concentraciones aceptables durante diferentes periodos de exposición.

En nuestro país, la Secretaría de Salud es el órgano responsable de evaluar la evidencia de los impactos de la contaminación atmosférica en la salud y establecer los límites permisibles de concentración de los contaminantes en la atmósfera. La Tabla 45 titulada “Normas Oficiales Mexicanas y sus actualizaciones” resume la cronología de la actualización de las Normas Oficiales Mexicanas de salud ambiental para los diferentes contaminantes. Se destacan los indicadores con los que se evalúa el cumplimiento de dichas normas y periodo para el que aplican tales indicadores. Se muestra además el valor límite permisible de protección a la salud de la población y el tiempo promedio para su cálculo.

En este sentido, la Secretaría de Salud expide las normas de calidad del aire, en las que se establecen los valores normados para la concentración de contaminantes en aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población (Tabla 45), de conformidad con lo establecido en el Artículo 118 fracción I de la Ley General de Salud.

Con el paso del tiempo, para procurar la salud de las comunidades, los valores de los límites permisibles se han actualizado, y específicamente se ha reducido el valor límite de concentración, para adecuarlos a valores que protejan la salud humana, como se muestra en la Tabla 45, esta labor se ha realizado por grupos interdisciplinarios en los que la SEMARNAT ha participado.

Tabla 45. Normas Oficiales Mexicanas y sus actualizaciones

Contaminante	NOM	Publicación	Estatus	Años en los que aplica	Valor límite y tiempo para el promedio
Ozono (O₃)	NOM-020-SSA1-2021	28 de octubre de 2021	Vigente	A partir de 2021	0.09 ppm, 1h
					0.065 ppm, 8h

	NOM-020-SSA1-2014	19 de agosto de 2014	Derogada	2014 a 2021	0.095 ppm, 1h 0.070 ppm, 8h
	Modificación a la NOM-020-SSA1-1993	30 de octubre de 2002	Derogada	2003 a 2014	0.110 ppm, 1h 0.080 ppm, 8h
	NOM-020-SSA1-1993	23 de diciembre de 1994	Derogada	1994 a 2002	0.110 ppm, 1h
Monóxido de carbono (CO)	NOM-021-SSA1-2021	29 de octubre de 2021	Vigente	A partir de 2021	26 ppm, 1h 9 ppm, 8h
	NOM-021-SSA1-1993	23 de diciembre de 1994	Derogada	1994 a 2021	11.0 ppm, 8h
Dióxido de azufre (SO₂)	NOM-022-SSA1-2019	20 de agosto de 2019	Vigente	A partir de 2020	0.075 ppm, 1h 0.04 ppm, 24h
	NOM-022-SSA1-2010	8 de septiembre de 2010	Derogada	2011 a 2020	0.110 ppm, 24 h
					0.200 ppm, 8h 0.025 ppm, anual
	NOM-022-SSA1-1993	23 de diciembre de 1994	Derogada	1994 a 2011	0.130 ppm, 24h 0.030 ppm, anual
Dióxido de nitrógeno (NO₂)	NOM-023-SSA1-2021	27 de octubre de 2021	Vigente	A partir de 2021	0.106, 1h 0.021, anual
	NOM-023-SSA1-1993	23 de diciembre de 1994	Derogada	1994 a 2021	0.210 ppm, 1h
Partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀)	NOM-025-SSA1-2021	27 de octubre de 2021	Vigente	A partir de 2021	70 µg/m ³ , 24h 36 µg/m ³ , anual
	NOM-025-SSA1-2014	20 de agosto de 2014	Derogada	2014 a 2021	75 µg/m ³ , 24 h
					40 µg/m ³ , anual
	Modificación a la NOM-025-SSA1-1993	26 de septiembre de 2005	Derogada	2005 a 2014	120 µg/m ³ , 24h 50 µg/m ³ , anual
NOM-025-SSA1-1993	23 de diciembre de 1994	Derogada	1994 a 2005	150 µg/m ³ , 24 h 50 µg/m ³ , anual	
Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5})	NOM-025-SSA1-2021	27 de agosto de 2021	Vigente	A partir de 2021	41 µg/m ³ , 24h 10 µg/m ³ , anual
	NOM-025-SSA1-2014	20 de agosto de 2014	Derogada	2014 a 2021	45 µg/m ³ , 24h 12 µg/m ³ ,

					anual
	Modificación a la NOM-025-SSA1-1993	26 de septiembre de 2005	Derogada	2005 a 2014	65 µg/m
					15 µg/m ³ , anual

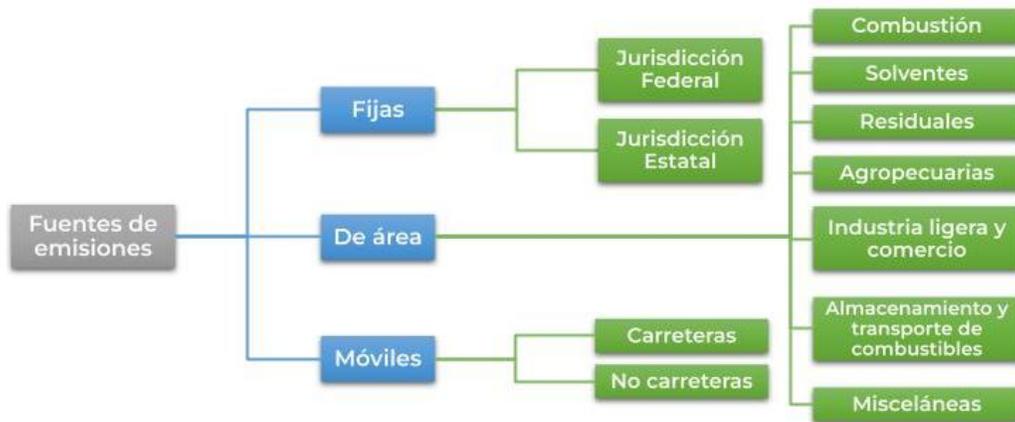
B) INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES

Las emisiones de contaminantes provenientes de las distintas fuentes ubicadas en una zona o región, dependiendo de la cantidad de emisiones y de las condiciones orográficas y meteorológicas donde se encuentran, pueden alcanzarse concentraciones de estos contaminantes en el aire ambiente perjudiciales para el medio ambiente y la salud de la población.

Para proteger la calidad del aire, el gobierno federal y los gobiernos locales (estatales y municipales), de conformidad con lo establecido en los artículos 111 y 112 de la LGEEPA, tienen la atribución de establecer acciones para la prevención y control de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de distintas fuentes de contaminación, a través de diversas herramientas normativas y regulatorias.

Las emisiones de contaminantes a la atmósfera se clasifican por fuente de emisión, de acuerdo con la siguiente clasificación²⁸ (Figura 58).

Figura 58. Fuentes antropogénicas, categorías y subcategorías del inventario de emisiones



²⁸ En el inventario de emisiones se clasifican tres fuentes de emisiones antropogénicas de contaminantes:

- Fijas: Instalaciones de ubicación fija, que tienen como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales de manufactura.
- De Área: Fuentes pequeñas, numerosas y dispersas (comercios, servicios, casas habitación, entre otros) que colectivamente representan un porcentaje significativo de las emisiones de contaminantes.
- Móviles: Vehículos con motores de combustión que circulan por vías de comunicación (tractocamiones, autobuses, camiones, automóviles, motocicletas) u operan fuera de carretera (aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, embarcaciones, equipo y maquinarias).

El INEM establece tres tipos de fuentes antropogénicas de contaminantes:

- **Fuentes fijas.** Son las instalaciones de ubicación fija, que tienen como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales de manufactura las cuales pueden generar emisiones contaminantes a la atmósfera.
- **Fuentes de área.** Representan aquellas fuentes pequeñas, numerosas y dispersas, y no pueden ser incluidas de manera eficiente en un inventario de fuentes fijas, sin embargo, colectivamente las fuentes de área representan un porcentaje significativo de las emisiones de contaminantes. En las fuentes de área se incluyen los comercios, servicios, casas habitación, actividades agrícolas, entre otros.
- **Fuentes móviles (carreteras y no carreteras).** Se trata de los vehículos con motores de combustión y similares, que debido a su funcionamiento generan o pueden generar emisiones contaminantes a la atmósfera. Las fuentes móviles carreteras incluyen: tractocamiones, autobuses, camiones, automóviles, motocicletas; mientras que las fuentes móviles no carreteras comprenden: aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, embarcaciones, equipo y maquinarias.

El INEM comprende información de las emisiones a la atmósfera de contaminantes clasificados como criterio: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) y partículas con diámetro aerodinámico menor a 10 y 2.5 micrómetros (PM10 y PM2.5), compuestos orgánicos volátiles (COV) y amoníaco (NH₃), emitidos por las distintas fuentes. En el caso del contaminante criterio ozono (O₃), el INEM comprende la estimación de sus dos principales precursores: óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles.

ANEXO 5. Superficie de los Núcleos Agrarios por municipio en la propuesta de la ZRE

MUNICIPIO	Núcleo Agrario	Superficie (m2)
ATITALAQUIA	ATITALAQUIA	434.862
	SAN JERONIMO TLAMACO	234.316
	SAN JOSE BOJAY	16.792
ATOTONILCO DE TULA	ATOTONILCO DE TULA	280.784
	CAÑADA	19.438
	OCAMPO	10.224
	PROGRESO	2.690
	ZACAMULPA	1.503
NAUCALPAN DE JUAREZ	SANTIAGO OCIPACO	86.205
TEPEJI DEL RIO DE OCAMPO	MELCHOR OCAMPO ANTES EL SALTO	125.848
	SAN ILDEFONSO	48.928
	TEPEJI DEL RIO	0.080
TEPETITLAN	LA LOMA	96.007
	SAN MATEO	88.515
	SAN PEDRO NEXTLALPAN	1.478
	SANTA MARIA DAXTHO	168.909
TETEPANGO	ULAPA MELCHOR OCAMPO	0.250
TEZONTEPEC DE ALDAMA	SAN GABRIEL	31.065
	TEZONTEPEC DE ALDAMA	315.464
TLAHUELILPAN	SAN FRANCISCO TLAHUELILPAN	100.329
TLAXCOAPAN	SAN BARTOLOME DOXEY	10.212
	TLAXCOAPAN	18.014
TULA DE ALLENDE	ACOCULCO DE TULA	63.126
	BOMINTZHA	91.384
	EL LLANO	70.938
	HUERTO NANTZA	647.879
	IGNACIO ZARAGOZA	171.505
	MICHIMALOYA	103.104
	PUEBLO NUEVO DE JASSO	355.306
	SAN FRANCISCO BOJAY	442.317
	SAN LORENZO	245.900
	SAN LUCAS TEACALCO	17.524
	SAN MIGUEL DE LAS PIEDRAS	59.200
	SAN MIGUEL VINDHO	166.396
	SAN PEDRITO ALPUYECA	160.584

	SANTA ANA AHUEHUEPAN	530.111
	SANTA MARIA ILUCAN	745.773
	SANTA MARIA MICHIMALTONGO II	100.384
	TULA DE ALLENDE	768.620
	XIJAY DE CUAUHEMOC	59.600
	XITEJE	257.170
	XITEJE DE ZAPATA	10.434
Total general		7,159.168