



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**“Delimitación de zonas prioritarias para el monitoreo de  
metales pesados en la Región de Emergencia Sanitaria y  
Ambiental Valle del Mezquital, Hidalgo”**

**T E S I S I N A**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**P R E S E N T A:**

Itzel Nieto Pérez



Asesor:

Carles Canet Miquel

Ciudad Universitaria, CD. MX., 2023



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno

Nieto

Pérez

Itzel

771 134 3778

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Ciencias de la Tierra

414056455

2. Datos del tutor

Dr.

Carles

Canet

Miquel

3. Datos del sinodal 1

Dra.

Ofelia

Morton

Bermea

4. Datos del sinodal 2

Dr.

Juan Pablo

Bernal

Uruchurtu

5. Datos del sinodal 3

Dr.

Rodolfo Omar

Arellano Aguilar

6. Datos del sinodal 4

Dra.

María Aurora

Armienta

Hernández

7. Datos del trabajo escrito

Delimitación de zonas prioritarias para el monitoreo de metales pesados  
en la Región de Emergencia Sanitaria y Ambiental Valle del Mezquital, Hidalgo

68 p

2023

## Dedicatoria

*A mi mamá por el sentido de lucha que siempre ha transmitido y su amor infinito...*

*A mi papá, por creer en mí...*

*A Kumi, por darme valor desde el día en que llegó al mundo.*

## **Agradecimientos**

Esta tesina no hubiera sido posible sin la Dra. María de la Luz Hernández Flores, quien sin conocerme me brindó un espacio para aprender y trabajar. Quien, sin saberlo, me ayudó a encontrar el amor por mi profesión. Gracias por compartir su experiencia, conocimientos y este proyecto de investigación conmigo.

Al Dr. Carles Canet, por su disposición para asesorarme en este proceso, su invaluable insistencia para apurar la burocracia y sus consejos.

Al Dr. Mauricio Galeana de CentroGeo por facilitar el uso de su modelo de accesibilidad durante el proyecto.

A Evelin, Axel y Jesús. Quienes me acompañaron y ayudaron durante el desarrollo del proyecto.

A mis amigos terrólogos y sus respectivos padres por hacer de mi vida universitaria un recuerdo imborrable.

A mis abuelos que abrieron la brecha para que sus hijos acudieran a la escuela a pesar de la pobreza que les aquejaba. Este trabajo también es de ustedes.

A la educación pública y gratuita de mi país, por ofrecerme tantísimas oportunidades.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos del proyecto de investigación	3
1.3.1 Hipótesis	3
1.3.2 Objetivo general	3
1.3.3 Objetivos específicos	3
1.4 Descripción de la zona de estudio y su problemática ambiental y social	6
1.4.1 Clima	6
1.4.2 Edafología	6
1.4.3 Hidrología	6
1.4.4 Geología	7
1.4.5 Sociodemografía	7
1.4.6 Principales actividades económicas	8
1.5 Antecedentes	8
2. METODOLOGÍA	9
2.1 Delimitación de la RESA Valle del Mezquital	9
2.2 Evaluación de la percepción social de la contaminación	10
2.2.1 Categorización de la percepción de las fuentes de contaminación	12
2.2.2 Índice de percepción de contaminación por aguas residuales (IPCAR)	12
2.2.3 Percepción de las enfermedades asociadas a la contaminación	13
2.3 Generación de la base de datos	15
2.3.1 Obtención de datos de contaminantes	15
2.3.2 Generación de un panel de datos y su categorización	17
2.4 Georreferenciación y clasificación de las fuentes contaminantes	18
2.5 Creación de polígonos de influencia para las localidades de la RESA	20
2.6 Mapeo de la accesibilidad a las fuentes de contaminación	22

2.7 Generación del índice de vulnerabilidad	22
2.8 Análisis geoestadístico de metales pesados	23
2.9 Delimitación de áreas prioritarias para establecer mecanismos de compensación por daño ambiental	24
3. RESULTADOS	24
3.1 Estadísticas de la base de datos	24
3.1.1 Distribución de los contaminantes en la RESA Valle del Mezquital.	27
3.2 Resultados de la encuesta	28
3.2.1 Percepción de las fuentes de contaminación	29
3.2.2 Percepción de la contaminación por aguas residuales	34
3.2.3 Percepción de las enfermedades asociadas a la contaminación	35
3.2.4 Agrupamiento de las fuentes contaminantes (componentes)	37
3.3 Accesibilidad a las fuentes de contaminación	40
3.4 Índice de vulnerabilidad	42
3.5 Distribución geoestadística de metales pesados y su relación con los demás indicadores del estudio	43
4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	46
5. REFERENCIAS	48
6. BIBLIOGRAFÍA	54
7. ANEXOS	55
Anexo 1. Encuesta de percepción de contaminantes	55
Anexo 2. Clasificación de compuestos reportados en la RESA de acuerdo a Galvín (2017)	65
Anexo 3. Gráfica de percepción vs. Vulnerabilidad	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Distritos de riego de la RESA del Valle del Mezquital, Hgo. Elaborada con datos del SINA 2022. ....	7
Tabla 2 Variables utilizadas para la correlación espacial. ....	10
Tabla 3 Variables y parámetros utilizados para generar el IPCAR. ....	13
Tabla 4 Clasificación de los padecimientos que la población asocia a la contaminación. ....	14
Tabla 5 Contaminantes reportados por autor. ....	15
Tabla 6 Escala de concentración de contaminantes utilizada para realizar el índice. Fuente: elaboración propia. ....	18
Tabla 7 Principales unidades económicas contaminantes de la RESA. ....	19
Tabla 8 Número de concentraciones recabadas por grupo de contaminantes ....	25
Tabla 9 Descripción del número de respuestas y media de la percepción de la contaminación por localidad. ....	29
Tabla 10 Percepción de la presencia de fuentes de contaminación. ....	31
Tabla 11. Media de la percepción de la cercanía a una fuente de contaminación. ....	32
Tabla 12 Resultados del ACP para el agrupamiento de fuentes de contaminación. ....	37
Tabla 13 Localidades vulnerables por municipio. Fuente: elaboración propia. ....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación y delimitación del área de estudio. ....	5
Figura 2 Carteles promocionales de la encuesta ....	12
Figura 3 Polígonos adecuados a la zona de influencia de cada localidad. ....	21
Figura 4 Número de muestras reportadas por tipo de matriz. ....	24
Figura 5 Localización geográfica de los sitios de muestreo clasificados por grupo de contaminantes. ....	26
Figura 6 Mapa del índice de contaminación por sitio de muestreo reportado en literatura científica. Fuente: Elaboración propia con base a los resultados de la base de datos de contaminantes de la RESA. ....	27
Figura 7 Grado de percepción de contaminación por aguas residuales (IPCAR). Fuente: elaboración propia. ....	34
Figura 8 Porcentaje de padecimientos reportados por categoría. Fuente: elaboración propia con base en los resultados de la encuesta de percepción ciudadana. ....	35



Figura 9 Incidencia de padecimientos por municipio y categoría. Fuente: elaboración propia. ....	36
Figura 10 Localización de los grupos (componentes) de fuentes de contaminación. Fuente: elaboración propia con base en los datos del DENUE 2020 y datos vectoriales propios. ....	38
Figura 11 Representación geográfica de la accesibilidad por cada grupo (componente) de fuentes contaminantes. Fuente: elaboración propia. ....	41
Figura 12 Mapa del índice de vulnerabilidad social a la contaminación con las localidades como unidades de análisis. Fuente: elaboración propia. ....	42
Figura 13 Distribución de los rangos de concentración de metales pesados en la RESA. Fuente: elaboración propia. ....	43
Figura 14 Ubicación de las localidades socialmente vulnerables por la posible presencia de metales pesados. Fuente: elaboración propia. ....	44

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

Las Regiones de Emergencia Sanitaria y Ambiental (RESA)<sup>1</sup> son aquellos territorios *donde los agentes tóxicos y los procesos contaminantes coinciden y se relacionan con dinámicas capitalistas*, de acuerdo con la Dra. María Elena Álvarez-Buylla durante su participación en el webinar PRONACES “Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes” organizado por CONACyT en 2021. A nivel nacional, se han identificado 50 RESAs que padecen problemas de contaminación complejos ya que sobre ellas se superponen diversos procesos de emisiones y vertidos de contaminantes a gran escala (Barreda, 2021). Tal es el caso del Valle del Mezquital, Hidalgo, una de las regiones afectadas por las externalidades de la enorme población de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

En particular la RESA del Valle del Mezquital presenta uno de los cuadros más graves del país en términos de contaminación de zonas de cultivo por el empleo de aguas residuales no tratadas. Aunque hay evidencia de la problemática ambiental (Acosta, 2007; Almanza, 2013; Bautista-Olivas, 2017; Cabrera, 2003; Cabrera 2004; Cajuste, 1991; Campos-Reynoso, 2013; Chávez et al. 2011; Cornejo, 2008; Díaz & Peña-Álvarez, 2017; Flores-Magdaleno, 2011; Franchini, 2015; Gibson et al. 2010; Guedrón, 2014; Hernández-Silva, 1994; Jiménez, 2008; Lara-Viveros, 2015; Lesser, 2011 y 2018; Martínez-Carrillo, 2010; Pérez et al., 2010; Prieto-García, 2005, 2007, 2010 y 2015; Rodríguez-Rivera y Carlos, 2017; Siebe, 1994; Vázquez-Alarcón, 2001), se desconoce realmente la magnitud del problema. Una de las principales causas de ello es la falta de diagnósticos, debido, en buena parte, a la escasez de muestreos y/o monitoreos periódicos de las zonas contaminadas, ya que estas son muy extensas, difíciles de acceder y de riesgo sanitario (García-Salazar, 2019).

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar las labores de investigación realizadas dentro de la consultoría ambiental INABISA A.C. para la propuesta CONACyT 310-007 “Enfoque multidisciplinario para el monitoreo y diagnóstico ambiental de contaminantes prioritarios en la Región de Emergencia Ambiental (REA)<sup>2</sup> del Valle del Mezquital, Hidalgo, para el mejoramiento de las políticas

---

<sup>1</sup> El 13 de julio de 2022 se firmó el convenio Marco de colaboración CONACyT-INSP en el cual se establecieron las Regiones de Emergencia Sanitaria y Ambiental, que hasta entonces se conocían como Regiones de Emergencia Ambiental.

<sup>2</sup> El proyecto se elaboró en 2020, antes de la nueva denominación establecida en el convenio marco CONACyT-INSP

públicas”, en la cual se realizaron las actividades de apoyo a la investigación que integran esta tesina.

El objetivo del proyecto fue identificar zonas prioritarias para el seguimiento de contaminantes en la RESA del Valle del Mezquital, a través de (a) la recopilación de concentraciones de distintos compuestos obtenidas de artículos científicos, (b) el desarrollo de estrategias de participación ciudadana y (c) el geoprocesamiento de datos socioambientales, para georreferenciar las áreas del territorio donde confluyen las externalidades, emisiones de contaminantes y baja resiliencia de las poblaciones; de manera que se prioricen estas zonas en la aplicación de soluciones.

En este escrito se describe la metodología utilizada para obtener información sobre la percepción social de la contaminación y la generación de los índices de vulnerabilidad y accesibilidad, así como la elaboración de la base de datos de contaminantes para la zona. Como parte final del trabajo se describe una parte de los resultados obtenidos y las conclusiones elaboradas a partir de los mismos. Como parte del apoyo a la investigación se realizaron las siguientes actividades: la revisión de literatura científica, la generación y limpieza de bases de datos y los análisis estadísticos de los mismos. Definición de los límites de las localidades mediante polígonos de Thiessen y la cartografía de los resultados.

## **1.2 Justificación**

Localizado en el centro de México, en la porción suroeste del estado de Hidalgo se ubica el Valle del Mezquital, una de las diez regiones geoculturales de la entidad (Secretaría de Cultura Hidalgo, 2022), en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico. Es considerada una de las regiones más contaminadas de México, y la más contaminada del estado de Hidalgo (Broszat *et al.*, 2014), al presentar contaminación de los suelos por metales pesados (Lara-Viveros *et al.*, 2015) y compuestos orgánicos (Chávez *et al.*, 2011; Lesser *et al.*, 2018; Chávez-Mejía *et al.*, 2019), entre otros.

El tipo de industrias en el área va desde la producción de materias primas (material para construcción diverso, pinturas, textiles y alimentos), hasta la manufactura. A lo que se suma la presencia de empresas turísticas de alto impacto, como los grandes balnearios del corredor hidalguense y la refinería de Tula (Calzada, 2010). Por su parte, las industrias cementeras generan contaminación como resultado de las malas prácticas de fabricación (Martínez, 2018), mediante el uso de hornos para la fabricación de cemento, en donde se ha descrito la formación de dioxinas y furanos que si no son controlados en los límites de la zona industrial, generan importantes daños a la salud pública (Hernández-Arellano, 2020).

Por su parte, la industria energética ocasiona problemas de contaminación debido a la cantidad de combustibles que se consumen y la larga vida útil de estos proyectos, en muchos casos superior a los cincuenta años (Iniciativa Climática de México, 2021).

La RESA Valle del Mezquital ha sido ampliamente estudiada en cuanto a la concentración de sustancias nocivas; se tienen datos de 41 estudios publicados, desde 1991 hasta el año 2020, enfocados a la identificación del riesgo, tipo y distribución de contaminantes. Resalta que, hasta la fecha, ninguno rescata las aportaciones previas para generar herramientas que identifiquen zonas prioritarias para aplicar soluciones técnicas a esta problemática tan compleja. Esto último es particularmente relevante en espacios de alta marginación, donde las capacidades de los individuos para enfrentar la contaminación se ven opacadas por la falta de servicios básicos e infraestructura de saneamiento.

Para identificar estas zonas, se propuso tomar en cuenta factores como: la cercanía a las industrias generadoras de contaminantes, la topografía, y los niveles de contaminantes reportados en estudios previos. Pero, además, se consideró relevante cruzar estos datos con el perfil socioeconómico de los afectados, con el objetivo de estudiar el grado de resiliencia de las poblaciones humanas ante la exposición a estos agentes, de manera que se pueda incidir en políticas públicas que compensen el daño a los habitantes de estas zonas.

### **1.3 Objetivos del proyecto de investigación**

#### **1.3.1 Hipótesis**

A partir de la percepción social de los contaminantes, las características socioeconómicas y de una base de datos recopilada de estudios previos, se pueden determinar zonas prioritarias para el monitoreo de contaminantes en la Región de Emergencia Sanitaria y Ambiental del Valle del Mezquital.

#### **1.3.2 Objetivo general**

Identificar zonas prioritarias para el monitoreo de contaminantes en la RESA Valle del Mezquital.

#### **1.3.3 Objetivos específicos**

- Evaluar la percepción social de los contaminantes en la RESA
- Generar una base de datos con base en la recopilación de estudios previos

- Generar un índice de vulnerabilidad de acuerdo a las características socioeconómicas de la población de la RESA
- Proponer áreas para la aplicación de mecanismos de compensación por daño ambiental

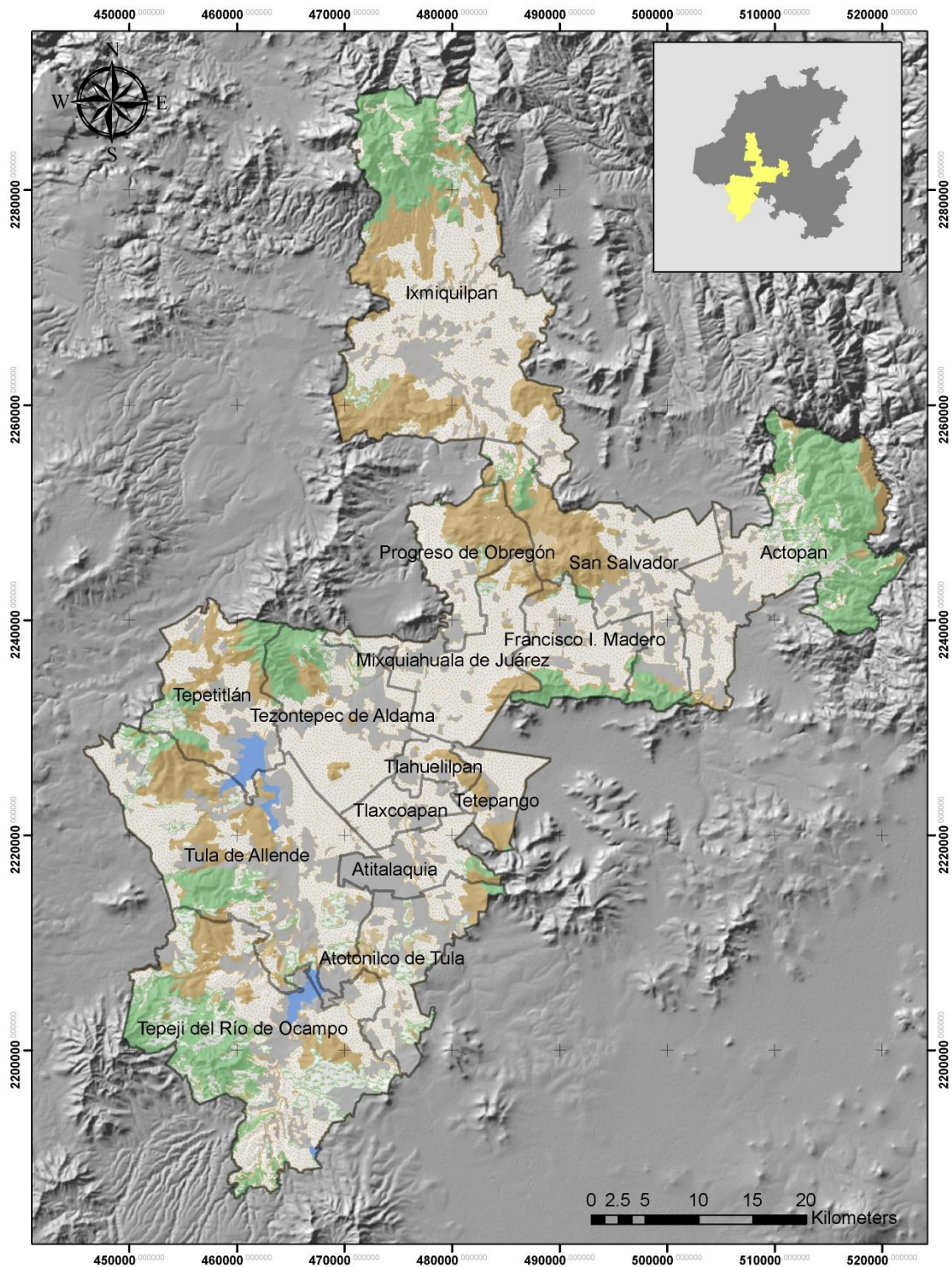


Figura 1 Ubicación y delimitación del área de estudio.

Fuente: elaboración propia.

## **1.4 Descripción de la zona de estudio y su problemática ambiental y social**

La RESA del Valle del Mezquital (figura 1) está compuesta en total por 28 municipios del Estado de Hidalgo y 7 del Estado de México, así como una parte del de San Juan del Río en Querétaro. Sin embargo, para fines de este estudio, la RESA del Valle del Mezquital se compone de 15 municipios: Actopan, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Francisco I. Madero, Ixmiquilpan, Mixquiahuala de Juárez, Progreso de Obregón, San Salvador, Tepeji del Río de Ocampo, Tepetitlán, Tetepango, Tezontepec de Aldama, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan y Tula de Allende.

En total tiene 2,557 km<sup>2</sup> de extensión, lo que representa al 12.2% de la entidad. Se encuentra en las provincias del Eje Neovolcánico y Sierra Madre Oriental, en la Región Xerofítica Mexicana del Reino Neotropical (Rzedowski, 1978).

### **1.4.1 Clima**

El clima regularmente es seco con lluvias en verano de acuerdo a la clasificación de Köppen, con temperaturas y precipitaciones promedio anual de 24°C y 550 mm; con temporadas de lluvias entre los meses de mayo a octubre, contrario a los meses de noviembre a abril que son considerados los meses de temporada seca (Chimal-Sánchez *et al.*, 2015). Debido a un efecto de sombra orográfica de las elevaciones de la Sierra Madre Oriental que detiene la humedad en la sierra norte y oriental, la presencia de agua es limitada en la zona. De acuerdo con esto, la temperatura se incrementa cuatro grados (de los 14° hasta los 18° C) en una dirección de suroeste a noreste, mientras que la precipitación pluvial disminuye a la mitad (de 800 a 400 mm anuales) en la misma dirección (López-Aguilar, 2019).

### **1.4.2 Edafología**

De acuerdo a los datos publicados por (CONABIO, 2022), los suelos que predominan en la RESA del Valle del Mezquital son los feozem (calcárico y háplico) con rendzinas en el área de Ixmiquilpan, Mixquiahuala y Tula, litosoles en las proximidades de Tlaxcoapan, Debohdé y Tepeitic; y vertisoles entre Tecozautla y Alfajayucan (López-Aguilar, 2019).

### **1.4.3 Hidrología**

La RESA del Valle del Mezquital se encuentra en la región hidrológica 26 Río Pánuco sobre 19 subcuencas (CONABIO, 2022). Se presentan 4 ríos perennes: Río Amajac, Río Salado, Río Coscomate y el Río Tula, además de presentar 18 afluentes (Arroyo Grande, Durango, El Capuli, El Marqués, El oro, El Sabio, La Soledad, Las Mecas, Las Milpitas, Los Arcos, Los Fresnos, Los Sabios, Papalotes Y Puerta de la Cantera, Rosas, Senté, Tepetitla y Xadhé).

*Tabla 1 Distritos de riego de la RESA del Valle del Mezquital, Hgo. Elaborada con datos del SINA 2022.*

<b>Distrito de riego</b>	<b>Volumen recibido en miles de Hm3</b>
DR 03 Tula	998.8
DR 100 Alfajayucan	499.5
DR 112 Ajacuba	45.4

Fuente: elaboración propia.

Dentro de la RESA se encuentran tres distritos de riego, cuyos nombres y volúmenes se muestran en la tabla 1.

#### **1.4.4 Geología**

Geológicamente, la RESA se compone mayormente de depósitos lacustres y aluviales del Cenozoico y Mesozoico en los límites de la parte noreste de la zona de estudio. Las demás porciones del paisaje se caracterizan por andesita-dacita y caliza-brecha sedimentaria al noreste, al noroeste caliza-lutita, lacustre, toba riolítica-toba dacítica y lutita-caliza, al sureste lacustre y andesita-basalto y al suroeste andesita-basalto, lacustre, andesita-dacita y basalto.

#### **1.4.5 Sociodemografía**

El perfil sociodemográfico de la RESA se compone de un total de 728,636 habitantes, de los cuales el 32% son menores de 18 años y el 11% adultos mayores. De ellos, más de 96 mil habitantes padecen alguna limitación física y 41,572 personas mayores de 15 años no poseen educación básica. Se encuentra dentro de la región otomí, por lo que posee una fracción importante de población indígena que asciende a 49,871 habitantes, aproximadamente el 6.8% del total (INEGI, 2022).

En cuanto a servicios básicos, el 19% de las viviendas carecen de agua entubada; la mayoría de ellas se encuentran repartidas en los municipios de Tepeji del Río y Tula de Allende. Como principal indicador socioeconómico, el índice de marginación promedio es bajo para los 15 municipios que la conforman (CONAPO, 2022). Sin embargo, esos datos podrían variar si se analizan a nivel de localidad, debido a la interacción entre los grandes corredores industriales y las poblaciones rurales cercanas.

Para el 80 a 82% de los habitantes del Valle del Mezquital, la CONAPO en 2022 estimó un ingreso económico inferior a dos salarios mínimos (\$141.72 - \$172.87 MXN), y la principal fuente de ingresos proviene de los comercios al por menor (Comisión Nacional de Salarios Mínimos, 2022; DENUE, 2022).



#### **1.4.6 Principales actividades económicas**

Dentro de la RESA existen 93 empresas de agricultura, 58 de minería y 300 encargadas de la manufactura. Una actividad económica importante de los municipios es la agricultura de riego, y sus principales productos cultivados son el maíz, alfalfa, frijol y avena irrigados por aguas residuales provenientes de la CDMX. A esto se suma la intensa actividad industrial en esa porción del territorio, la cual va desde cementeras y ‘bloqueras’ hasta la refinería más importante del centro del país. Específicamente las Zonas Metropolitanas del Valle de México (ZMVM) y Toluca (ZMT), que han sido espacios estratégicos para el desarrollo nacional al contener importantes asentamientos productivos que fueron extendiendo su presencia a otros estados cercanos, entre ellos Hidalgo.

De acuerdo a los datos georreferenciados proporcionados por el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas actualizado a 2022, la segunda actividad de mayor presencia, es la extracción de material pétreo en los municipios de Atotonilco de Tula, Tula de Allende y Tepeji del Río, donde se extrae caliza, principalmente, y se encuentran establecidas algunas industrias cementeras y caleras nacionales, además de la elaboración de ladrillos y bloques de construcción en municipios como Actopan.

Haciendo una aproximación para la región de la RESA Sur del Valle del Mezquital sobre la densidad de industrias, de las 54,412 empresas del sector registradas 5,529 se encontraron en el Estado de México y 1,239 en Hidalgo (DENUE, 2022). En otros términos, un 0.02% del territorio nacional alberga al 12.2% de la industria en el país.

#### **1.5 Antecedentes**

La construcción del Gran Canal del Desagüe en el año 1900 y la inauguración de la Presa Endhó en 1952, obras construidas para controlar y desviar el volumen excedente en los drenajes de la ZMVM significaron para el Valle del Mezquital una oportunidad para potenciar la actividad agrícola al aprovechar el flujo constante de agua y nutrientes (García-Salazar, 2019).

Sin embargo, esta práctica representa un serio problema ambiental, sobre todo en países en desarrollo, donde es frecuente el uso de agua sin tratar (Ramón Zamora *et al.*, 2009). México ocupa el segundo lugar en el mundo en el riego con aguas tratadas (130 000 ha) y no tratadas (190 000 ha), sólo superado por Chile y China, respectivamente (Ontiveros-Capurata *et al.*, 2013). En un artículo de 2019, García-Salazar calculó que el agua residual no tratada que era utilizada para riego en el Valle del Mezquital correspondía a 4.33 kilómetros cúbicos al año en 387,600 ha de cultivos (García-Salazar, 2019).

Aunque no se cuenta con datos del caudal de los demás municipios de la ZMVM, tan solo el caudal generado en todas las delegaciones de la CDMX asciende a 841 l/s (SEDEMA 2015), que es emitido desde la cuenca del Valle de México a través de 5 sistemas que desembocan en el río Tula.

A lo largo de los canales de riego se han encontrado concentraciones alarmantes de compuestos orgánicos con efectos importantes en la salud, tales como el dietilhexilheptalato (98,967 ng/L), estradiol (2 ng/L), 4 nonilfenol (9 754 ng/L), bisfenol A (1 586 ng/L), bufilbencilftalato (BuBeP 1331 ng/L) y triclosán (748 ng/L) (Chávez-Mejía *et al.*, 2017). Fonseca-Salazar *et al.*, (2016) tomaron muestras en distintas fuentes de agua potable y residual considerando tanto la CDMX como el Valle del Mezquital; en todas se hallaron bacterias fecales, enterococos fecales, *Pseudomona aeruginosa*, ooquistes de *Cryptosporidium parvum* y quistes de *Giardia lamblia*, independientemente de la época seca o lluviosa y rebasaron el límite permisible.

En el año 2019 y tras una visita del titular de la SEMARNAT (Miranda-Millán, 2019), la RESA Sur del Valle del Mezquital se definió como prioritaria (junto con otras 5 regiones en el país) para el pronto establecimiento de proyectos en colaboración con otras secretarías y académicos de diferentes universidades para atender las problemáticas que les aquejan, a partir de las cuales se generaran políticas encaminadas a la preservación y protección de la salud humana y el equilibrio ecológico.

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1 Delimitación de la RESA Valle del Mezquital**

Para determinar los municipios a considerar se realizó una correlación espacial en el software QGis basada en las variables de la Tabla 2, las cuales se obtuvieron a nivel municipal. Si bien existen más variables que pudieron incluirse en el estudio, estas se descartaron al no contar con información para todos los municipios.

Tabla 2 Variables utilizadas para la correlación espacial.

Variables ambientales	Variables socio-económicas
Contaminación suelos	Viviendas con piso de Tierra
Altitud promedio	Viviendas que no disponen de Agua Potable
Precipitación media anual mínima	Viviendas que no disponen de Drenaje
Precipitación media anual máxima	Población sin seguridad social
Temperatura máxima	Porcentaje de Trabajadores Agropecuarios
Temperatura mínima	Porcentaje de Trabajadores en la Industria
SO <sub>2</sub>	Porcentaje de Trabajadores en el Comercio
CO	Marginación
NO <sub>x</sub>	Pobreza
PM <sub>10</sub>	Carencia por acceso a los servicios de salud
PM <sub>2.5</sub>	Carencia por calidad y espacios de la vivienda
COV	Carencia por acceso a los servicios básicos en la vivienda
NH <sub>3</sub>	Rezago Social
	Producción agrícola
	Producción agua residual
	Producción residuos sólidos

Fuente: elaboración propia.

Como resultado se obtuvieron dos grupos principales para el Valle del Mezquital; de ellos se eligió el que concentró mayor información sobre niveles de contaminación reportados en literatura científica.

## 2.2 Evaluación de la percepción social de la contaminación

Con el objetivo de recabar información sobre la percepción de la contaminación en la población de la RESA, se elaboró una encuesta que incluyó 94 preguntas, de las cuales 8 corresponden a variables sociales y 86 a variables relacionadas con la percepción de la contaminación (Anexo 1).

Este último tipo de preguntas se pueden clasificar en dos categorías:

- Percepción de la contaminación en función de la distancia.
- Presencia o ausencia de contaminantes y fuentes de contaminación.

Para realizar el levantamiento de la encuesta se utilizó el software ArcGis Survey, que permitió a cada usuario indicar su posición geográfica. Para el análisis estadístico de estos datos se utilizaron hojas de cálculo de Excel, R y QGIS.

Se delimitó la población objetivo como todas las personas mayores de 15 años que habitan la región de acuerdo al último censo de INEGI, obteniendo como resultado un tamaño de población de 459, 377 personas. Para determinar el esfuerzo de muestreo mínimo con el fin obtener relevancia estadística, se utilizó la fórmula para tamaños de población mayores a 10,000 individuos en estudios cualitativos (Aguilar-Barojas, 2005) dentro de la cual se descarta el tamaño de población en la ecuación.

Los valores del índice de confianza (z), la precisión absoluta mayor (d) y la varianza se definieron de acuerdo a los objetivos del estudio:

$$n = \frac{Z^2 pq}{d^2}$$

**n**= tamaño de muestra necesario  
**z**= índice de confianza del 90%= 1.645  
**pq**= varianza = 1  
**d**=precisión absoluta mayor=90%=0.1

De la cual se obtuvo que se requieren de al menos 270 encuestados.

Como método de difusión de la encuesta y los objetivos del proyecto, se visitaron todos los municipios y algunas localidades. En particular, se concentró el esfuerzo de divulgación en negocios populares, transporte público y espacios comunes en las que se colocaron anuncios con el código QR (figura 2) para acceder a la encuesta en línea. En total se obtuvieron 1802 respuestas.

## 2.2.1 Categorización de la percepción de las fuentes de contaminación

Figura 2 Carteles promocionales de la encuesta



De acuerdo con las dos categorías de preguntas, se normalizaron entre 0 y 1 las respuestas que hacían referencia a la distancia a las fuentes de contaminación, así como de la presencia o ausencia de cierto tipo de contaminantes. A continuación, se muestra el criterio de normalización de acuerdo a la categoría de pregunta.

Normalización de la distancia a fuentes de contaminación:

- No hay=0
- más de 2km=0.25
- 1-2 km=0.5
- 500m-1km=0.75
- 0-500 m=1

Presencia o ausencia de contaminantes y fuentes de contaminación:

- Ausencia=0
- Presencia=1

## 2.2.2 Índice de percepción de contaminación por aguas residuales (IPCAR)

Se calculó un índice de percepción de contaminación por aguas residuales a nivel localidad utilizando las medias de 4 datos de la encuesta, los cuales se determinaron según su relación con esta fuente

contaminante:

- Distancia de un cuerpo de agua residual
- Tipo de Drenaje
- Presencia de Riego de Cultivos con aguas residuales
- Presencia de Riego de Hortalizas con aguas residuales

Los valores se normalizaron entre 0 y 1 dependiendo de la respuesta de cada entrevistado. Los parámetros utilizados se enlistan en la tabla 3.

Tabla 3 Variables y parámetros utilizados para generar el IPCAR.

Variable	Parámetros establecidos
Distancia de un cuerpo de agua residual	No hay=0, >2 km=0.25, 1-2km=0.5, 500m-1km=0.75, 0-500m=1
Tipo de Drenaje	Ninguno=1, Fosa séptica=0.5, Drenaje público=0
Presencia de Riego de Cultivos con aguas residuales	Si=1, No=0
Presencia de Riego de Hortalizas con aguas residuales	Si=1, No=0

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.3 Percepción de las enfermedades asociadas a la contaminación

De acuerdo a los datos obtenidos en la pregunta 11 de la encuesta (ver anexo 1) se realizó un análisis de la frecuencia y ubicación de las enfermedades que la población asocia a la presencia de contaminantes. Para ello la unidad de análisis fue el municipio.

Considerando las respuestas obtenidas en la opción “Otras” se clasificaron nuevamente las enfermedades de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 4 Clasificación de los padecimientos que la población asocia a la contaminación.

<b>Clasificación</b>	<b>Padecimientos nombrados en la encuesta que se incluyeron:</b>
Reproductivos y del embarazo	Anomalías reproductivas, malformaciones en recién nacidos, problemas en el embarazo, partos prematuros, esterilidad.
Cáncer	Todos los tipos de cáncer
Gastrointestinales	Daño en el estómago, intoxicaciones, diarreas frecuentes, gastroenteritis, salmonelosis, colitis, vómitos frecuentes, dolor abdominal.
Neurológicas	Daño neurológico, cefalea, insomnio, depresión, migrañas frecuentes.
Piel y ojos	Lesiones en la piel, alergias, ronchas, manchas en la piel, conjuntivitis, ardor en los ojos, comezón frecuente, ojos rojos.
Broncopulmonares	Asma, dolor de pecho, ardor frecuente en garganta, complicaciones para respirar, nariz tapada, problemas respiratorios.
Renales	Problemas en el riñón, insuficiencia renal, piedras en los riñones, quistes renales.
Hepáticos	Hepatitis, problemas en el hígado.

Fuente: elaboración propia.

Para clasificar numéricamente las respuestas se asignó un número a cada tipo de respuesta de acuerdo al número de personas que el encuestado identificaba con algún padecimiento asociado a la contaminación:

- Ninguna → 0
- Una persona → 0.33
- Dos o tres personas → 0.66
- Más de tres personas → 1

Una vez obtenidos los datos para cada clasificación se realizaron los promedios para cada municipio, de manera que se pudiera reportar cuál es la enfermedad de mayor incidencia según la percepción de la población.

## 2.3 Generación de la base de datos

### 2.3.1 Obtención de datos de contaminantes

Se revisaron más de 40 artículos publicados que contenían datos de concentraciones sobre contaminantes en aguas residuales, agua potable y suelos de la RESA Valle del Mezquital (tabla 5). En total se utilizaron 30 para generar la base de datos que cumpliera con los objetivos de este estudio, entre las características necesarias para considerarlos se debía contar con una forma de georreferenciar los muestreos y que el valor de concentración estuviera en unidades que pudieran compararse con los valores de referencia de normas oficiales. Los artículos revisados tienen por objeto de estudio la identificación de contaminantes en la RESA y municipios cercanos a través de muestreos en suelo, agua, aire y bioacumulación en plantas y personas.

*Tabla 5 Contaminantes reportados por autor.*

<b>Año</b>	<b>Autor</b>	<b>Contaminantes reportados</b>	<b>Matriz</b>
1991	Cajuste	Cd, Co, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb y Zn	canales de riego, suelo agrícola
1994	Hernández Silva	Cd, Co, Cr y Pb	suelo agrícola
1994	Siebe	Cd, Cr, Pb y Zn	aguas residuales, suelo agrícola
2000	Pérez Rosalino	coliformes fecales, coliformes totales, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>3</sub> -N y STDs	aguas subterráneas
2001	Vázquez Alarcón	Cd y Ni	aguas residuales
2003	Cabrera	Aceite de Origen Industrial (Mezcla)	aguas residuales, atmosfera
2005	Prieto García	N total	suelo agrícola
2007	Acosta	Cu, Cr, Ni, Pb y Zn	bioacumulación vegetal, suelo agrícola
2007	Prieto García	Cd, Cr y Pb	bioacumulación vegetal
2008	Cornejo Oviedo	Cd, Ni y Pb	bioacumulación vegetal, suelo agrícola
2008	Jiménez	NH <sub>3</sub> , B, Cl, coliformes fecales, coliformes totales, Mg, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> y Na	aguas residuales, aguas subterráneas
2010	Gibson et al.	4-Nonilfenol y C <sub>15</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	suelo agrícola



2010	Martínez Carri- llo	Cu, Mn, Ni y Pb	atmosfera
2010	Prieto García	As	bioacumulación vege- tal, suelo agrícola
2011	Chávez et al.	C <sub>18</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub> , C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O, C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> , Fago Somático, C <sub>15</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub> , BuBep, C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O, CFTs, C <sub>14</sub> H <sub>11</sub> Cl <sub>12</sub> NO <sub>2</sub> , DEHP, C <sub>18</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub> , Giardia spp, C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub> , C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub> , C <sub>12</sub> H <sub>7</sub> Cl <sub>3</sub> O <sub>2</sub> .	aguas residuales
2011	Flores Magda- leno	Hg, Ni y Pb	aguas residuales
2011	Lesser	NaHCO <sub>3</sub> , Ca, Cl, Mg, K, Na, sólidos totales disueltos y SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	agua potable, aguas re- siduales
2013	Almanza	SO <sub>2</sub>	atmósfera
2013	Campos Rey- noso	Coliformes totales, DBO, HH y SAAM	aguas residuales
2014	Guedrón	As, Hg, N y Pb	aguas residuales, aguas subterráneas
2015	Franchini	As, Cd y Pb	bioacumulación en pe- ces
2015	Prieto García	Al, Cd, Cr y Pb	sangre
2017	Bautista Olivas	Cd, Fe y Hg	atmosfera
2017	Díaz y Peña Ál- varez 2017	C <sub>14</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub> y C <sub>12</sub> H <sub>7</sub> Cl <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	aguas residuales, suelo
2017	Rodríguez Ri- vera	Pb	sangre
2018	Lesser	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> , C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> N <sub>4</sub> O <sub>2</sub> , 10HA, C <sub>18</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub> , C <sub>13</sub> H <sub>19</sub> O <sub>3</sub> , 4-EPT, C <sub>13</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>5</sub> , C <sub>13</sub> H <sub>21</sub> NO <sub>3</sub> , C <sub>20</sub> H <sub>23</sub> N, C <sub>9</sub> H <sub>13</sub> N, C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , C <sub>33</sub> H <sub>35</sub> N <sub>2</sub> FO <sub>5</sub> , C <sub>38</sub> H <sub>72</sub> N <sub>2</sub> O <sub>12</sub> , C <sub>16</sub> H <sub>19</sub> NO <sub>4</sub> , C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> N <sub>4</sub> O <sub>2</sub> , C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O, C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> N <sub>6</sub> S, C <sub>17</sub> H <sub>18</sub> FN <sub>3</sub> O <sub>3</sub> , CHCl <sub>3</sub> , C <sub>17</sub> H <sub>21</sub> NO <sub>4</sub> , C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O, C <sub>16</sub> H <sub>13</sub> CIN <sub>2</sub> O, C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub> , C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub> , C <sub>17</sub> H <sub>21</sub> NO, C <sub>22</sub> H <sub>26</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> S, C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub> , C <sub>20</sub> H <sub>28</sub> N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , C <sub>19</sub> H <sub>22</sub> FN <sub>3</sub> O <sub>3</sub> , C <sub>37</sub> H <sub>67</sub> NO <sub>13</sub> , C <sub>18</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O, C <sub>14</sub> H <sub>12</sub> FNO <sub>3</sub> , C <sub>17</sub> H <sub>18</sub> F <sub>3</sub> NO, C <sub>24</sub> H <sub>38</sub> O <sub>4</sub> , C <sub>12</sub> H <sub>11</sub> CIN <sub>2</sub> O <sub>5</sub> S, C <sub>15</sub> H <sub>22</sub> O <sub>3</sub> , C <sub>23</sub> H <sub>28</sub> CIN <sub>3</sub> O <sub>5</sub> S,	agua potable

		C7H8CIN3O4S2, C13H18O2, C22H24N2O8, C9H14O, C18H34N2O6S, C9H18N2O4, C4H11N5, C22H30O5, C15H25NO3, C10H8, C14H14O3, C12H17NO, C26H36N2O4, C18H20N3FO4, C14H18N4O2, C19H19N3O5S, C22H24N2O9, C5H5N, C21H28O5, C22H29NO2, C16H21NO2, C13H22N4O3S, C17H17NCI2·HCl, C10H10N4O2S, C12H14N4O4S, C12H14N4O2S, C10H11N3O3S, C6H8N2O2S, C9H9N3O2S2, C22H24N2O88, C2CI4, C7H8, C13H9CI3N2O, C12H7CI3O2, C14H18N4O3, C24H29N5O3 y C27H38N2O4	
<b>2019</b>	<b>PROAIRE</b>	NH <sub>3</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , COV, SO <sub>2</sub> , C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> y C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	atmósfera, fuentes móviles carreteras

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de contaminantes de la RESA.

### 2.3.2 Generación de un panel de datos y su categorización

Los datos se clasificaron con base en el tipo de contaminantes convencionales y emergentes en aguas residuales, categorizados por Marín-Galvín et al. (2009) (ver anexo 2). Para calcular los índices de contaminación (IC) se tomaron en cuenta los límites máximos permisibles reportados en diversas normas y reglamentos nacionales e internacionales de la calidad del agua potable, aguas residuales, suelos y contaminantes atmosféricos.

La fórmula utilizada para obtener el valor fue

$$Escala = \frac{C}{VR}$$

donde *C* es la concentración y *VR* el valor de Referencia.

De manera que se obtuviera una relación única del número de veces que la concentración rebasa los límites máximos permisibles. Esta relación se normalizó en una escala de 0 a 1 para posteriormente asignarle una escala de contaminación numérica y nominal (Tabla 6).

Tabla 6 Escala de concentración de contaminantes utilizada para realizar el índice. Fuente: elaboración propia.

Rangos de C/VR	Escala de contaminación	Índice de contaminación
0-0.25	Extremadamente debajo del valor de referencia	0.1
0.25-0.5	Muy por debajo del valor de referencia	0.2
0.5-0.75	Bajo el valor de referencia	0.3
0.75-0.9	Por debajo pero cercano al valor de referencia	0.4
0.9-1.1	Dentro del valor de referencia	0.5
1.1-1.25	Por Arriba pero cercano al valor de referencia	0.6
1.25-1.5	Medianamente arriba del valor de referencia	0.7
1.5-1.75	Arriba del valor de referencia	0.8
1.75-2	Muy por arriba del valor de referencia	0.9
>2	Extremadamente arriba del valor de referencia	1

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de contaminantes de la RESA.

#### 2.4 Georreferenciación y clasificación de las fuentes contaminantes

Se identificaron y clasificaron las principales industrias contaminantes, utilizando el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas del INEGI, del cual se seleccionaron las unidades económicas que, por tamaño, capacidad de producción y tipo de actividades aportan cantidades significativas de contaminantes (Tabla 7).

Además, se agregaron unidades reportadas en la encuesta tales como ladrilleras, talleres mecánicos, fábricas de ataúdes y una aceitera.

*Tabla 7 Principales unidades económicas contaminantes de la RESA.*

<b>Fuente</b>	<b>Número de unidades económicas</b>	<b>Fuente</b>	<b>Número de unidades económicas</b>
Fábrica de Ataúdes	112	Balnearios	14
Industria Metalmeccánica	44	Tiradero	11
Industria Textil	41	Alimentaria	8
Industria Química	30	Cementera	8
Cuerpo o Canal residual	27	Fábrica de Block y Tabique	8
Bancos de material y su procesamiento	18	Gasera	8
Almacenamiento de CRETIB	7	Calera	2
Agroquímicos	5	Carbonera	2
Industria Farmacéutica	4	Rastros y Establos	2
Refinería	4	Aceitera	1
Termoeléctrica	4	Molino	1
Asfaltadoras	2	PTAR	1

Fuente: Elaboración propia con datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas DENUE, INEGI 2021 y georreferenciación a partir de los datos de la encuesta.

Una vez generada la nube de puntos de la georreferenciación se realizó un análisis de componentes principales del cual se obtuvieron 7 componentes en los que se incluyeron las fuentes que presentaron una correlación más alta por cada grupo.

## **2.5 Creación de polígonos de influencia para las localidades de la RESA**

En total se encuentran 463 localidades en la RESA, si bien estas se encuentran delimitadas por las zonas donde se encuentra una densidad visible de asentamientos humanos, al momento de analizar variables difusas como las de este estudio es necesario pensar más allá de las viviendas. Para ello se generaron los polígonos de Thiessen a través del software QGis, utilizando como unidad de análisis los puntos de localidades del ITER de INEGI (2020). A partir de estos se hicieron modificaciones manuales para incluir todas las zonas urbanizadas y límites ejidales de cada localidad (RAN, 2022) (Figura 3).

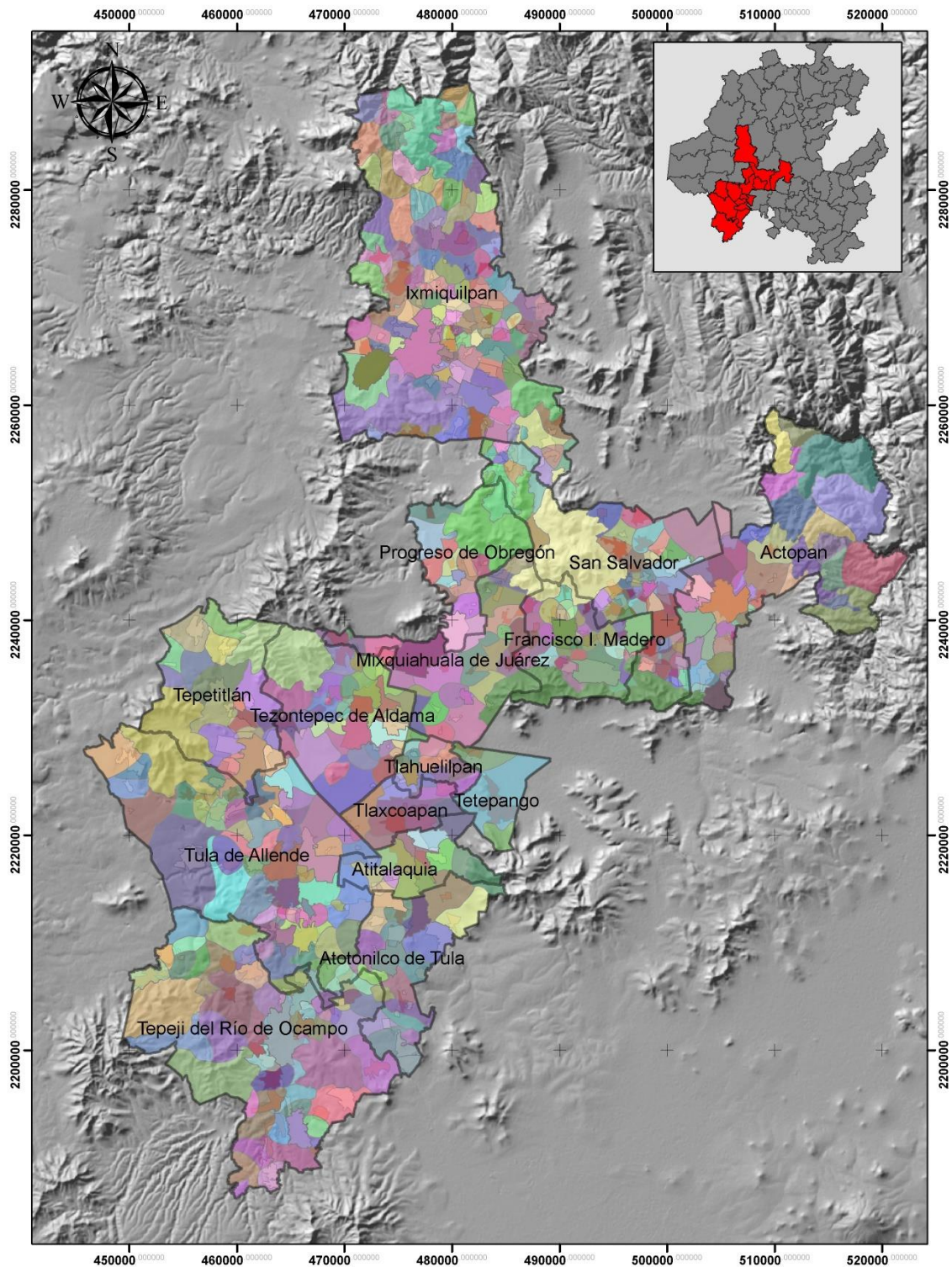


Figura 3 Polígonos adecuados a la zona de influencia de cada localidad.

Fuente: elaboración propia.

## **2.6 Mapeo de la accesibilidad a las fuentes de contaminación**

La accesibilidad se definió a partir de un Modelo Superficial de Costo Traslado (TTCSM por sus siglas en inglés) similar al propuesto por Frakes et al. (2015) y fue realizado por Mauricio Galeana, investigador de CentroGeo. Este modelo calcula el tiempo de traslado tomando en cuenta variables como las condiciones de la superficie y la cobertura de suelo. Para su realización se incorporaron datos de la RESA en formato ráster: el modelo de elevaciones, la red vial, el uso de suelo y los sitios fuente de contaminantes; posteriormente se le asignó un índice de fricción a cada cobertura de suelo, a manera de representar el grado de movilidad que tendrían los contaminantes en estos sitios.

Se realizó el proceso de cálculo de accesibilidad para cada uno de los 7 componentes (fuentes contaminantes), como resultado se obtuvieron 7 rústers.

## **2.7 Generación del índice de vulnerabilidad**

Para obtener el índice de vulnerabilidad, se utilizaron variables basadas en otros trabajos que analizan la vulnerabilidad social, específicamente el de Huang y London (2012), así como Nelson (2015); específicamente los autores utilizan tramos censales para hacer una aproximación a la vulnerabilidad.

Para el caso de estudio, se utilizaron los datos por localidad (ITER) del INEGI 2020 como unidades censales y de algunos aspectos captados por la encuesta de percepción de la contaminación. Las variables utilizadas para este fin fueron: índice de masculinidad, porcentaje de población menor de 5 años, población entre 5 a 18 años, porcentaje de población mayor de 60 años, porcentaje de población con limitaciones, porcentaje de población con servicios de salud, grado promedio de escolaridad, porcentaje de población indígena, porcentaje de población analfabeta mayor a 15 años, porcentaje de población sin educación básica mayor a 15 años, porcentaje de población no afiliada a servicios de salud, porcentaje de población sin acceso a agua entubada, y porcentaje de acceso a drenaje

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con estas variables y de ellas se eligió la variable que explicó la mayor cantidad de varianzas de acuerdo a los resultados.

## 2.8 Análisis geoestadístico de metales pesados

Si bien las bases de datos revisadas en la literatura comprenden hasta 14 grupos de contaminantes, se realizó el análisis únicamente para el grupo de metales pesados debido a su representatividad espacial y validez de los datos. Ya que fue el único grupo cuyos elementos se encuentran en Normas Oficiales Mexicanas para suelo y agua. Los análisis realizados para obtener la distribución geográfica de las concentraciones de metales pesados fueron realizados por la Dra. María de la Luz Hernández Flores, coordinadora del proyecto.

Para ello, inicialmente se revisó el grado de normalidad de los muestreos de metales pesados, encontrándose que no seguían una distribución normal pues tenía un sesgo leve y se encontraban algunas muestras con *outliers*. Se aplicó una normalización a través del logaritmo del IC, con lo que se alcanzaron los valores de normalidad a través de un menor sesgo y curtosis.

Posteriormente se revisó la distribución del IC a través de polígonos de Voronoi y la exploración a través de la revisión del análisis de las tendencias con la representación tridimensional de los valores de IC en ArcGis, estos nos permitieron definir la tendencia creciente o decreciente hacia  $x$  y  $y$ , así como definir bajo qué orden se describe mejor la tendencia del IC.

Por otro lado, el semivariograma permitió conocer los parámetros de la función geoestadística tales como: *sill*, rango y ordenada al origen (*nugget*), con base en las diferencias entre todas las combinaciones de valores de IC en la RESA, a través de la función Geostatistical Analyst de ArcGis. En esta misma utilidad se buscó alinear la tendencia de la dirección de mayor concentración y armonizar un semivariograma típico.

Se probaron diferentes tendencias de concentración, a través de: exportación previa de tendencias, diferentes tipos de curvas para el semivariograma y correspondencia con el número de *lags* del mismo. Sin embargo, se eligieron aquellos cuyo error cuadrático medio fuera menor y cuyo semivariograma mostrara una forma típica y correspondiente con los parámetros y tendencias exploradas, así como la relación entre la distancia y el parámetro  $\gamma(h)$ .



## 2.9 Delimitación de áreas prioritarias para establecer mecanismos de compensación por daño ambiental

Debido a que los datos de vulnerabilidad son a nivel local y que uno de los objetivos de este estudio es proponer áreas para aplicar métodos de compensación por el daño ambiental, se realizó una selección de aquellas localidades donde el índice de vulnerabilidad, la accesibilidad y la presencia de contaminantes implicaran en su conjunto un alto riesgo para la población.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Estadísticas de la base de datos

De acuerdo al tipo de matriz en donde se midió la concentración de contaminantes, se observa mayor interés en el monitoreo de agua potable con casi la mitad de los muestreos realizados en tomas de agua y pozos que surten agua potable, seguido de las aguas residuales y el suelo (figura 4).



Figura 4 Número de muestras reportadas por tipo de matriz.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8 Número de concentraciones recabadas por grupo de contaminantes

Grupos de contaminantes	Número de datos de concentración
Metales pesados	715
Físico-químicos	651
Compuestos farmacéuticos	317
Compuesto orgánico volátil	96
Gases Tóxicos	56
Patógenos emergentes	46
Disrupción endocrina	46
Drogas ilegales	40
Fármaco de uso habitual	24
Material particulado	22
Plásticos	20
Plaguicidas	20
Alquilfenoles y otros compuestos orgánicos	19
Hidrocarburos aromáticos (HPA)	14

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de contaminantes de la RESA.

En la tabla 8 se observa que el grupo de contaminantes con mayor número de registros fueron los metales pesados, seguido de compuestos fisicoquímicos y compuestos farmacéuticos. Los grupos para los que se obtuvieron menos registros fueron los alquilfenoles e hidrocarburos aromáticos.

En el mapa de los puntos de muestreo (figura 5) se puede observar que, a nivel espacial, los metales pesados fueron los más reportados en toda el área de estudio, mientras que los demás grupos se encuentran en manchones a lo largo de la RESA.

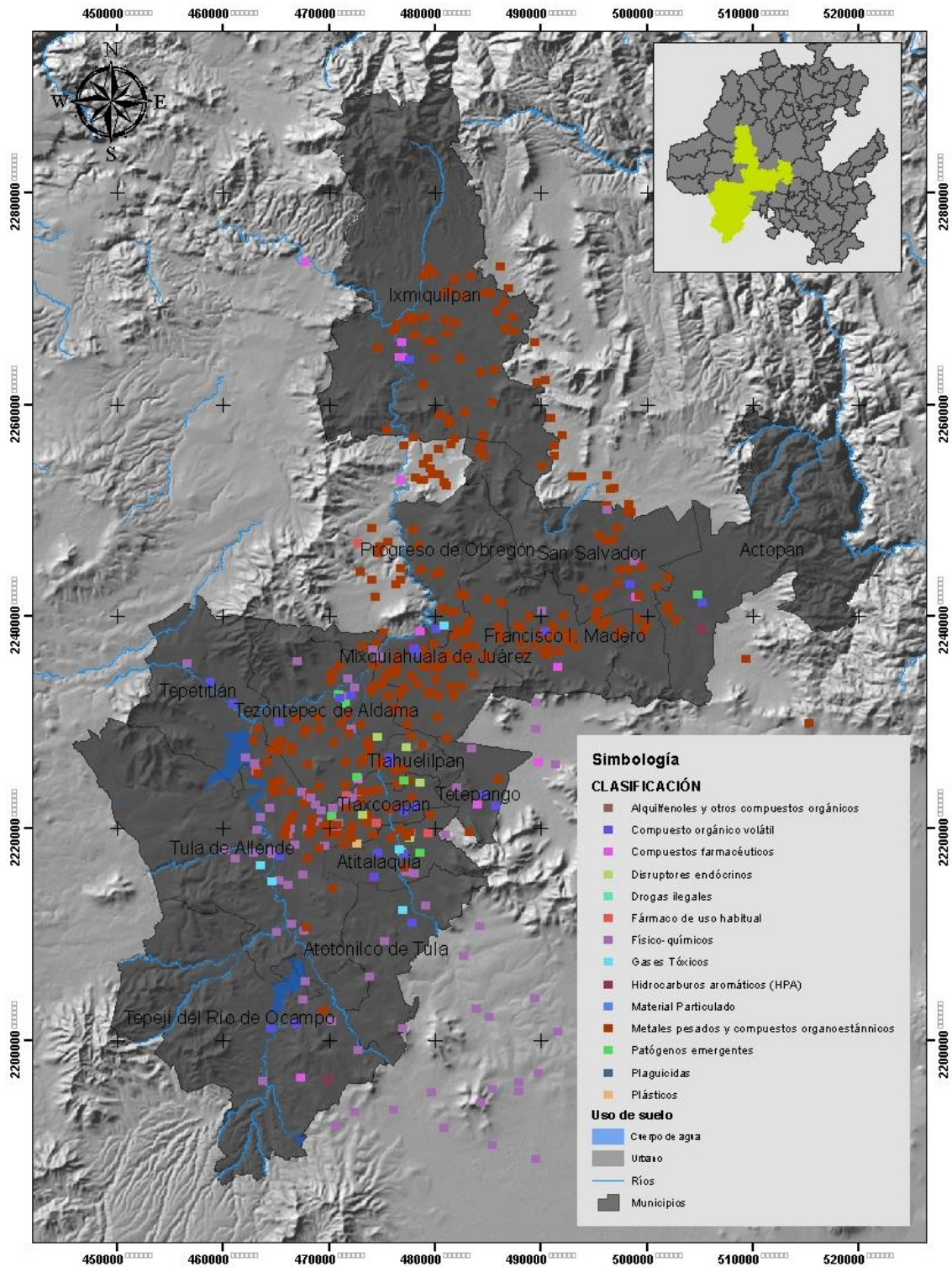


Figura 5 Localización geográfica de los sitios de muestreo clasificados por grupo de contaminantes.

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.1 Distribución de los contaminantes en la RESA Valle del Mezquital.

Como se puede observar en la tabla 8, la categoría de compuestos con mayor número de registros son los metales pesados, los cuales de acuerdo a la figura 5 se concentran en los municipios de Tezontepec de Aldama, Tlaxcoapan, Tlahuelilpan y Francisco I. Madero, hallados en aguas residuales, suelos agrícolas y bioacumulación en plantas. El segundo tipo más recurrente son los compuestos físico-químicos y se concentran en el municipio de Tula de Allende y Tlaxcoapan, su incidencia en estos municipios podría tener relación con la Presa Endhó, la cual recibe descargas residuales que aportan nitrógeno, fósforo, materia orgánica, etc., contaminantes considerados dentro de esta categoría.

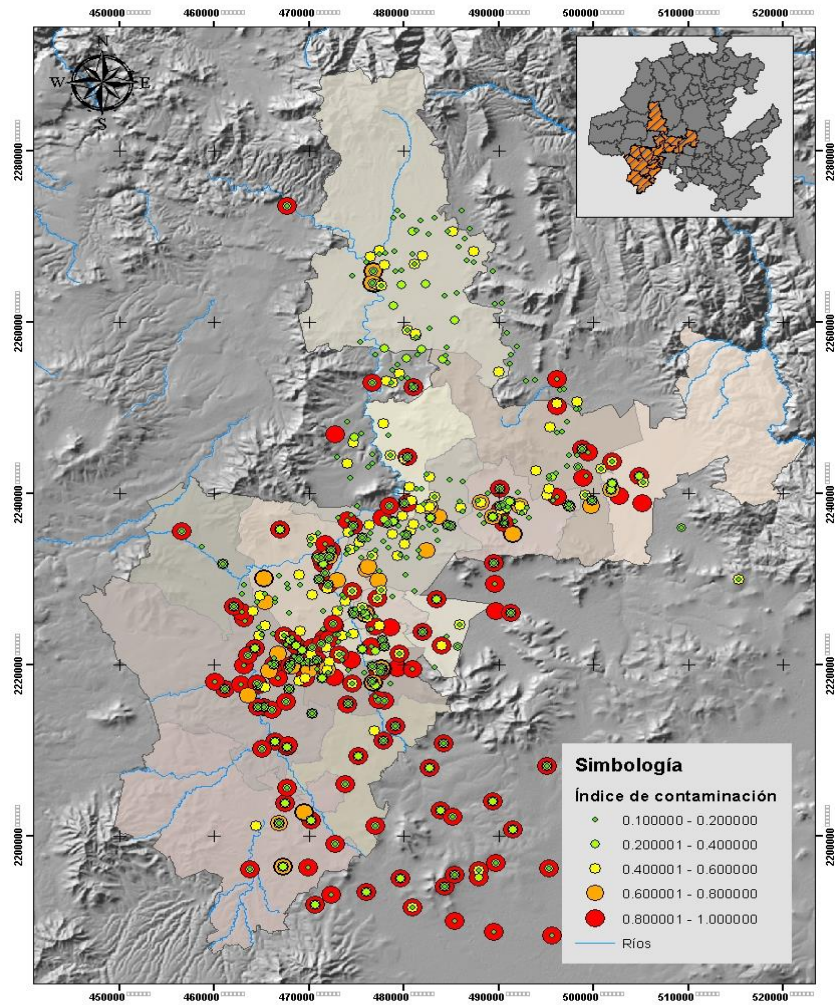


Figura 6 Mapa del índice de contaminación por sitio de muestreo reportado en literatura científica. Fuente: Elaboración propia con base a los resultados de la base de datos de contaminantes de la RESA.

En tercer lugar, está la categoría de compuestos farmacéuticos, con 317 concentraciones distribuidas principalmente en Tetepango, Tezontepec de Aldama y Francisco I. Madero y en 8 municipios más de la RESA. Este contaminante está ampliamente distribuido debido a la descarga de aguas residuales municipales y las aguas de la ZMVM. Las concentraciones que se ubican fuera del área de estudio podrían mostrar un patrón de movilidad del contaminante como consecuencia de la dispersión y uso de aguas residuales o la presencia de otras fuentes contaminantes que aún no se han tomado en cuenta o se consideran poco relevantes.

El tipo de contaminantes que mostró mayor índice de contaminación al encontrarse muy por arriba o extremadamente arriba del valor de referencia fueron los compuestos farmacéuticos, cabe resaltar que estos tienen mayor esfuerzo de muestreo en agua potable y aguas residuales.

En la figura 6, se observa que gran parte de los municipios el índice tiene rangos altos, a excepción de Ixmiquilpan y Mixquiahuala de Juárez. En estos municipios el índice va de 0.1 a 0.8, esto último podría deberse a que existe menos diversidad de fuentes contaminantes en comparación con el resto de municipios ya que la actividad agrícola en Mixquiahuala no es tan relevante y en Ixmiquilpan hay menos zonas industriales.

Los compuestos farmacéuticos son en su mayoría los que alcanzan concentraciones muy por arriba o extremadamente por arriba de la legislación ambiental, seguido de los físico-químicos y los metales pesados junto con las drogas ilegales, los cuales se encuentran acumulados principalmente en agua potable y aguas residuales. Como se observa en el mapa hay un ligero patrón en la zona central y suroeste de la RESA en el cual se aprecia que los índices más altos coinciden espacialmente con muestras de índices bajos de contaminación.

### **3.2 Resultados de la encuesta**

Se obtuvieron 2101 respuestas, 139 de Actopan, 79 de Atitalaquia, 148 de Atotonilco de Tula, 149 de Francisco I. Madero, 260 de Ixmiquilpan, 142 Mixquiahuala de Juárez, 74 de Progreso de Obregón, 123 de San Salvador, 243 de Tepeji del Río Ocampo, 31 de Tepetitlán, 43 de Tetepango, 114 de Tezontepec de Aldama, 27 de Tlahuelilpan, 187 de Tlaxcoapan, 323 de Tula de Allende y 19 con ubicación desconocida.

### 3.2.1 Percepción de las fuentes de contaminación

Se obtuvieron los resultados descritos en la siguiente tabla:

*Tabla 9 Descripción del número de respuestas y media de la percepción de la contaminación por localidad.*

Municipio	Localidad	Percepción de la contaminación	No. De respuestas
San Salvador	San Antonio Zaragoza	0.78	15
Francisco I Madero	San Juan Tepa	0.75	29
Tepeji del Río de Ocampo	Melchor Ocampo El Salto	0.725	10
Tezontepec de Aldama	Colonia de Presas	0.70	11
Atitalaquia	Atitalaquia	0.69	27
Tlaxcoapan	Doxhey	0.66	47
Francisco I Madero	El Rosario	0.65	15
Tlahuelilpan	Tlahuelilpan	0.65	15
Tula de Allende	San Marcos	0.64	16
Ixmiquilpan	Ixmiquilpan	0.62	82
Tlaxcoapan	Teltipan de Juárez	0.61	13
Tula de Allende	El Llano	0.61	36
Atitalaquia	Cardonal	0.602	22
Ixmiquilpan	El Nith	0.6	10
Tezontepec de Aldama	Mangas	0.57	14
San Salvador	San Salvador	0.54	39
Tetepango	Tetepango	0.53	33
Mixquiahuala de Juárez	Mixquiahuala	0.53	67
Ixmiquilpan	El Tephe	0.52	11
Tepeji del Río de		0.5	11

<b>Municipio</b>	<b>Localidad</b>	<b>Percepción de la contaminación</b>	<b>No. De respuestas</b>
Ocampo	Tianguistengo La Romera		
Tezontepec de Aldama	Panuaya	0.5	11
Atotonilco de Tula	Progreso	0.49	83
Tlaxcoapan	Tlaxcoapan	0.491	118
Atotonilco de Tula	Atotonilco de Tula	0.48	53
Ixmiquilpan	El Barrido	0.46	14
Ixmiquilpan	Dios Padre	0.46	19
Atitalaquia	San Gerónimo Tlamaco	0.453	16
Francisco I Madero	Tepatepec	0.437	48
Tezontepec de Aldama	Tezontepec de Aldama	0.434	23
Francisco I Madero	Colonia Cuarta Demarcación	0.431	11
Tepeji del Río de Ocampo	Colonia Caracol	0.425	10
Tula de Allende	Tula de Allende	0.408	172
Ixmiquilpan	Cantimela	0.375	14
Tepeji del Río de Ocampo	Tepeji de Ocampo	0.35	94
Tula de Allende	Bomintzhá	0.34	13
Atotonilco de Tula	Conejos	0.34	24
Atotonilco de Tula	Bathá	0.3	10
Actopan	Actopan	0.28	99
Sin responder	Sin responder	0.278	44

*Fuente: Elaboración propia con base en los resultados de la encuesta de percepción de contaminantes de la RESA, la percepción se mide en una escala de 0 a 1.*

En la tabla 9 se observa que la localidad de San Antonio Zaragoza del municipio de San Salvador, San Juan Tepa perteneciente a Francisco I. Madero y Melchor Ocampo del municipio de Tepeji del río de Ocampo fueron aquellas localidades que tuvieron mayor percepción sobre la presencia de las fuentes de contaminación.

El nivel de correlación (ver anexo 3) entre la media de la percepción de las fuentes de contaminación y el índice de vulnerabilidad de cada localidad mostró un coeficiente de Pearson de -0.178 con un índice de determinación R2 de 0.0319, por lo que se puede concluir que no existe una correlación estadística entre estas dos variables.

En cuanto a la presencia de fuentes de contaminación (Tabla 10), esta hace referencia a aquellas fuentes que los encuestados reconocen como algo que les produce alguna afectación negativa, las que tuvieron mayor valor son las vías carreteras de alto flujo vehicular, hidroeléctricas y de zonas de cultivos.

Por otro lado, la media de la percepción de distancia por fuente de contaminación mostró los resultados descritos en la Tabla 10.

*Tabla 10 Percepción de la presencia de fuentes de contaminación.*

<b>Fuentes de contaminación</b>	<b>Media de la percepción de la presencia de fuentes de contaminación (ver inciso 2.2.1)</b>
Presencia de vías carreteras con importante circulación vehicular	0.65290
Presencia de Hidroeléctrica	0.63494
Presencia de Zonas de cultivo	0.61863
Presencia Cuerpo de aguas de residuales	0.49905
Presencia Cementerios	0.47870
Presencia de Ductos y oleoductos	0.35019



Presencia de Agroquímicos	0.33698
Presencia Zonas inundables	0.31663
Presencia Fábricas, ladrilleras, cementeras	0.29569
Presencia Bancos de material, minas o arenas	0.23477
Presencia Refinería	0.17730

*Fuente: Elaboración propia con base en los resultados de la encuesta de contaminantes de la RESA.*

En la que se observa que las fuentes contaminantes que son mayormente identificadas por la población son las carreteras, hidroeléctricas y las zonas de cultivo. Mientras que, de acuerdo a los encuestados, las fuentes que les son más cercanas fueron las termoeléctricas, parques industriales y carboneras (tabla 11).

*Tabla 11. Media de la percepción de la cercanía a una fuente de contaminación.*

<b>Fuente de contaminación</b>	<b>Media de la percepción de la cercanía a la fuente de contaminación</b>
Termoeléctrica	0.00892
Parque industrial	0.00750
Carbonera	0.00369
Cementera	0.00262
Calera	0.00250
Agroquímicos	0.00202
Industria Alimentaria	0.00167
Tiradero	0.00167
Banco de materiales	0.00155

<b>Fuente de contaminación</b>	<b>Media de la percepción de la cercanía a la fuente de contaminación</b>
Gasera	0.00143
Industria de metales	0.00131
PTAR	0.00131
Asfaltadora	0.00107
Taller de pintura	0.00095
Industria química	0.00095
Aguas residuales	0.00083
Bodega	0.00071
CFE	0.00071
Gasolinera	0.00059
Balneario	0.00048
Crematorio	0.00036
CRETIB	0.00036
Block	0.00024
Cerillera	0.00012
Canal	0.00012
Farmacéutica	0.00012
Hilera (Textiles)	0.00012
Antenas	0.00012

*Fuente: Elaboración propia con base a los resultados de la encuesta de contaminantes de la RESA.*

### 3.2.2 Percepción de la contaminación por aguas residuales

En la figura 7 se muestra espacialmente el resultado de la categorización, a la par del sistema de presas del Valle del Mezquital y los canales de riego.

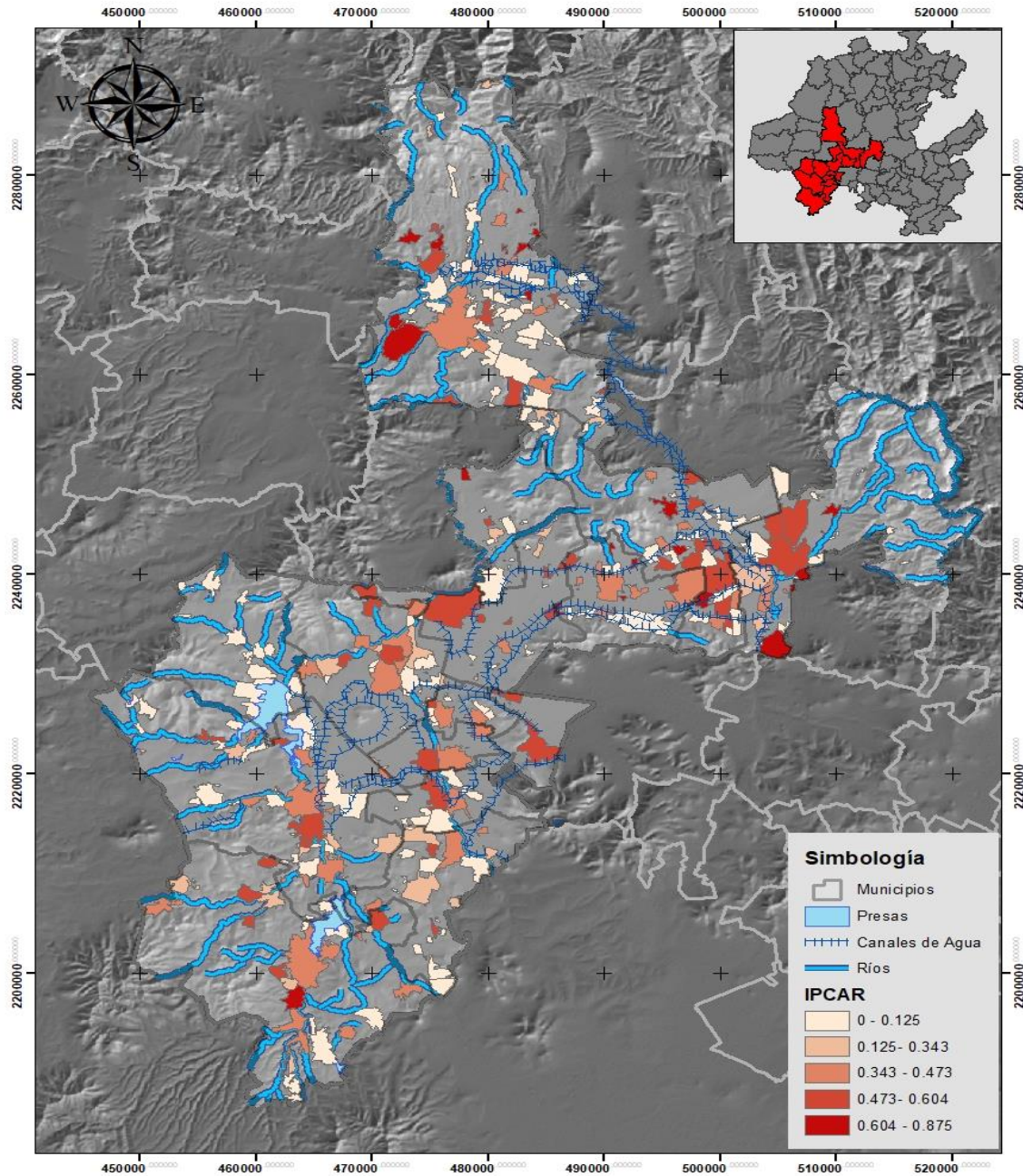


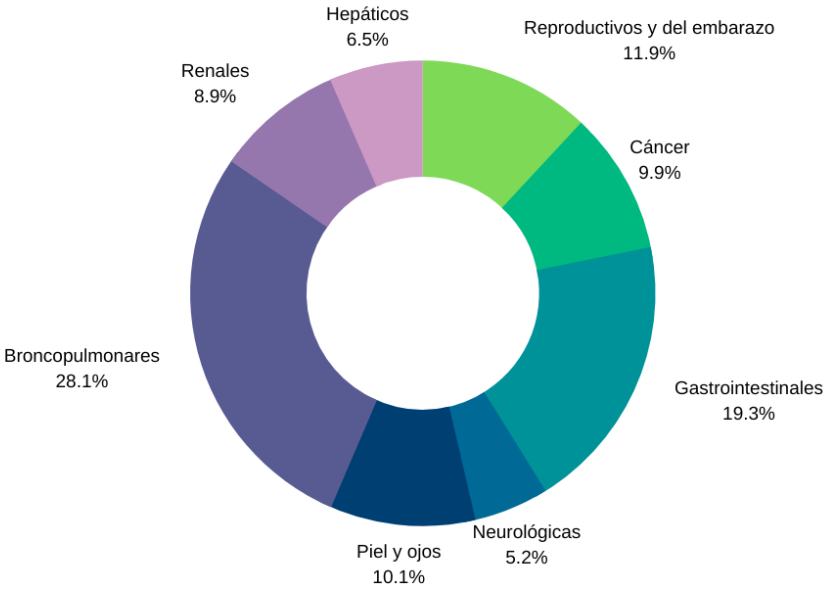
Figura 7 Grado de percepción de contaminación por aguas residuales (IPCAR). Fuente: elaboración propia.

Tetepango fue el municipio con mayor grado de percepción de contaminación por aguas residuales (0.5), seguido de Tlaxcoapan (0.33) y Tepeji del Río (0.32). Por último, se encuentra el municipio de Tepetitlán con 0.05. Tula de Allende obtuvo un valor promedio de 0.22.

### 3.2.3 Percepción de las enfermedades asociadas a la contaminación

En total se obtuvieron 1802 respuestas de personas que reportan enfermedades que consideran consecuencia de la presencia de fuentes contaminantes, es decir, el 85% de los encuestados asocia uno o más padecimientos a la contaminación en la RESA. La incidencia de padecimientos reportados en todos los municipios encuestados se distribuye de acuerdo a la figura 8.

**Porcentaje de padecimientos reportados por categoría**



*Figura 8 Porcentaje de padecimientos reportados por categoría. Fuente: elaboración propia con base en los resultados de la encuesta de percepción ciudadana.*

Podemos observar que los padecimientos más mencionados fueron los broncopulmonares, seguidos de los gastrointestinales y reproductivos. Si bien las enfermedades de tipo neurológico y hepático se mencionaron en una menor proporción, llama la atención que todas las categorías fueron mencionadas en cada uno de los municipios.

Si bien se obtuvieron 7 clasificaciones de los padecimientos, es importante mencionar que se reportaron también afecciones cardiovasculares, problemas con

la tiroides y silicosis. Igualmente 17 personas reportan a 3 o más familiares con padecimientos pancreáticos entre los que se incluye a la diabetes y cirrosis.

### Incidencia de padecimientos por municipio y categoría

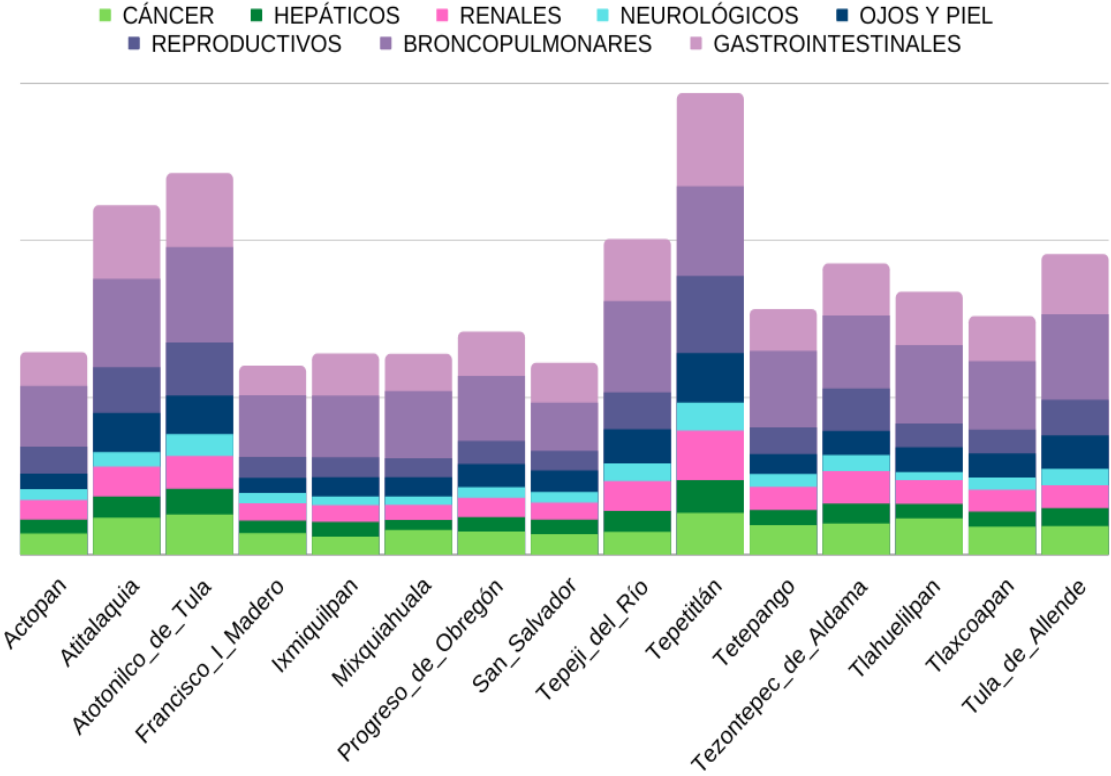


Figura 9 Incidencia de padecimientos por municipio y categoría. Fuente: elaboración propia.

Podemos observar que el municipio en el que un mayor número de encuestados asocia padecimientos a la contaminación fue Tepetitlán, seguido de Atotonilco de Tula, Atitalaquia, Tepeji del Río y Tula de Allende (figura 9). Se observa que en todos los municipios predomina la mención de padecimientos broncopulmonares y gastrointestinales.

Debido a la falta de datos epidemiológicos disponibles en los datos de la secretaría de salud del estado, no se puede realizar una comparativa de estas afecciones mencionadas por los habitantes con los registros reales.

### 3.2.4 Agrupamiento de las fuentes contaminantes (componentes)

A partir de una base de datos que contiene la localización de las unidades económicas en la RESA que fue complementada con la información de la percepción de fuentes contaminantes, se realizó el análisis de componentes principales referido en el apartado 2.4, en el cual se agrupan las fuentes contaminantes. A continuación, se describen los resultados del ACP que obtuvieron una correlación mayor a 0.6 (tabla 12):

Tabla 12 Resultados del ACP para el agrupamiento de fuentes de contaminación

Tipo de unidad económica	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Aceiteras					X		
Agroquímicos	X						
Alimenticia						X	
Asfalteras				X			
Balnearios							X
Caleras		X					
Carboneras	X						
Aguas residuales					X		
Fábricas de ataúdes			X				
Metalmecánica		X					
Textil						X	
Molinos de mineral			X				
Parques industriales	X						
Termoeléctrica	X						
Tiraderos de basura							X
Refinería	X						
Bancos de material		X					
Blockera		X					
Cementera		X					
Porcentaje de varianza	<b>0.182</b>	<b>0.186</b>	<b>0.103</b>	<b>0.049</b>	<b>0.070</b>	<b>0.065</b>	<b>0.054</b>
Varianza acumulada	<b>0.182</b>	<b>0.368</b>	<b>0.472</b>	<b>0.52</b>	<b>0.591</b>	<b>0.656</b>	<b>0.709</b>

Fuente: elaboración propia

Se obtuvieron 7 componentes de contaminación (grupos de fuentes contaminantes), los cuales además de estar relacionados estadísticamente presentan cercanías geográficas entre sí. Por ejemplo, uno de los componentes está conformado por fuentes de contaminación tipo industrial, y la ubicación geográfica de dicho componente coincide con las zonas industriales de la RESA. A continuación, se muestra la distribución geográfica (figura 10) para cada componente obtenido, esto

es relevante ya que es a partir de los puntos de ubicación que se calcula la accesibilidad de las poblaciones a la contaminación.

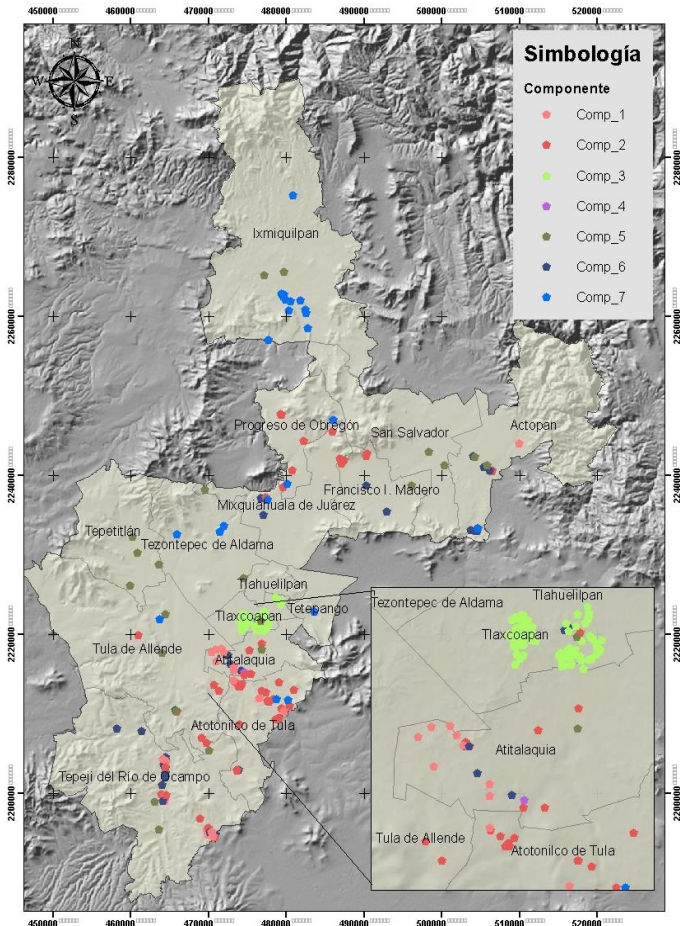


Figura 10 Localización de los grupos (componentes) de fuentes de contaminación. Fuente: elaboración propia con base en los datos del DENUE 2020 y datos vectoriales propios.

**Componente I.** Este grupo se encuentra representado por la actividad industrial y de manufactura en la que se producen bienes elaborados o semielaborados a partir de materias primas, conformado por la industria de agroquímicos, carboneras, parques industriales, termoeléctrica, refinería. La zona de mayor concentración de este grupo y por ende del riesgo que representa, se encuentra delimitado por los municipios de Tula de Allende, Tepeji del Río, Atotonilco de Tula, Atitalaquia, Tlaxcoapan, Tezontepec de Aldama, San Salvador y Actopan.

**Componente II.** Dicho grupo está asociado a actividades involucradas en la extracción, procesamiento y distribución de materia prima para la industria de la construcción, minería y servicios

similares, dentro de las que se identifican caleras, industria metalmeccánica, bancos de material, bloqueras, cementeras, ductos, PTAR y vertederos. De acuerdo a la ubicación geográfica, dicho grupo se encuentra ubicado principalmente en los municipios de Atotonilco de Tula, Tepeji del Río, Tula de Allende, Atitalaquia, Tlaxcoapan, Tezontepec de Aldama, Progreso de Obregón, Mixquiahuala, San Salvador, Actopan, Tlahuelilpan, Tetepango.

**Componente III.** Estas unidades económicas se encuentran representadas por fábricas y molinos conglomerados en la misma zona, en su mayoría se tratan de molinos de material pétreo. Debido a su cercanía se presenta una alta concentración de contaminantes específicos provenientes de este sector. La afectación generada por este grupo en particular se encuentra principalmente en el municipio de Tlaxcoapan, así como sus municipios colindantes (Tlahuelilpan, Tetepango, Atitalaquia).

**Componente IV.** Estas industrias extraen, procesan y distribuyen materia prima derivada del petróleo para la pavimentación de caminos. Dicho grupo se encuentra disperso en varios municipios de la región de emergencia ambiental desde Atotonilco de Tula, Atitalaquia, Tlaxcoapan, Tezontepec de Aldama, hasta Tula de Allende donde se encuentra la refinería Miguel Hidalgo.

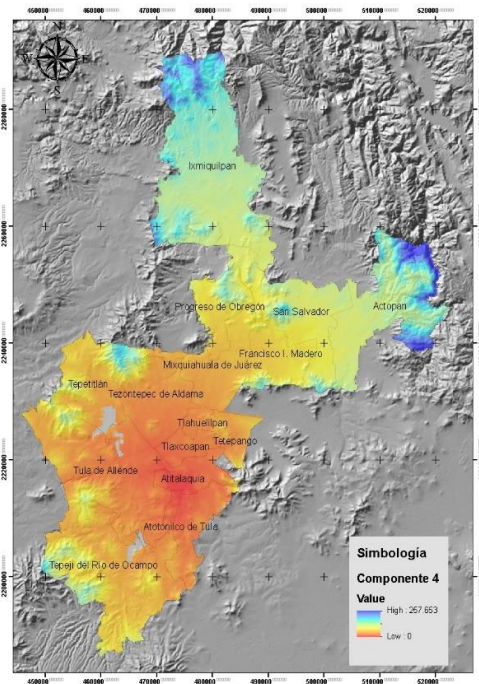
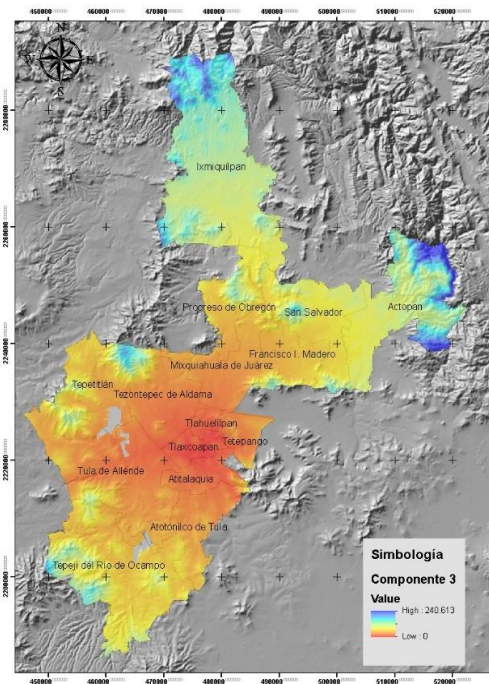
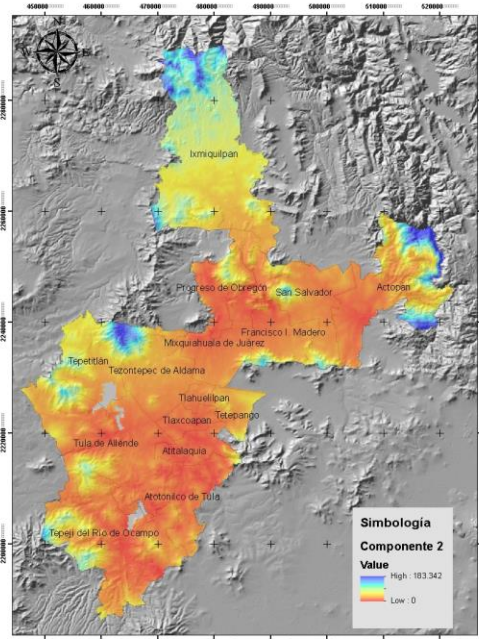
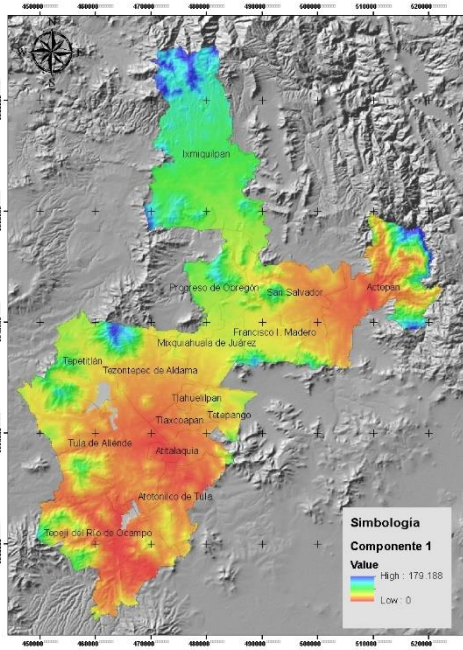
**Componente V.** El grupo particularmente se correlaciona por el procesamiento de aceites, lubricantes y productos para la industria automotriz, así como por su ubicación geográfica, donde se concentran contaminantes muy específicos que pueden causar afectaciones a la población. La percepción de afectación debida principalmente a las aguas residuales se ve reflejada en los municipios de Tepeji del Río Ocampo, Atotonilco de Tula, Tula de Allende, Tepetitlán, Atitalaquia, Tlaxcoapan, Tlahuelilpan, Tezontepec de Aldama, Tetepango, Mixquiahuala, Progreso de Obregón, Francisco I. Madero, Ixmiquilpan, San Salvador y Actopan.

**Componente VI.** Este grupo posee una dinámica particular debido a la relación de dependencia entre varios sectores de producción, además de estar en ubicaciones geográficamente próximas. La accesibilidad sin embargo es variable, independiente al grado de afectación que pueda ocasionar cada industria en particular. Se distribuye en los municipios de Tepeji del Río Ocampo, Atotonilco de Tula, Tula de Allende, Tepetitlán, Atitalaquia, Tlaxcoapan, Tlahuelilpan, Tezontepec de Aldama, Tetepango, Mixquiahuala, Progreso de Obregón, Francisco I. Madero, San Salvador y Actopan.

**Componente VII.** Esta unidad económica tiene alta representatividad geográfica, debido a la alta concentración de balnearios en locaciones estratégicas y por la cercanía de los depósitos de agua, así como la alta cantidad de residuos generados. Como consecuencia directa de la actividad de comercialización y turismo que se genera. De acuerdo al análisis realizado, se detectó que se encuentran ubicados en los municipios de Tula de Allende, Atotonilco de Tula, Atitalaquia, Tlaxcoapan, Tetepango, Tlahuelilpan, Tezontepec de Aldama, Tetepango, Mixquiahuala de Juárez, Progreso de Obregón, Francisco I. Madero, Ixmiquilpan y San Salvador.



### 3.3 Accesibilidad a las fuentes de contaminación



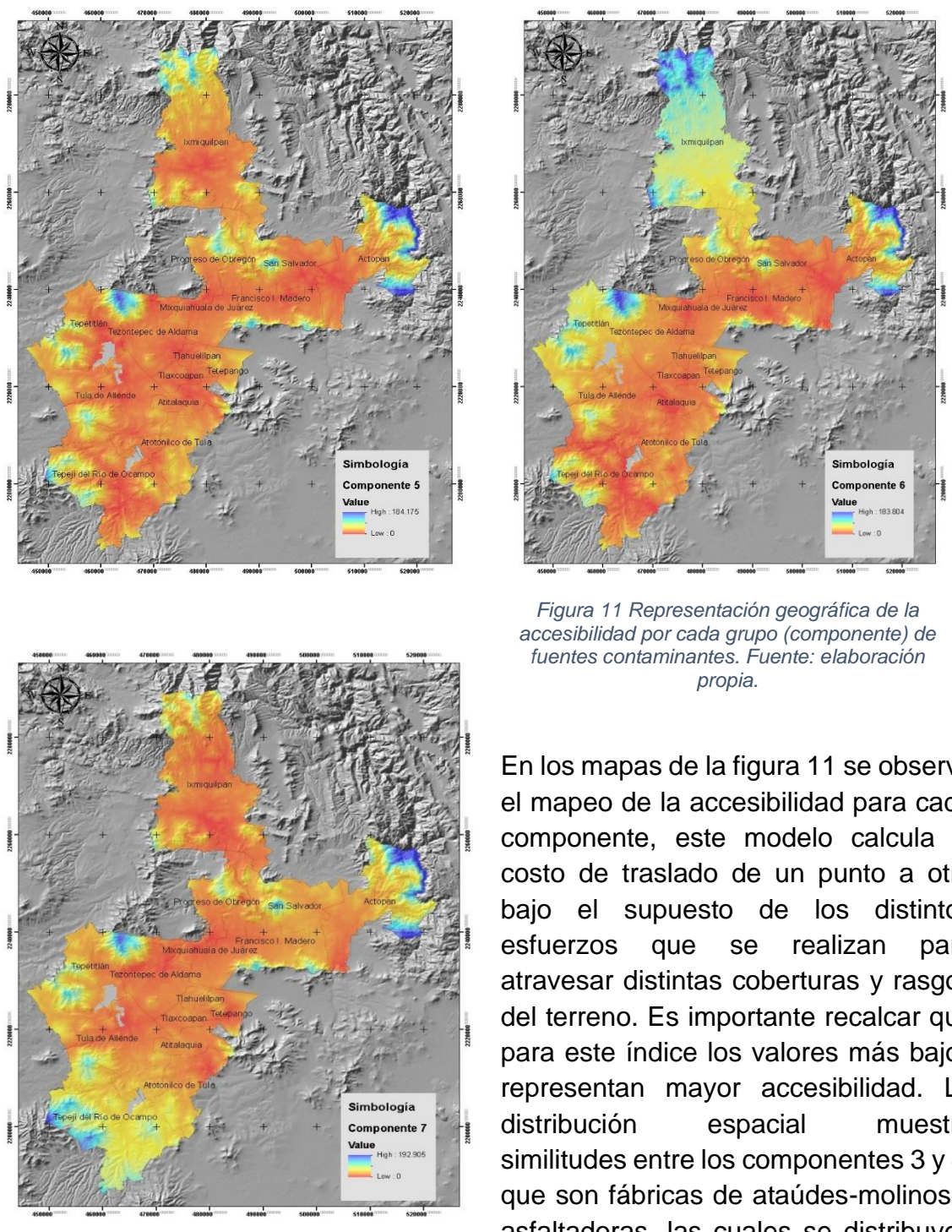


Figura 11 Representación geográfica de la accesibilidad por cada grupo (componente) de fuentes contaminantes. Fuente: elaboración propia.

En los mapas de la figura 11 se observa el mapeo de la accesibilidad para cada componente, este modelo calcula el costo de traslado de un punto a otro bajo el supuesto de los distintos esfuerzos que se realizan para atravesar distintas coberturas y rasgos del terreno. Es importante recalcar que para este índice los valores más bajos representan mayor accesibilidad. La distribución espacial muestra similitudes entre los componentes 3 y 4, que son fábricas de ataúdes-molinos y asfaltadoras, las cuales se distribuyen

cerca de la zona de Tlaxcoapan. De la misma manera, los componentes de construcción/bancos de material e industria alimentaria, gasera y textil (2 y 6) tienen una accesibilidad similar ya que sus fuentes se encuentran en clústers a lo largo de toda la RESA.

Por su parte los componentes 5 y 7, que son aceiteras/aguas residuales y balnearios también muestran una accesibilidad parecida. En el caso de estos componentes se observa que tienen alto índice de accesibilidad en una mayor parte del espacio geográfico.

### 3.4 Índice de vulnerabilidad

A continuación, se representa geográficamente el índice de vulnerabilidad (ver 2.6) obtenido para las localidades de la Región de Emergencia Sanitaria y Ambiental (figura 12), donde las localidades en color más rojo tienen más vulnerabilidad debido a sus características de acceso a servicios de salud, condiciones de marginación, porcentaje de grupos vulnerables, nivel de acceso a servicios de salud básicos y características demográficas tales como género y etnicidad.

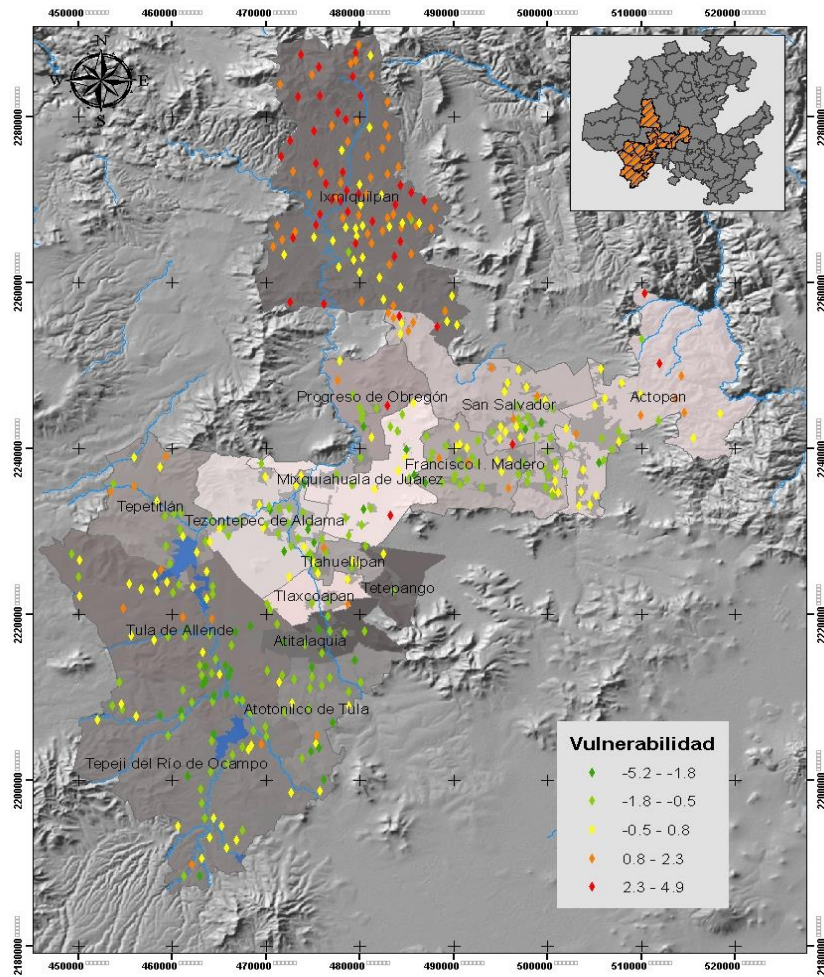


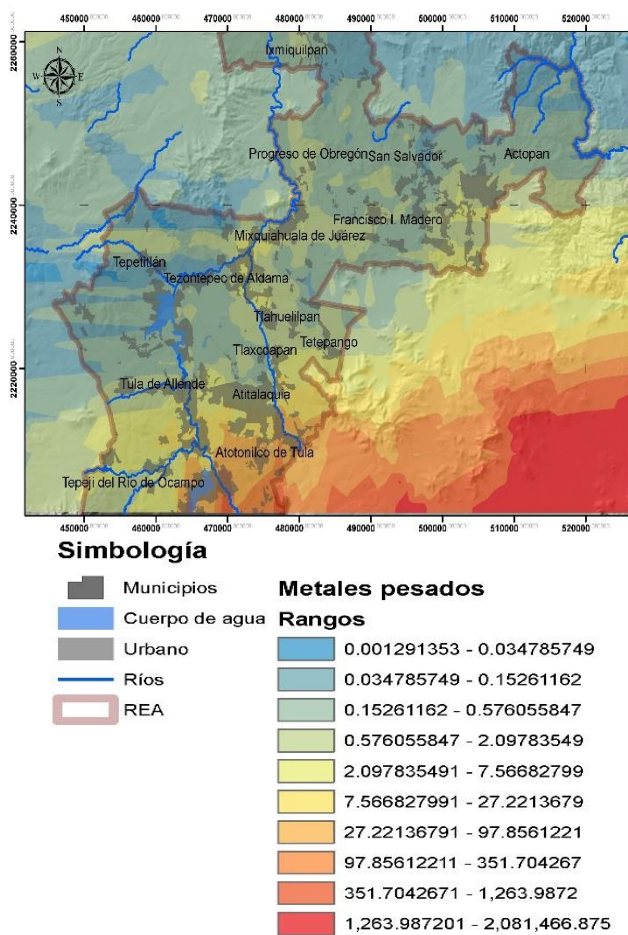
Figura 12 Mapa del índice de vulnerabilidad social a la contaminación con las localidades como unidades de análisis. Fuente: elaboración propia.

Se encontró que el índice de vulnerabilidad es mayor en la región noreste de la RESA, donde las localidades de Ixmiquilpan en su mayoría presentan menores condiciones socioeconómicas de resiliencia a las condiciones de contaminación.

### 3.5 Distribución geoestadística de metales pesados y su relación con los demás indicadores del estudio

Existe mayor presencia de metales en la porción sur de la RESA, la cual presenta un aumento de oeste a este (Figura 13). Cabe mencionar que, al no contar con total cobertura geográfica de datos de metales pesados, el ráster solamente pudo generarse para una parte de la región de estudio y la información se encuentra sesgada por los esfuerzos de muestreo.

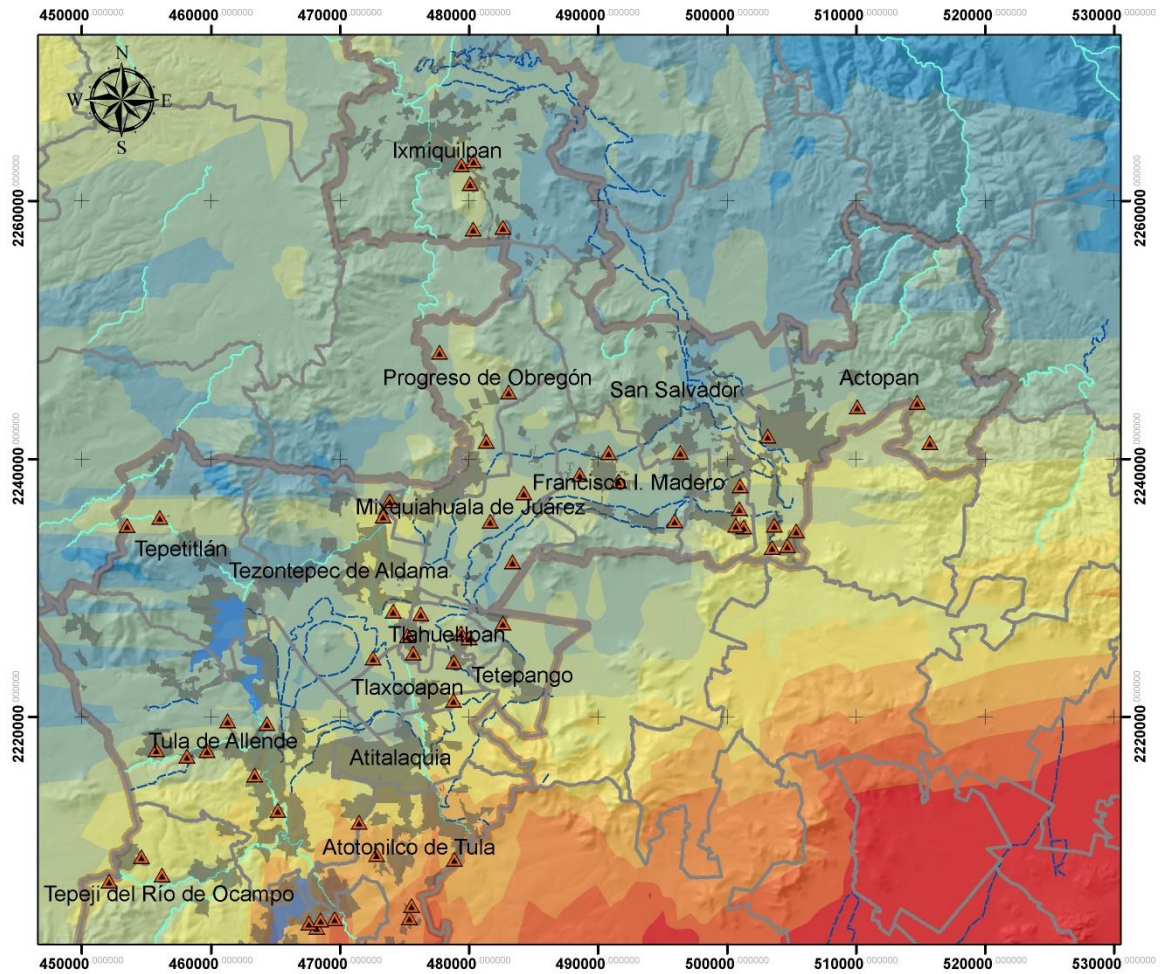
Los municipios que albergan un mayor índice de contaminación por metales pesados son Tepeji del Río, Atotonilco de Tula, Atitalaquia, Tula de Allende, Tetepango y Francisco I. Madero. Existen ciertas áreas con rangos medios y altos de contaminación por metales pesados, las cuales coinciden geográficamente con cuerpos de agua como la presa Requena, Endhó, el río Salado y el Río Tula. Igualmente se nota cierta cercanía con respecto a canales de riego, principalmente en los municipios de Mixquiahuala y Tlahuelilpan.



Los municipios que albergan un mayor índice de contaminación por metales pesados son Tepeji del Río, Atotonilco de Tula, Atitalaquia, Tula de Allende, Tetepango y Francisco I. Madero. Existen ciertas áreas con rangos medios y altos de contaminación por metales pesados, las cuales coinciden geográficamente con cuerpos de agua como la presa Requena, Endhó, el río Salado y el Río Tula. Igualmente se nota cierta cercanía con respecto a canales de riego, principalmente en los municipios de Mixquiahuala y Tlahuelilpan.

Los resultados de elegir aquellas localidades cuya vulnerabilidad social, accesibilidad a contaminantes y rango de metales pesados las pusiera en mayor riesgo se pueden observar en el mapa (figura 14)

Figura 13 Distribución de los rangos de concentración de metales pesados en la RESA. Fuente: elaboración propia.



**Simbología**

- Municipios
- Localidades vulnerables
- Cuerpo de agua
- Urbano
- canal250\_l
- Ríos
- REA

**Metales pesados**

**Rangos**

- 0.001291353 - 0.034785749
- 0.034785749 - 0.15261162
- 0.15261162 - 0.576055847
- 0.576055847 - 2.09783549
- 2.097835491 - 7.56682799
- 7.566827991 - 27.2213679
- 27.22136791 - 97.8561221
- 97.85612211 - 351.704267
- 351.7042671 - 1,263.9872
- 1,263.987201 - 2,081,466.875



Figura 14 Ubicación de las localidades socialmente vulnerables por la posible presencia de metales pesados. Fuente: elaboración propia.

En la tabla 13 se enlistan las localidades y los municipios a los que pertenecen, aquellos con mayor número de localidades en riesgo son Tula de Allende (9), Actopan (8) y Tepeji del Río (6).

Tabla 13 Localidades vulnerables por municipio. Fuente: elaboración propia.

Municipio	Localidad	Número de localidades
Actopan	San Diego Canguihuindo, Cuauhtémoc, Chicavasco, Santa María Magdalena, San Andrés Tianguistengo, Casa Blanca, Segunda Manzana Chicavasco (El Pozo), Cuarta Manzana Chicavasco (La Ladera)	8
Atotonilco de Tula	El Pedregal, Bathá, Vito (Fabricio Álvarez Estrada), Santa Cruz del Tezontle	4
Francisco I. Madero	Las Coronas, Las Fuentes, Los Hoyos, El Represo	4
Ixmiquilpan	Dios Padre, Maguey Blanco, El Tablón, El Barrido, El Valante	5
Mixquiahuala de Juárez	Árbol Grande, El Cerrito, El Colorado	3
Progreso de Obregón	El Xamú, El Dho, Dotzibi (Lomas de Xochitlán)	3
San Salvador	Quemtha, El Tablón, Leandro Valle, El Fresno, Pacheco Leandro Valle	5
Tepeji del Río de Ocampo	El Banco (El Banco Vega de Madero), Dos Peñas, Benito Juárez, El Zapote, La Estancia 1ra Sección, Presa Escondida	6
Tepetitlán	Encinillas, Palo Alto	2
Tetepango	Ulapa de Melchor Ocampo	1
Tezontepec de Aldama	Santa María Bathá, La Palma, Manantiales de Cerro Colorado, Colonia de Presas	4
Tlahuelilpan	La Media Luna, Dexhé, Cerro de Gómez, Guadalupe (Cerro del Tezontle), Cerro el Gavilán	5
Tlaxcoapan	Teltipan de Juárez, Camino el Tecolote	2
Tula de Allende	San Andrés (San Andrés Tultepec), Xochitlán de las Flores, Tenjay, El Saabi, Xonthé, 16 de Enero 2da. Ampliación (El Tesoro), Cerrito del Tepeyac, La Vuelta del Río, Ejido de Acoculco (Dos Peñas)	9

En total, 61 localidades de la RESA se consideraron prioritarias para el monitoreo de los niveles de metales pesados (tabla 13).

#### **4. Discusión y conclusiones**

En cuanto a los indicadores de percepción ciudadana de la contaminación, resalta que las fuentes de contaminación que más percibe la población en general son las de actividades industriales, en especial las de generación de energía eléctrica, seguidas por las relacionadas con la construcción, bancos de materiales y actividades agrícolas. En comparación los encuestados perciben como más cercanos a las termoeléctricas, parques industriales y cementeras.

De acuerdo con las localidades vulnerables se observa que están ubicadas en zonas de la RESA con distintas vocaciones productivas, aunque la constante sigue siendo la presencia de agua residual. Con respecto al IPCAR las localidades de Chicavasco, Quemta, El Fresno, El Tablón, San Andrés Tultepec, La Media Luna, Ulapa, La Vuelta del Río, El Banco, El Pedregal, Santa Cruz, Maguey Blanco y Dios Padre presentan un índice muy alto y a su vez forman parte de las localidades con mayor vulnerabilidad por contaminación. Esto es particularmente interesante si consideramos la relación espacial entre cuerpos de agua, canales y ríos con dichas áreas.

Si bien esta interacción tiene una gran relevancia con la actividad agrícola de estas zonas (Salazar-García, 2019), es necesario realizar esfuerzos de muestreo de mayor cobertura y contrastar con datos epidemiológicos para determinar a la población objetivo de políticas públicas que compensen el posible daño en la salud provocado y mitigar los efectos colaterales de la presencia de contaminantes.

Es importante notar que el municipio de Atitalaquia presenta índices de vulnerabilidad baja y muy baja, por lo cual no se incluyó en el resultado final, sin embargo, una gran parte de los encuestados en este municipio relacionan ciertos padecimientos a la contaminación. Esto no implica una relación de causalidad directa, ya que se requieren datos epidemiológicos más precisos para poder realizar estadísticas significativas sobre fuentes contaminantes y su relación con la ocurrencia enfermedades.

Hablar de contaminantes y su distribución a nivel regional requiere de aproximaciones complejas e incluso puntuales para poder determinar los alcances reales de la interacción entre estos compuestos y la población. Si bien los indicadores de percepción sobre la contaminación que se calcularon para este estudio están sesgados por la representatividad de la encuesta y la falta de datos actualizados sobre concentraciones de los distintos compuestos, la participación ciudadana alcanzada refleja la preocupación actual por la contaminación de los habitantes. En contraste, no se tiene reporte de programas de remediación

ambiental de gran alcance en la RESA a pesar de la preocupación externada por instituciones federales e internacionales.

A manera de reforzar la base de datos de contaminantes y tener resultados más significativos en otras categorías de compuestos con gran impacto en la salud humana, es necesario realizar un esfuerzo de muestreo reciente con mayor cobertura geográfica, ya que los datos se obtuvieron en distintas escalas temporales y presentan ciertos vacíos geográficos a lo largo de la RESA. Esto es particularmente relevante al observar el aumento en el número de industrias dentro de la RESA y la alimentación constante de los canales de riego con el agua no tratada de la ZMVM.



## 5. Referencias

Acosta-Álvarez, M. M., & Sandoval, O. A. A. (2007). Determinación de metales pesados en suelos agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud en Tabasco. Secretaría de Salud del Estado de Tabasco. (1) 333-338.

Almanza, V., Molina, L. T., Li, G., Fast, J., & Sosa, G. (2014). Impact of external industrial sources on the regional and local air quality of Mexico Megacity (p. 15212). <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2014EGUGA..1615212A>

Bautista-Olivas, A. L., Cruz-Bautista, F., Álvarez-Chávez, C. R., Zavala-Reyna, A. G., Sánchez-Landero, L. A., & Alvarado-Ibarra, J. (2017). Concentration of heavy metals in condensed atmospheric water vapor at three Mexican localities. *Atmósfera*. 30, 209–220. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-62362017000300209&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362017000300209&nrm=iso)

Barreda, A. (2021). Las Regiones de Emergencia Ambiental: definición y localización en México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. <https://www.youtube.com/watch?v=8tqzYRPhOIs>

Broszat, M., H. Nacke, R. Blasi, C. Siebe, J. Huebner, R. Daniel, E. Grohmann and M. V. Yates (2014). Wastewater Irrigation Increases the Abundance of Potentially Harmful Gammaproteobacteria in Soils in Mezquital Valley, Mexico. *Applied and Environmental Microbiology*. 80(17): 5282-5291.

Cajuste, L. J., Carrillo, R. G., Cota, E. G., & Laird, R. J. (1991). The distribution of metals from wastewater in the Mexican Valley of Mezquital. *Water, Air, and Soil Pollution*. 57(1), 763–771. <https://doi.org/10.1007/BF00282940>

Calzada, M. A. H. (2010). Caracterización de los balnearios de la zona del Valle del Mezquital en el Estado de Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Chávez-Mejía, A. C., Ramos-Ramírez, I. A., Uscanga-Roldan, D., & Jiménez-Cisneros, B. E. (2017). "Detección de microcontaminantes orgánicos en el agua residual de la Ciudad de México".

Chávez-Mejía, A. C., I. Navarro-González, R. Magaña-López, D. Uscanga-Roldán, P. I. Zaragoza-Sánchez and B. E. Jiménez-Cisneros (2019). "Presence and natural treatment of organic micropollutants and their risks after 100 years of incidental water reuse in agricultural irrigation." *Water* 11(10): 2148.

Chávez, A., C. Maya, R. Gibson and B. Jiménez (2011). "The removal of microorganisms and organic micropollutants from wastewater during infiltration to aquifers after irrigation of farmland in the Tula Valley, Mexico." *Environmental Pollution* 159(5): 1354-1362.

Chimal-Sánchez, E., García-Sánchez, R., & Hernández-Cuevas, L. V. (2015). Gran riqueza de hongos micorrizógenos arbusculares en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Micología*, 41, 15–26.

CONABIO. (2022, agosto 12). Portal de Geoinformación. SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN SOBRE BIODIVERSIDAD (SNIB). <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

CONAPO. (2022, agosto 17). Índice de marginación (carencias poblacionales) por localidad, municipio y entidad.

Comisión Nacional de los Salarios Mínimos (CONASAMI). (2021, agosto 17). Incremento a los Salarios Mínimos para 2022.

Cornejo, F., López-herrera, M., Beltrán-Hernández, R. I., Acevedo, O., & Lucho-Constantino, C. (2012). Degradación del suelo en el Distrito de riego 003 Tula, Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12, 873–880.

Cruz, R. B. E. C., Martínez, A. J. G., & Beltrán, Á. C. J R. I. de C. A. (2003). Inventario de contaminación emitida a suelo, agua y aire en 14 municipios del estado de Hidalgo, México. 19(4), 171–181.

DENUE. (2022, agosto 17). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>.

Díaz, A., & Peña-Alvarez, A. (2017). A Simple Method for the Simultaneous Determination of Pharmaceuticals and Personal Care Products in River Sediment by Ultrasound-Assisted Extraction Followed by Solid-Phase Microextraction Coupled with Gas Chromatography–Mass Spectrometry. *Journal of Chromatographic Science*, 55(9), 946–953. <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmx058>

Flores-Díaz, A. (1974). Los Suelos de la República Mexicana. Col. SEP-INAH, México, pp. 98-107

Flores-Magdaleno, H., Mancilla-Villa, O. R., & Bautista-Olivas, A. L. (2011). Heavy metals in agricultural soils and Irrigation wastewater of Mixquiahuala, Hidalgo, Mexico. *African Journal of Agricultural Research*, 6.

Frakes, B., T. Flowe, and Sherrill, K. R. (2015). National Park Service travel time cost surface model (TTCSM): March 2015. Natural Resource Report NPS/NRSS/NRR—2015/933. National Park Service. Fort Collins, Colorado

García-Salazar, E. M. (2019). "El agua residual como generadora del espacio de la actividad agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México." *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*. 29.

Guédron, S., Duwig, C., Prado, B. L., Point, D., Flores, M. G., & Siebe, C. (2014). (Methyl)Mercury, Arsenic, and Lead Contamination of the World's Largest Wastewater Irrigation System: The Mezquital Valley (Hidalgo State—Mexico). *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(8), 2045. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2045-3>

Gibson, R., Durán-Álvarez, J. C., Estrada, K. L., Chávez, A., & Jiménez Cisneros, B. (2010). Accumulation and leaching potential of some pharmaceuticals and potential endocrine disruptors in soils irrigated with wastewater in the Tula Valley, Mexico. *Chemosphere*, 81(11), 1437–1445. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.09.006>

Hernández-Arellano, M. (2020). Percepción del Riesgo por contaminación ambiental a causa de las cementeras y caleras, en Atotonilco de Tula, Hidalgo y Apaxco, Edo de México.

Hernández-Silva, G., Flores-Delgadillo, L., Maples-Vermeersch, M., Solorio-Munguía, J. G., & Alcalá-Martínez, J. R. (1994). Riesgo de acumulación de Cd, Pb, Cr y Co en tres series de suelos del DR03, Estado de Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 11(1), 53–61.

INEGI. (2022). Habitantes del Estado de Hidalgo. <https://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mex/poblacion/>.

INEGI (2020) Principales resultados por localidad ITER. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/>

Iniciativa Climática de México. (2021, August 18). Descarbonización del Sector Energía. <https://www.iniciativaclimatica.org/>.

Jiménez, B. E. (2001). La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada, Limusa.

Jiménez, B. (2010). The unintentional and intentional recharge of aquifers in the Tula and the Mexico Valleys: The Megalopolis needs Mega solutions. Rosenberg Symposium, Buenos Aires, Argentina.

Lara-Viveros, F. M., A. Ventura-Maza, M. Ehsan, A. Rodríguez-Ortega, J. Vargas-Monter and N. Landero-Valenzuela (2015). "Contenido de Cd Y Pb en suelo y plantas de diferentes cultivos irrigados con aguas residuales en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México." *Revista internacional de contaminación ambiental* 31(2): 127-132.

Lesser, L. E., A. Mora, C. Moreau, J. Mahlknecht, A. Hernández-Antonio, A. I. Ramírez and H. Barrios-Piña (2018). Survey of 218 organic contaminants in groundwater derived from the world's largest untreated wastewater irrigation system: Mezquital Valley, Mexico. *Chemosphere* 198: 510-521.

Lesser, L., Lesser-Illades, J., Arellano-Islas, S., & González-Posadas, D. (2011). Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle del Mezquital, México central. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 28, 323–336.

López-Aguilar, Fernando. (2015) "El paleoclima y el paleopaisaje del Valle del Mezquital: una lectura múltiple". Academia Mexicana de Ciencias Antropológicas.

Marín-Galvín, R., Ripollés-Pascual, F., Santateresa-Forcada, E., Lahora-Cano, A., González-Canal, I., Mantecón-Pascual, R., Rodríguez-Amaro R. (2009) "Contaminación convencional, sustancias prioritarias y contaminantes emergentes en saneamientos públicos españoles". *Tecnología del Agua*. 313, 40:54.

Martínez-Carrillo, M. A., Solís, C., Andrade, E., Isaac-Olivé, K., Rocha, M., Murillo, G., Beltrán-Hernández, R. I., Lucho-Constantino, C. A. % M. J. (2010). "PIXE analysis of *Tillandsia usneoides* for air pollution studies at an industrial zone in Central Mexico". 96(2), 386–390.

Miranda-Millán, F.J. (2019, 07,16). Declaran emergencia ambiental en Tula, Hidalgo; presa Endhó con altos niveles de Mercurio. Noticieros Televisa.

Ontiveros-Capurata, R. E., L. Diakite-Diakite, M. E. Álvarez-Sánchez and P. M. Coras-Merino (2013). "Evaluación de aguas residuales de la ciudad de México utilizadas para riego." *Tecnología y ciencias del agua* 4(4): 127-140.

Pérez-Díaz, J. P., Ortega-Escobar, H. M., Ramírez-Ayala, C., Flores-Magdaleno, H., Sánchez-Bernal, E. I., Can-Chulim, Á., & Mancilla-Villa, O. R. (2019). Evaluación de la calidad del agua residual para el riego agrícola en Valle del Mezquital, Hidalgo. *Acta Universitaria*, 29, 1–21. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2117>

Pérez, R., Jiménez, R., Jiménez, B., & Chavez, A. (2000). El agua del valle del Mezquital, ¿fuente de abastecimiento para el Valle de México? XII Congreso Nacional Ciencia y Conciencia Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales: Vol: I.

Prieto-García, Francisco, Callejas H., Judith, Lechuga, María de los Ángeles, Gaytán, Juan C., & Barrado E., Enrique. (2005). Acumulación en tejidos vegetales de arsénico proveniente de aguas y suelos de Zimapán, Estado de Hidalgo, México. *Bioagro*, 17(3), 129-136. Recuperado en 25 de agosto de 2022, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612005000300001&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612005000300001&lng=es&tlng=es).

Prieto-García, F., Lucho-Constantino, C. A., Poggi-Vañardo, H., Álvarez-Suárez, M., & Barrado-Esteban, E. (2007). Caracterización fisicoquímica y extracción secuencial de metales y elementos trazas en suelos de la región Actopan-Ixmiquilpan del distrito de riego 03, Valle de Mezquital, Hidalgo, México. *Ciencia Ergo Sum*, 14(1), 69–80.

Prieto García, F., Prieto Méndez, J., Callejas Hernández, J., Román Gutiérrez, A. D., & Méndez Marzo, M. A.J. (2010). Bioacumulación de arsénico en las etapas de desarrollo de la cebada maltera (*Hordeum distichon* L.) *Revista mexicana de ciencias agrícolas*.1(1), 37–44.

Prieto García, F., Monroy García, R., Méndez Prieto, J., & Méndez Benítez, M. (2015). Impacto en salud por metales: metodología clínico ambiental aplicada en Xochitlán, Valle del Mezquital, México. *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, 16(2), 16–24.

SEMARNAT. (2019). Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire en el Estado de Hidalgo (Estado de Hidalgo). Hidalgo.

Ramón Zamora, F., N. J. Rodríguez Guevara, D. G. Torres Rodríguez and H. J. Yendis Colina (2009). "Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana en suelos de la llanura de Coro, Venezuela." *Agricultura técnica en México*. 35: 211-218.

Registro Agrario Nacional (2019) Perimetrales núcleos agrarios Entidad Federativa Hidalgo. Datos abiertos de México. Recuperado de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/datos-geograficos-perimetrales-de-los-nucleos-agrarios-certificados-por-estado/resource/31211ca8-0982-45d7-b313-cf69e43afe15>

Reynoso, S. C., Alcántara, A. L. N., Telles, M. H., & Azul, C. E. C. (2013). Autodepuración de la presa Endhó en Hidalgo.

Rodríguez-Rivera, S., & Carlos, R. L. J. (2017). Evaluación del neurodesarrollo en niños expuestos a plomo en la zona industrial de Tula de Allende, Hidalgo. Instituto de Ciencias de la Salud. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Robledo Zacarías, V. H., Velázquez Machuca, M. A., Montañez Soto, J. L., Pimentel Equihua, J. L., Vallejo Cardona, A. A., López Calvillo, M. D., & Venegas González, J. (2017). Hidroquímica y contaminantes emergentes en aguas residuales urbano industriales de

Morelia, Michoacán, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(2), 221–235. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.02.04>.

Rubio-Franchini, I., López-Hernández, M., Ramos-Espinosa, M., & Rico-Martínez, R. (2015). Bioaccumulation of Metals Arsenic, Cadmium, and Lead in Zooplankton and Fishes from the Tula River Watershed, Mexico. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2702-1>

Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México* (Limusa).

SEDEMA (2015). Registro de Descargas de Aguas Residuales de la Ciudad de México. Secretaría De Salud Estatal De Hidalgo (SESEH). (2022). Atlas de Riesgos por Desastres en Salud. <https://Atlas.Ssh.Gob.Mx/>.

Secretaría de Programación y Presupuesto. (1983) Carta Edafológica Pachuca F14 11. Escala 1:250,000. México, 1983.

Siebe, C. (1994). Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el Distrito de Riego 03, Tula, Hidalgo, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 10.

Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). (2022). Distritos y Unidades de Riego. Gobierno de México.

Vázquez-Alarcón, A., Justine-Cajuste, L., Alcantar-González, G., de la Isla de Bauer, M. de L., & Siebe-Grabach, C. (2001). Cadmio, Níquel y Plomo en agua residual, suelo y cultivos en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Agrociencia*, 35(3), 267-274

## 6. Bibliografía

Secretaría de Salud. (2022). *NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua*. Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Salud. (2022). *Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1997, Establece los límites máximos permisibles para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público*. Diario Oficial de la Federación.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2022). *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Establece los límites permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación*. Diario Oficial de la Federación.

Instituto Nacional de Ecología (1993). *NORMA Oficial Mexicana NOM-CCA-033-ECOL/1993, que establece las condiciones bacteriológicas para el uso de aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de estas con la de los cuerpos de agua, en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas*. Diario Oficial de la Federación.

US EPA (2018). *National Primary Drinking Water Regulations*. Recuperado el 20 de julio de 2022 de [www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations](http://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations)

US EPA (2021). *Effluent Limitations Guidelines and Standards (ELG) Database*. Recuperado el 31 de julio de 2022 de <https://owapps.epa.gov/elg/>

## 7. Anexos

### Anexo 1. Encuesta de percepción de contaminantes

#### COMPONENTE DEMOGRÁFICO

1.- ¿A qué municipio pertenecen?

Actopan

Atitalaquia

Atotonilco de Tula

Francisco I. Madero

Ixmiquilpan

Mixquiahuala de Juárez

Progreso de Obregón

San Salvador

Tepeji del Río de Ocampo

Tepetitlán

Tetepango

Tezontepec de Aldama

Tlahuelilpan

Tlaxcoapan

Tula de Allende

2.- Selecciona tu edad

Rangos de edad

15-18 años

19-25 años

26-40 años

40-60 años

Mayor de 60 años

3.- Selecciona tu género

Femenino

Masculino

Sin género

Otro

4.- ¿Pertenece a algún grupo indígena?

Si

No



5.- Selecciona tu grado de escolaridad

Ninguno

Primaria incompleta

Primaria completa

Secundaria incompleta

Secundaria completa

Medio Superior

Superior

Posgrado

6.- ¿Con qué tipo de servicio de salud cuentas?

IMMS

ISSSTE

Seguro Popular/Insabi

PEMEX

SEDENA

Ninguno

7.- Ocupación:

Ama de casa

Campo

Comercio / Servicio

Empresario

Empleado

Estudiante

Funcionario de Gobierno

Industria

Técnico

Turismo

Desempleado

8.- Cerca de tu vivienda hay:

	0-500 m	500 m - 1 km	1 - 2 km	Más de 2 km	No hay
Cuerpo de aguas de residuales*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cementeríos*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vías carreteras con importante circulación vehicular*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zonas inundables*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zonas de cultivo*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ductos u oleoductos*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fábricas, ladrilleras, cementeras*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bancos de material, minas o arenas*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Refinería*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9.- En caso de conocer otra instalación industrial, indica:

11.- Personas a tu alrededor, incluyéndote, ¿han presentado enfermedades de la siguiente tabla que crees pueden estar relacionadas a la contaminación?

	Ninguna	Una persona	De dos a tres personas	Más de tres personas
Anemia*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Anomalías reproductivas*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cáncer*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Daño en el estómago*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Daño en el hígado*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Daño en el riñón*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Daño neurológico*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Intoxicación*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lesiones en la piel*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Malformación en recién nacidos*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Problemas en el embarazo*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Problemas respiratorios*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
COVID-19*	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

12.- En caso de conocer otra, especifica aquí:

13.-¿Dónde consideras que pudo verse expuesto al contaminante que le causó ese padecimiento?

Campos de cultivo  
Instalación industrial  
Minas  
Montaña  
Comercios  
Escuela  
Hogar  
Oficina  
Balnearios y otras instalaciones turísticas  
Otro (especifica):

#### COMPONENTE AGUA

13.- ¿Cuentas con servicio de agua potable?

Si

No

14.- ¿De dónde obtienes el agua?

Pozo

Manantial

Pipas

Grifo/Garrafón

15.- ¿Con qué tipo de drenaje cuentas?

Red pública de drenaje

Fosa séptica

No cuento con servicio de drenaje

Otro (especifica):

16.- ¿Hay plantas de tratamiento de aguas en tu municipio?

Sí, se encuentran funcionando

Sí, pero no funcionan

No

No lo sé

17.- ¿Sabes en qué localidad se encuentra la planta de tratamiento?

Si

No

18.- Señala en el mapa la ubicación del lugar que tú consideras es el más contaminado de tu municipio.



19.- ¿Existen lugares de disposición de medicamentos?

Sí, no sé dónde se encuentra

Sí, sé dónde se encuentra

No

20.- ¿Cómo consideras la contaminación en agua debido al turismo en los balnearios?

Es demasiada, es un problema ambiental.

Es una cantidad normal de contaminación.

La cantidad no es un problema, ya que el turismo es necesario para muchas personas

Prácticas agrícolas

21.- ¿Sabes si en los cultivos se usan agroquímicos?

Sí, se usan.

No se usan.

Desconozco si se usan.

22.- ¿Con qué frecuencia crees que se usan los agroquímicos?

Una vez o menos por temporada

De dos a tres veces por temporada

Más de tres veces en la temporada

23.- ¿Conoces los nombres de alguno de ellos?

DDT

Paraquat

Clorpirifos

Endosulfan

Dimetoatos

Sipermetrinas

Lamdas

Nitratos

Gifosfatos

Fósforo  
Potasio  
Urea  
Fosfonitrato  
Sulfato de amonio  
Aminoácidos  
Algas marinas  
Abonos foliares  
No los conozco  
Otro (especifica):

24.- ¿Cómo crees que se consiguen?

Los compran  
Se obtienen a través de programas de gobierno  
Como subproducto de otras actividades (por ejemplo, el estiércol)

#### PRÁCTICAS INDUSTRIALES

25.- ¿Has notado que alguna industria vierta residuos en ríos, canales o cuerpos de agua?

Si  
No

26.- ¿Has visto alguna práctica de remediación del agua?

Limpiado con barreras físicas  
Limpiado con sustancias químicas  
Limpiado con polvos  
Nunca he visto que limpien el agua / Desconozco si se cuenta con ese servicio en mi localidad

#### COMPONENTE SUELO

27.- ¿Con qué frecuencia pasa el servicio de recolección de basura?

Nunca, pero existe el servicio en mi localidad  
No cuento con el servicio  
Menos de una vez a la semana  
Una vez a la semana  
Más de una vez a la semana

28.- ¿ En tu municipio existe un relleno sanitario o un lugar dónde disponer de residuos?

Sí, existe un relleno sanitario / basurero / tiradero

No, sólo existen tiraderos clandestinos

No lo sé

29.- ¿Conoces la ubicación de dichos tiraderos?

Si

No

30.- ¿Existen lugares de disposición de electrónicos?

Si

No

31.- ¿Sabes dónde se encuentran estos lugares?

Si

No

32.- ¿Existe algún lugar de disposición de baterías?

Si

No

33.- ¿Sabes dónde se encuentran estos lugares?

Si

No

34.- ¿Qué piensas sobre la cantidad de basura que generan los tianguis?

Es demasiada, es un problema ambiental

Es una cantidad normal de basura

La cantidad no es un problema, ya que el tianguis es necesario para muchas personas

35.- ¿Qué piensas sobre la cantidad de basura que se genera por el turismo?

Es demasiada, es un problema ambiental

Es una cantidad normal de basura

La cantidad no es un problema, ya que el turismo es necesario para muchas personas.

## PRÁCTICAS AGRÍCOLAS

36.- ¿Sabes qué tipo de cultivos se producen en tu localidad?

Si

No

37.- ¿Los cultivos de tu localidad se riegan con aguas residuales?

Si

No

No lo sé

38.- ¿Sabes si se cultivan hortalizas y otros alimentos de consumo directo?

Sí se cultivan  
No se cultivan  
No lo sé

39.- ¿Sabes si utilizan algún tipo de agroquímico?

Fertilizante  
Herbicida (para evitar malezas)  
Insecticida (para evitar plagas)  
Funguicida (para evitar hongos)  
No lo sé

40.- ¿En tu municipio existe un rastro?

Sí  
No  
No lo sé

41.- En tu Municipio, ¿Cómo se dispone del estiércol de los animales?

Se usa de fertilizante una parte y otra se desecha, por ejemplo, a un canal

Solo se tira

Se usa de fertilizante

Se genera biogás

No lo sé

## PRÁCTICA INDUSTRIAL

42.- ¿Has notado si alguna de las industrias vierte algunos de los siguientes contaminantes en algún tiradero a cielo abierto?

Desechos de construcción  
Desechos como restos de metal, birlos, esquirlas  
Pedacería de ladrillos, azulejos, cerámicas  
Plásticos/bolsas  
Solventes o pinturas  
Grasas  
Pedacería de telas, hilos, etc.  
Colorantes  
Medicamentos o agroquímicos  
Desechos orgánicos como restos de comida o de material que se descompone  
Residuos hospitalarios  
Baterías y electrónicos  
No he notado si vierten contaminantes

Otro (especifica):

Si tu pregunta fue afirmativa escribe la localidad donde sucede:

43.- ¿Has visto alguna práctica de remediación de suelo?

Limpiado en aireación

Limpiado con plantas y hongos

Limpiado con sustancias químicas

Limpiado con sustancias naturales

Nunca he visto que limpien el suelo de contaminantes

Otro (especifica):

#### COMPONENTE AIRE

44.- Donde no pasa el servicio de recolección de basura, o bien, cuando no pasa, ¿qué se hace con los residuos?

Se quema

Se quema para fin utilitario (boiler, hornos, como leña)

Se hace composta

Otro (especifica):

45.- En tu municipio, ¿Qué tipo de vehículos de transporte consideras afecta más la calidad del aire?

Camión de pasajeros

Combis

Coches particulares

Tractores y camiones de carga

Otro (especifica):

Prácticas Agrícolas

47.- ¿Qué uso se le da al residuo vegetal en tu municipio?

Se da a los animales

Se deja que se descomponga en el suelo

Se quema

No lo sé

Otro (especifica):

Prácticas Industriales

47.- ¿Qué tipo de fábricas o industrias existen en tu municipio?

Cementeras

Ladrilleras

Caleras

Industria alimentaria

Industria textil



Metal-mecánica

Industria química (pinturas, plásticos, adhesivos, etc.)

Petroquímica

No lo sé

Otro (especifica

48.- ¿Has notado que alguna de ellas produce una especial cantidad de humo/olores y/o polvos?

Si

No

49.- ¿Conoces algún accidente ocasionado por el derrame o dispersión de las siguientes sustancias peligrosas?

	Sí	No
Hidrocarburos u otros inflamables	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Agroquímicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Solventes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Corrosivos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Radioactivos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Infecciosos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

50.- ¿Qué aplicación de medidas para remediar la calidad del aire has visto?

Hoy no circula

Estaciones de monitoreo

Verificación

Se captan polvos o gases

No he visto esfuerzos para mejorar la calidad del aire

Otro (especifica):

¿Hay algún otro aspecto importante sobre la contaminación en el Valle del Mezquital que sea necesario considerar?

Describirlo brevemente.

¿Te apoyó en la encuesta algún encuestador?

No

Si (Escribe su nombre)

**Anexo 2. Clasificación de compuestos reportados en la RESA de acuerdo a Galvín (2017)**

<b>Alquifenoles y otros compuestos orgánicos</b>
Dietilftalato (C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub> ), xietilhexilftalato (DEHP), fenoles (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O), isoforona (C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> O), piridina (C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N), tetracloroetileno (C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> )
<b>Compuesto orgánico volátil</b>
1,2-dicloroetano (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> ), benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ), cloroformo (CHCl <sub>3</sub> ), COVs, etilbenceno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> ), naftaleno (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> ), tolueno (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> ), xileno (C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ).
<b>Compuestos farmacéuticos</b>
1,7-dimetilxantina (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> N <sub>4</sub> O <sub>2</sub> ), 10-hidroxi-amitriptilina (10HA), 17β-estradiol (C <sub>18</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub> ), 2-hidroxi-ibuprofeno (C <sub>13</sub> H <sub>19</sub> O <sub>3</sub> ), 4-epitetraciclina (4-EPT), ácido oxolínico (C <sub>13</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>5</sub> ), ácido salicílico (C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> ), albuterol (C <sub>13</sub> H <sub>21</sub> NO <sub>3</sub> ), amitriptilina (C <sub>20</sub> H <sub>23</sub> N), atenolol (C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), atorvastatina (C <sub>33</sub> H <sub>35</sub> N <sub>2</sub> FO <sub>5</sub> ), azitromicina (C <sub>38</sub> H <sub>72</sub> N <sub>2</sub> O <sub>12</sub> ), carbamazepina (C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O), cimetidina (C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> N <sub>6</sub> S), ciprofloxacina (C <sub>17</sub> H <sub>18</sub> FN <sub>3</sub> O <sub>3</sub> ), diazepam (C <sub>16</sub> H <sub>13</sub> CIN <sub>2</sub> O), diclofenaco (C <sub>14</sub> H <sub>11</sub> Cl <sub>2</sub> NO <sub>2</sub> ), diltiazem (C <sub>22</sub> H <sub>26</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> S), enalapril (C <sub>20</sub> H <sub>28</sub> N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), enrofloxacin (C <sub>19</sub> H <sub>22</sub> FN <sub>3</sub> O <sub>3</sub> ), eritromicina-H <sub>2</sub> O (C <sub>37</sub> H <sub>67</sub> NO <sub>13</sub> ), estrona (C <sub>18</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub> ), flumequina (C <sub>14</sub> H <sub>12</sub> FNO <sub>3</sub> ), fluoxetina (C <sub>17</sub> H <sub>18</sub> F <sub>3</sub> NO), furosemida (C <sub>12</sub> H <sub>11</sub> CIN <sub>2</sub> O <sub>5</sub> S), gliburida (C <sub>23</sub> H <sub>28</sub> CIN <sub>3</sub> O <sub>5</sub> S), hidroclorotiazida (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> CIN <sub>3</sub> O <sub>4</sub> S <sub>2</sub> ), ibuprofeno (C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub> ), isoclortetraciclina (C <sub>22</sub> H <sub>24</sub> N <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ), ketoprofeno (C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub> ), lincomicina (C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> N <sub>2</sub> O <sub>6</sub> S), meprobamato (C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ), metformina (C <sub>4</sub> H <sub>11</sub> N <sub>5</sub> ), metilprednisolona (C <sub>22</sub> H <sub>30</sub> O <sub>5</sub> ), metoprolol (C <sub>15</sub> H <sub>25</sub> NO <sub>3</sub> ), naproxeno (C <sub>14</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub> ), norverapamilo (C <sub>26</sub> H <sub>36</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ), ofloxacina (C <sub>18</sub> H <sub>20</sub> N <sub>3</sub> FO <sub>4</sub> ), ormetoprim (C <sub>14</sub> H <sub>18</sub> N <sub>4</sub> O <sub>2</sub> ), oxacilina (C <sub>19</sub> H <sub>19</sub> N <sub>3</sub> O <sub>5</sub> S), oxitetraciclina (C <sub>22</sub> H <sub>24</sub> N <sub>2</sub> O <sub>9</sub> ), prednisolona

(C<sub>21</sub>H<sub>28</sub>O<sub>5</sub>), propoxifeno (C<sub>22</sub>H<sub>29</sub>NO<sub>2</sub>), propranolol (C<sub>16</sub>H<sub>21</sub>NO<sub>2</sub>), ranitidina (C<sub>13</sub>H<sub>22</sub>N<sub>4</sub>O<sub>3</sub>S), sertralina (C<sub>17</sub>H<sub>17</sub>NCI<sub>2</sub>·HCl), sulfadiazina (C<sub>10</sub>H<sub>10</sub>N<sub>4</sub>O<sub>2</sub>S), sulfadimetoxina (C<sub>12</sub>H<sub>14</sub>N<sub>4</sub>O<sub>4</sub>S), sulfametazina (C<sub>12</sub>H<sub>14</sub>N<sub>4</sub>O<sub>2</sub>S), sulfanilamida (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S), sulfatiazol (C<sub>9</sub>H<sub>9</sub>N<sub>3</sub>O<sub>2</sub>S<sub>2</sub>), tetraciclina (C<sub>22</sub>H<sub>24</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub>), triclocarbán (C<sub>13</sub>H<sub>9</sub>Cl<sub>3</sub>N<sub>2</sub>O), triclosán (C<sub>12</sub>H<sub>7</sub>Cl<sub>3</sub>O<sub>2</sub>), trimetoprima (C<sub>14</sub>H<sub>18</sub>N<sub>4</sub>O<sub>3</sub>), valsartán (C<sub>24</sub>H<sub>29</sub>N<sub>5</sub>O<sub>3</sub>), verapamilo (C<sub>27</sub>H<sub>38</sub>N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>).

### **Disrupción endocrina**

4-nonilfenol (C<sub>15</sub>H<sub>24</sub>O), bisfenol A (C<sub>15</sub>H<sub>16</sub>O<sub>2</sub>), butilbencilftalato (C<sub>19</sub>H<sub>20</sub>O<sub>4</sub>), dibutilftalato (C<sub>16</sub>H<sub>22</sub>O<sub>4</sub>), dimetilftalato (C<sub>10</sub>H<sub>10</sub>O<sub>4</sub>).

### **Drogas ilegales**

Anfetamina (C<sub>9</sub>H<sub>13</sub>N), benzoilecgonina (C<sub>16</sub>H<sub>19</sub>NO<sub>4</sub>), cafeína (C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>N<sub>4</sub>O<sub>2</sub>), cocaína (C<sub>17</sub>H<sub>21</sub>NO<sub>4</sub>), cotinina (C<sub>10</sub>H<sub>12</sub>N<sub>2</sub>O), difenhidramina (C<sub>17</sub>H<sub>21</sub>NO).

### **Fármaco de uso habitual**

Gemfibrozil (C<sub>15</sub>H<sub>22</sub>O<sub>3</sub>), sulfametoxazol (C<sub>10</sub>H<sub>11</sub>N<sub>3</sub>O<sub>3</sub>S)

### **Físico-químicos**

Aluminio (Al), bario (Ba), bicarbonato (NaHCO<sub>3</sub>), boro (B), calcio (Ca), cloro (Cl), cobalto (Co), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), fluór (F), fósforo (P), magnesio (Mg), manganeso (Mn), nitrógeno total (N total), nitratos (NO<sub>3</sub>-), nitrógeno (N), nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>-N), oxígeno disuelto (OD), potasio (K), sodio (Na), sólidos totales disueltos (STD), sólidos suspendidos (SS), sulfato (SO<sub>4</sub>), sustancias activas al azul de metileno (SAAM).

### **Gases Tóxicos**

Amoníaco (NH <sub>3</sub> ), dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ), monóxido de Carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ).
<b>Hidrocarburos aromáticos (HPA)</b>
Aceite de origen industrial (Mezcla)
<b>Material Particulado</b>
PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> .
<b>Metales pesados y compuestos organoestánicos</b>
Arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), hierro (Fe), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), zinc (Zn).
<b>Patógenos emergentes</b>
Bacteriófagos somáticos, coliformes fecales, coliformes totales, Gardia spp., huevos de helminto.
<b>Plaguicidas</b>
N-dietil-meta-toluamida (C <sub>12</sub> H <sub>17</sub> NO), ftalato de bis-2- etilhexilo(C <sub>24</sub> H <sub>38</sub> O <sub>4</sub> )

**Anexo 3. Gráfica de percepción vs. Vulnerabilidad**

