



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE GEOGRAFÍA



*PRIORIZACIÓN DE ZONAS DE EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES RELACIONADOS
CON EL APROVECHAMIENTO DE RECURSOS HÍDRICOS Y GEOLÓGICOS,
ESTUDIO LONGITUDINAL 2013-2020*

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RECURSOS HÍDRICOS

PRESENTA:

MARÍA GUADALUPE RODRÍGUEZ REYES

GENERACIÓN:

2019-2024

ASESOR:

DR en C. A. MIGUEL ANGEL GÓMEZ ALBORES

REVISORES:

DR en C. A. RAYMUNDO ORDOÑEZ SIERRA

DR en C. A. LUIS RICARDO MANZANO SOLÍS

Toluca, Estado de México

Mayo, 2024

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 ANTECEDENTES	7
1.1.1 <i>Estudios epidemiológicos</i>	7
1.1.2 <i>Estudios epidemiológicos ecológicos</i>	8
1.1.3 <i>Contaminación del recurso hídrico y salud</i>	10
1.1.4 <i>Contaminación del ambiente y salud</i>	13
1.1.4.1 <i>Material particulado</i>	15
1.1.5 <i>Fuentes contaminantes</i>	16
1.1.6 <i>Método del proceso analítico jerárquico</i>	18
1.2 JUSTIFICACIÓN	20
1.3 HIPÓTESIS	22
1.4 OBJETIVOS	22
1.4.2 <i>Objetivo general</i>	22
1.4.3 <i>Objetivos específicos</i>	22
2. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL	24
2.1 <i>Definición de RESA (Región de Emergencia Sanitaria y Ambiental)</i> ...	24
2.2 <i>Ecología y salud</i>	25
2.3 <i>Contaminación y monitoreo</i>	26
2.4 <i>Contaminación del recurso hídrico y ambiente</i>	27
2.4.1 <i>Industrias: Etapas de los procesos</i>	28
<i>Refinería</i>	28
<i>Termoeléctricas</i>	30
<i>Cementeras</i>	32
2.5 <i>Material particulado</i>	33
2.6 <i>Normas oficiales mexicanas</i>	34
<i>Normas de calidad del aire y agua</i>	34

2.7 Epidemiología.....	36
2.8 Salud.....	36
2.8.1 Tasas de mortalidad.....	37
2.8.2 Clasificación internacional de enfermedades 10-11 (CIE-10-11).....	37
2.8.3 Razón de momios e intervalos de confianza	39
2.9 Proceso analítico jerárquico y priorización.....	39
3.ZONA DE ESTUDIO	41
3.1 Caracterización de los elementos del medio natural	43
3.1.1 Clima	43
3.1.2 Circulación de los vientos.....	45
3.1.3 Hidrología superficial.....	46
3.1.4 Hidrología subterránea	47
3.1.4 Geología.....	48
3.1.5 Geomorfología.....	49
3.1.6 Tipo de suelo	49
3.2 Caracterización de elementos sociales y económicos	50
3.2.1 Sectores de ocupación.....	50
4. METODOLOGÍA.....	55
4.1 Búsqueda bibliográfica	57
4.1.1 Recopilación de datos de mortalidad	60
4.2.2 Recopilación de datos de población	61
4.2 Descarga y procesamiento de bases de datos.....	61
Procesamiento de información de salud.....	61
Estructuración de información de industrias.....	62
Imágenes de superficie de PM _{2.5}	63
4.3 Cálculo de indicadores de frecuencia.....	64
4.3.1 Razón de momios e intervalos de confianza	65
4.4 Selección de variables.....	66
4.5 Modelo del proceso analítico jerárquico.....	67
4.5.1 Identificación de variables y criterios.....	68

4.5.2	<i>Reescalado de variables</i>	69
4.5.3	<i>Ponderación de factores</i>	75
4.5.4	<i>Evaluación</i>	76
5.	RESULTADOS	78
5.1	<i>Caracterización de la zona de estudio</i>	78
	<i>Explotación de recursos minerales</i>	78
	<i>Sectores económicos</i>	79
	<i>Circulación de los vientos</i>	80
5.2	<i>Zonas de exposición</i>	80
5.3	<i>Análisis de los factores de contaminación</i>	82
5.4	<i>Enfermedades por zona de exposición</i>	83
	<i>Neumoconiosis</i>	84
	<i>Cardiomiopatía isquémica</i>	85
	<i>Enfermedades isquémicas del corazón</i>	87
	<i>Leucemia</i>	88
	<i>Mesotelioma</i>	90
5.4	<i>Estimación de momios e intervalos de confianza</i>	91
6.	CONCLUSIONES	95
7.	RECOMENDACIONES	97
8.	BIBLIOGRAFÍA	99
9.	ANEXOS	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Procesos de refinación del petróleo en una refinería	30
Figura 2.2 Procesos de fabricación del cemento	33
Figura 3.1 Zona de estudio.	42
Figura 3.2 Temperatura media anual (1958-2020)	43
Figura 3.3 Temperatura media anual.....	44
Figura 3.4 Precipitación promedio anual (1958-2020)	44
Figura 3.5 Precipitación promedio anual.....	45
Figura 3.6 Cuerpos de agua superficiales.....	47
Figura 3.7 Geología.....	48
Figura 3.8 Tipo de suelo	50
Figura 3.9 Sectores de ocupación de Atitalaquia	51
Figura 3.10 Sectores de ocupación de Atotonilco.....	52
Figura 3.11 Sectores de ocupación de Tula de Allende	52
Figura 3.12 Sectores de ocupación de Apaxco.	53
Figura 3.13 Porcentaje de población que se encuentra en actividades agrícolas e industriales por municipio.....	54
Figura 4.1 Esquema metodológico	56
Figura 4.2 Procesamiento de obtención hasta la representación de la mortalidad.....	62
Figura 4.3 Proceso de la generación de capa de industrias	63
Figura 4.4 Mapa de ubicación de industrias y minas. Elaboración propia	63
Figura 4.5 Tabla 2x2 población expuesta y no expuesta.....	66
Figura 4.6 Función monótonicamente creciente del factor de PM 2.5	71
Figura 4.7 Reescalado de la materia particulada	72
Figura 4.8 Función monótonicamente decreciente del factor de altitud ...	72
Figura 4.9 Reescalado de la altitud	73

Figura 4.10 Función monotónicamente decreciente del factor de proximidad a cuerpos de agua	73
Figura 4.11 Reescalado de proximidad a cuerpos de agua.....	74
Figura 4.12 Función monotónicamente decreciente del factor de proximidad a industrias.....	74
Figura 4.13 Reescalado de proximidad a industrias	75
Figura 4.14 Ponderación de factores	75
Figura 4.15 Módulo de decisiones espaciales	77
Figura 5.1 Mapa de zonas por exposición.....	81
Figura 5.2 Distribución espacial de casos de mortalidad por neumoconiosis por zonas de exposición	85
Figura 5.3 Distribución espacial de casos de mortalidad por cardiomiopatía isquémica por zonas de exposición.....	86
Figura 5.4 Distribución espacial de casos de mortalidad por enfermedades isquémicas del corazón.....	88
Figura 5.5 Distribución espacial de casos de mortalidad por leucemia	89
Figura 5.6 Distribución espacial de casos de mortalidad por mesotelioma	91
Figura 5.7 Razón de momios de cardiomiopatía isquémica.....	92
Figura 5.8 Razón de momios de enfermedad isquémica del corazón	93
Figura 5.9 Razón de momios de Leucemia.....	94
Figura 9.1 Herramienta Transpose.....	116
Figura 9.2 Resultado de herramienta transpose.....	116
Figura 9.3 Metadatos iniciales	117
Figura 9.4 Resultado de la modificación en los metadatos	117
Figura 9.5 Módulo WINDOW.....	118
Figura 9.6 Módulo Macro Modeler.....	118
Figura 9.7 Herramienta scalar dentro del macro modeler.....	119
Figura 9.8 Parámetros de la herramienta scalar.....	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación Internacional por grupos de Enfermedades CIE-10-11	38
Tabla 3.1 Densidad de población por municipio y a nivel nacional	41
Tabla 4.1 Síntesis de información de estudios sobre contaminante-salud a nivel internacional	57
Tabla 4.2 Síntesis de información de estudios sobre contaminante-salud a nivel nacional	59
Tabla 4.3 Enfermedades seleccionadas de acuerdo con la Clasificación Internacional de Enfermedades	65
Tabla 5.1 Minas de extracción en el área de estudio	78
Tabla 5.2 Comportamiento de factores ambientales por zona de exposición	83
Tabla 5.3 Tasas de mortalidad por Neumoconiosis	84
Tabla 5.4 Tasas de mortalidad por cardiomiopatía isquémica	86
Tabla 5.5 Tasas de mortalidad por enfermedad isquémica del corazón	87
Tabla 5.6 Distribución de casos de mortalidad por leucemia	89
Tabla 5.7 Distribución de casos de mortalidad por mesotelioma.....	90
Tabla 9.1 Información de imágenes de superficie de PM _{2.5}	115
Tabla 9.2 Sectores económicos de Tula de Allende	120
Tabla 9.3 Sectores económicos de Atitalaquia	127
Tabla 9.4 Sectores económicos de Apaxco	134
Tabla 9.5 Sectores económicos de Atotonilco.....	143

ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

ACAG	Atmospheric Composition Analysis Group
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
CEMEX	Cementos Mexicanos
CENAPRECE	Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CIE	Clasificación Internacional de Enfermedades
CO	Monóxido de carbono
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONAHCYT	Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías
DENUE	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas
DGE	Dirección General de Epidemiología
DGIS	Dirección General de Información en Salud
DOF	Diario Oficial de la Federación
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
EPOC	Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica
IC	Intervalo de confianza
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INSST	Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo
NO₂	Dióxido de nitrógeno
NOM	Normas Oficiales Mexicanas
NO_x	Óxidos de nitrógeno
NRDC	Natural Resources Defense Council
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
OR	Odds ratio
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PM	Materia particulada
REA	Región de Emergencia Ambiental
RIISP	Repositorio Integrado de Información en Salud Pública
RR	Riesgo relativo
SO₂	Dióxido de azufre
SEGOB	Secretaría de Gobernación
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de energía
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SINAICA	Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire
TMG	Tasa de Mortalidad General
UAEH	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

RESUMEN

En la actualidad, las enfermedades crónicas han tomado un papel importante a nivel mundial en el sector salud, debido a la cantidad de casos que se han presentado en la población. Este tipo de enfermedades pueden tener una relación con la mala calidad ambiental que se encuentra en el territorio mexicano debido a la cantidad de extracción de recursos naturales y las 57,828 instalaciones industriales que se encuentran dispersas en México (Secretaría de economía, 2023). Hasta el momento, se han identificado 8 regiones de emergencia sanitaria y ambiental, una de ellas es la del Valle del Mezquital en Hidalgo, la cual fue designada dada la cantidad de contaminantes que emiten al ambiente y vierten en los ríos las industrias.

El presente trabajo de investigación, consistió en la generación de un modelo espacial de exposición a contaminantes a partir del método del proceso analítico jerárquico que permitió analizar la asociación de causas de mortalidad con la contaminación, esta investigación se realizó en 6 etapas que son: 1) búsqueda de literatura de la zona de estudio sobre la dinámica socioambiental, la recopilación de datos de mortalidad y población de fuentes oficiales. 2) se procesaron datos a nivel localidad de mortalidad, se recopilaron las industrias más contaminantes y se obtuvo la información de materia particulada para el periodo de 1998-2021. Como etapa 3) se calcularon las de tasas de mortalidad a nivel localidad. Para la etapa 4) Se identificaron las variables ambientales que contribuyeron a la presencia de enfermedades en la región. 5) se generó el modelo de proceso analítico jerárquico para la identificación de zonas de exposición. Finalmente, en la etapa 6) se contrastó la información de mortalidad con las zonas de exposición y se calcularon indicadores de asociación, para su validación.

Los resultados permitieron identificar tres zonas de exposición a contaminantes: alta, moderada y baja en el área de estudio. Se analizaron

enfermedades relacionadas con la contaminación y se calcularon tasas de mortalidad para el periodo 2013-2020, con la finalidad de evaluar la asociación a partir del indicador *odds ratio* (OR) y sus intervalos de confianza (IC) por zona de exposición y por cada grupo de causas seleccionadas, encontrando que diferentes grupos de enfermedades muestran una asociación positiva entre los factores ambientales y las enfermedades que se presentan en el Valle del Mezquital.

ABSTRACT

Nowadays, chronic diseases have taken an important role worldwide in the health sector, due to the number of cases that have been presented in the population. This type of diseases may be related to the poor environmental quality found in the Mexican territory due to the amount of extraction of natural resources and the high number of industrial facilities that are scattered in Mexico. So far, 8 environmental emergency regions have been identified, one of which is the Mezquital Valley in Hidalgo, which was designated due to the amount of pollutants emitted into the environment and discharged into rivers by industries.

The present research work consisted of the generation of a spatial model of exposure to pollutants from the method of the hierarchical analytical process that allowed analyzing the association of causes of mortality with pollution, this research was conducted in 6 stages which are: 1) literature search of the study area on the socio-environmental dynamics, the collection of mortality and population data from official sources. 2) data were processed at the locality level on mortality, the most polluting industries were compiled and information on particulate matter was obtained for the period 1998-2021. As stage 3) mortality rates were calculated at the locality level. For stage 4) the environmental variables that contributed to the

presence of diseases in the region were identified. 5) The analytical hierarchical process model was generated for the identification of exposure zones. Finally, in stage 6) the mortality information was contrasted with the exposure zones and association indicators were calculated for validation.

The results allowed the identification of three zones of exposure to pollutants: high, moderate and low in the study area. Pollution-related diseases were analyzed and mortality rates were calculated for the period 2013-2020, in order to evaluate the association from the odds ratio (OR) indicator and its confidence intervals (CI) by exposure zone and for each group of selected causes, finding that different groups of diseases show a positive association between environmental factors and diseases occurring in the Mezquital Valley.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es una de las principales problemáticas a nivel mundial (Anzules & Castro, 2022). El deterioro de la salud pública y el ambiente se han incrementado debido a las diferentes actividades que lleva el ser humano, como la sobreexplotación de recursos naturales y pérdida de biodiversidad (Ramírez-León et al., 2020; SEMARNAT, 2015).

En los países industrializados se ha estimado que el 20% de las enfermedades están relacionadas con la mala calidad ambiental. Cada año a nivel mundial la mala calidad del aire es la responsable del 3.2% de la carga mundial de enfermedades y de 3.1 millones de muertes prematuras. En este marco, el crecimiento poblacional ha provocado el deterioro de los recursos naturales, encontrando componentes nocivos en agua, aire y suelo, que impacta en la salud humana (Babatola, 2018; Vargas Marcos, 2005; Carliño et al., 2021).

Entre las enfermedades asociadas con la contaminación del aire destacan las infecciones respiratorias, enfermedades cardíacas, accidentes cerebrovasculares y cáncer de pulmón (OPS, 2018a), por la contaminación del agua son enfermedades diarreicas, infecciones respiratorias, hepatitis, fiebre tifoidea y poliomielitis, entre otras (OMS, 2023b).

En México, se han visibilizado diversas problemáticas ambientales, tales como el impacto de la contaminación del aire en la salud humana, el cambio climático, la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad, deforestación, el impacto de la industria en la contaminación del aire y agua por mencionar algunas (Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023) es por ello, que, ha sido necesario implementar una red de monitoreo de calidad del aire en el territorio mexicano siendo en total 191 estaciones de monitoreo, de las cuales algunas muestran problemas operativos que, impacta en la generación de información para la evaluación

del cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) (INECC, 2020) citado en (SEMARNAT, 2020), este monitoreo se ha llevado a cabo en particular en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), detectando 90 categorías de contaminantes tóxicos por fuentes móviles y fijas (Navarro Arredondo, 2019), sin embargo, es necesario contar con estaciones de monitoreo que brinden información suficiente para evaluar la calidad del aire en otras áreas con presencia de industrias. Asimismo, se han identificado diversas problemáticas hídricas, debido a la sobreexplotación y contaminación de ríos, lagos y presas por actividades comerciales y productivas (Luna-Nemecio, 2021).

En el territorio mexicano se han identificado regiones de emergencia sanitaria y ambiental (RESA), en las cuales se llevan a cabo actividades extractivas (petrolera, petroquímica, cementera, agropecuaria, minera) y manufactureras (automotriz, química, electrónica, de plásticos y textiles) que impactan en la salud humana y en el ambiente (Azamar-Alonso et al., 2021).

El Valle del Mezquital, en Hidalgo pertenece a estas regiones, ya que es la segunda región a nivel mundial “con el mayor uso de aguas residuales en el sector agrícola, así como la cloaca más grande del país por la cantidad de agua que recibe sin tratamiento” (García-Salazar, 2019), esto impacta directamente en la calidad de vida de las personas, en diversos estudios se han detectado enfermedades ligadas a la contaminación. Aunado a ello, se ubican cementeras, caleras (Hernández-Arellano, 2020), una de las refinerías de mayor importancia a nivel nacional que es la Miguel Hidalgo que se encuentra desde 1976, una termoeléctrica que comenzó sus actividades en 1975, minas a cielo abierto siendo algunas descubiertas en el siglo XVIII (Azpeitia Caballero, 2007), así como industrias de agroquímicos y alimentos, este tipo de industrias afectan la calidad del aire (Azamar-Alonso et al., 2021; Iniciativa Climática de México, 2021).

Debido a la complejidad del Valle del Mezquital, por la cantidad de contaminación e industrias que se encuentran, es necesario aplicar técnicas que coadyuven a la toma de decisiones informadas y acertadas con base en una evaluación de los criterios de la zona (Murillo, 2023).

El uso de modelos del proceso jerárquico analítico es una herramienta que permite realizar comparaciones a partir del uso de variables que tienen una jerarquía, este tipo de modelos ayuda a clasificar cada elemento de acuerdo con el grado de prioridad que tenga (Salas-Bacalla, 2021).

Sin embargo, a pesar de que se observa contaminación por diferentes vías de exposición, se desconoce una relación directa en el comportamiento de enfermedades por actividades en zonas con una densidad importante de industrias, es por ello, que, es necesario estudiar desde el punto de vista hidrológico, epidemiológico, ecológico, atmosférico y de riesgos el área de estudio y determinar si existe una relación entre la contaminación y las enfermedades que se presentan en la población.

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Estudios epidemiológicos

La epidemiología es una rama de la ciencia médica que determina factores que inciden en la presencia o ausencia de enfermedades, esta rama permite comprender el número de personas que padecen una enfermedad, como están cambiando esas cifras y cómo eso afecta a la sociedad (NIH, 2011). La epidemiología es fundamental para la salud pública, esta permite “medir, definir y comparar diversas condiciones de salud, así como la distribución espaciotemporal” (Bonita et al., 2006a). Esta ciencia, explica la enfermedad como un proceso y una secuencia de etapas que están relacionadas entre sí, es por ello, por lo que es necesario identificar aquellos factores que influyen sobre la salud humana (Colimon, 1990).

Los estudios epidemiológicos se pueden utilizar para estimar la frecuencia de una enfermedad y encontrar asociaciones en la relación causa-efecto, los estudios más utilizados en las investigaciones son los conglomerados, ecológicos, de caso-control y de cohorte (National Institutes of Health, 2012).

Los estudios conglomerados son una agregación de un número de casos elevado e inesperado, la enfermedad puede tener una tasa de incidencia mayor en un lugar y tiempo determinado. Los estudios caso y control determinan si la frecuencia de exposición a varios factores es mayor en personas con enfermedad que los que no tienen la enfermedad. Los estudios de cohorte son una selección de personas expuestas y no expuestas, se sigue a los individuos a lo largo del tiempo para determinar enfermedades en relación con la exposición a ciertos factores. En tanto, los estudios ecológicos evalúan la relación entre la exposición y una enfermedad a partir del análisis de un grupo de población (Lorraine et al., 2015; National Institutes of Health, 2012).

En este sentido, los diferentes tipos de estudios epidemiológicos requieren de una investigación adecuada para prevenir efectos y controlar diversas enfermedades, es por ello, que es necesario analizar la relación causa-efecto, es decir los factores que influyen en el proceso de una enfermedad (Centro Centroamericano de Población, 2023).

1.1.2 Estudios epidemiológicos ecológicos

Los estudios ecológicos en epidemiología permiten evaluar diferentes niveles de exposición y realizar la comparación con otras áreas, algunos autores (Borja-Aburto, 2000); Ballester-Díez et al., (1999) explican como los estudios epidemiológicos dependen de la exposición, ya que, la epidemiología sobre la salud y contaminación tiene ciertas características que lo diferencian de otras disciplinas.

Existen diferentes tipos de herramientas que ayudan a tomar decisiones, una de ellas es el análisis de escenarios hipotéticos que representan las condiciones a las que podría someterse una problemática, este análisis permite la preparación ante diversas eventualidades, a partir de la toma de decisiones (Murillo, 2023).

Otra técnica es la de evaluación de riesgos, la cual busca identificar y eliminar riesgos presentes, a partir de estrategias de mitigación (INSST, 2023).

Asimismo, se encuentra la herramienta de matriz de impacto y probabilidad, esta ayuda en la evaluación y priorización de riesgos asociados con una decisión, para ello, se utilizan ejes, en uno se trazan los impactos y en el otro la probabilidad de que ocurra, y de esta forma poder tomar decisiones para visualizar, cuantificar, controlar, transferir o mitigar los riesgos (Jiménez, 2021); (Murillo, 2023).

Aunado a ello, se encuentra la evaluación multicriterio, el cual coadyuva a la toma de decisiones con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), este análisis cuenta con el proceso analítico jerárquico, el cual, permite comparar diversos criterios y asignar un peso diferenciado por su grado de importancia (Celemin, 2014).

Algunos de los estudios que se han realizado es el Amengual-Moreno et al., (2020), quienes realizaron un estudio ecológico retrospectivo sobre la incidencia del Covid-19 en Barcelona a partir de un análisis multivariante mediante un Modelo Lineal Generalizado, las variables seleccionadas fueron sexo, edad, densidad neta, tabaquismo, incidencia acumulada y el índice de masa corporal y de renta familiar disponible, los resultados permitieron analizar la incidencia por cada variable seleccionada.

Por su parte, Cardona et al., (2013) hicieron un estudio ecológico transversal en Colombia, el cual fue aplicado a 355 indígenas emberá-chamí, para el análisis se utilizó el programa SPSS 21.0 y se determinó la prevalencia de anemia, parasitismo intestinal y desnutrición, los resultados permitieron encontrar que el parasitismo intestinal, tiene una mayor prevalencia y se presenta en mayor medida en niños menores de 10 años, por lo tanto, este estudio coadyuvo al control y seguimiento del parasitismo.

En México, (Méndez-Lozano et al., 2015) realizaron un estudio ecológico de series de tiempo para analizar la brucelosis a partir de información disponible en dependencias gubernamentales, calcularon tasas de incidencia por cada 100,000 habitantes y construyeron un modelo de regresión Poisson multinivel, como resultados obtuvieron una tendencia en aumento en el año 2008, la aplicación de este estudio fortalecería los programas para el combate de la brucelosis y disminuir el impacto que tiene en la población.

Otro de los estudios que se ha llevado a cabo en México, es el de Medina Gómez & Villegas Lara (2019) en el que se estudiaron aspectos sociales y

económicos para ver la asociación con homicidios, las desigualdades sociales fueron estudiadas a partir de la medición absoluta y relativa de las brechas de desigualdad, se estimaron razones de prevalencias de mortalidad con el modelo de regresión de Poisson, como resultados se identificaron 8094 homicidios por la desigualdad social, la aplicación de este estudio coadyuvaría a la implementación de políticas y acciones para mejorar condiciones de vida en los jóvenes.

1.1.3 Contaminación del recurso hídrico y salud

El agua es de vital importancia, debido a las diferentes actividades que el ser humano realiza en la vida cotidiana, en este sentido, es importante que el agua sea salubre y accesible (OMS, 2023b).

Las aguas superficiales se encuentran de forma somera, la contaminación puede ser detectable a partir de la coloración y olor, a diferencia de las subterráneas que son más difícil contaminar y de detectar el grado de afectación en ellas (Navarro-Alvargonzález et al., 1993).

En diversos estudios sustentan que la contaminación del agua está relacionada con la presencia de enfermedades, como el de (Bofill-Mas et al., 2005), estudio en el que se menciona que la presencia de aguas residuales traen una gran cantidad de virus, los cuales generan meningitis, enfermedades respiratorias, diarreicas, hepatitis y anomalías congénitas del corazón, para ello, se utilizaron técnicas de cuantificación de virus por PCR, que es una técnica que es realizada en laboratorio, ésta, amplifica de forma rápida fragmentos de ADN, permitiendo analizar diferentes tipos de virus (National Human Genome Research Institute, 2020).

Otro estudio realizado en países de bajos y medianos recursos menciona la importancia del agua en los diferentes países, y como el agua puede

impactar en la salud, debido a que, la contaminación por desechos industriales o rurales se han convertido en un problema de salud pública, donde destacan las infecciones gastrointestinales por la cantidad de heces fecales que contiene el agua (Gómez-Duarte, 2018).

Algunos de los estudios sobre la contaminación del agua y su impacto en la salud es el de Wang & Yang (2016) quienes mencionan que en China la contaminación del recurso hídrico es una fuente de morbilidad y mortalidad, por ello, evaluaron la contaminación del agua y los resultados en salud con el modelo de efectos aleatorios y el modelo Logit de efectos aleatorios, los resultados arrojaron una asociación entre la contaminación del agua y las enfermedades que se presentan en personas de bajos recursos.

En México, Chakraborti & Shimshack (2022) hicieron un estudio sobre la contaminación del agua y las zonas marginadas, para ello, utilizaron datos sociodemográficos del Censo de Población y Vivienda y del Consejo Nacional de Población en México para analizar la información de descargas tóxicas de 1600 instalaciones industriales, hicieron correlaciones y diagramas de dispersión no paramétricos, los resultados arrojaron que las descargas tóxicas se asocian con aquellas zonas marginadas, que son las que suelen tener menos servicios.

La zona de estudio es conocida por la gran producción agrícola que aporta, aunque no es una zona apta para esa actividad económica por su clima, desde hace cien años recibe aguas residuales de la Ciudad de México, las cuales coadyuvaron a incentivar la producción, con el tiempo los municipios se abastecieron de agua y solucionaron problemas económicos, sin embargo, también represento afectaciones sociales y ambientales (García-Salazar, 2019).

Los estudios en el Valle del Mezquital, mencionan los contaminantes que se han encontrado en la zona con una asociación de diversas enfermedades que se propagan en la población, en este sentido, (Lesser-Carrillo et al.,

2011), mencionan que los contaminantes por metales pesados, como arsénico, fluoruro y plomo, en combinación con los coliformes fecales, son los principales causantes de las enfermedades gastrointestinales en la zona.

En tanto, Prieto-García et al., (2007) y Lara-Viveros et al., (2015) señalan la presencia de cadmio, cromo, zinc, manganeso, níquel, cobre, plomo, monóxido de carbono y arsénico, teniendo una relación con enfermedades cancerígenas por la irrigación de cultivos con aguas negras.

Lara Figueroa & García Salazar (2019) ahondan sobre los causantes cancerígenos y lo extienden a enfermedades gastrointestinales y cutáneas, identificando como causas los metales pesados, aceites, coliformes fecales, detergentes, sustancias químicas, protozoarios, bacterias, hongos y virus.

Asimismo, Martínez-Jiménez (2018) argumenta que las dioxinas, furanos, mercurio, arsénico, cadmio, plomo y zinc generan enfermedades cancerígenas, cardiovasculares, respiratorias, gastrointestinales, deficiencias en el sistema inmunológico, enfermedades motoras, enfermedades de la piel (sarpullido, quemaduras graves a causa de productos tóxicos).

Finalmente, Peña-Sánchez & Hernández-Albarrán (2005) sostienen que las enfermedades de la zona son respiratorias, infecciones intestinales, hipertensión, neumonía y gastrointestinales.

Estos estudios descritos con anterioridad, mencionan que las enfermedades que se encuentran en la población están estrechamente relacionadas con la mala calidad del agua, porque la población utiliza agua contaminada para diversas actividades socioeconómicas, aunado a ello, se han presentado una serie de eventos hidrometeorológicos que han impactado en la población.

El vertido de contaminantes tiene efectos negativos en el ambiente, a la salud y a diferentes especies, se destruyen diversos ecosistemas y se pueden

llegar a afectar las reservas de aguas subterráneas que son utilizadas por la población para consumo humano.

1.1.4 Contaminación del ambiente y salud

El crecimiento económico y la mala calidad del aire es uno de los problemas más graves en el mundo, ya que, es un fenómeno que incide en la salud humana Romero-Placeres et al. (2006). La Organización Panamericana de la Salud (OPS) menciona que la mala calidad ambiental genera severos impactos en la salud humana debido a las altas concentraciones de Materia Particulada menor a 10 y 25 micrómetros (PM_{10} y $PM_{2.5}$) que alcanzan (OPS, 2018a).

En algunas investigaciones se ha relacionado la mala calidad del aire con algunos síntomas que se presentan en la población (Sarmiento et al., 2015). Espinoza & Molina (2014) realizaron un estudio en la cuenca de Ecuador, evaluaron la calidad del aire a partir de la revisión de los informes de la Red de Monitoreo y la Norma de Calidad del Aire Ambiente del Ecuador y, su relación con enfermedades como asma, irritación ocular, cefalea, enfermedades cardiovasculares, cáncer de pulmón, los resultados obtenidos reflejaron que los promedios de PM_{10} son mayores que lo establecido en la guía de la OMS, provocando principalmente enfermedades cardiopulmonares y cáncer de pulmón.

En tanto, Oyarzún (2010) realizó un estudio en Chile y sus resultados indican que el material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ afecta al sistema respiratorio, disminuyendo la función pulmonar, síndrome bronquial y, cáncer; mientras que, el material particulado ultrafino $PM_{0.1}$ afecta la circulación; el ozono disminuye la frecuencia respiratoria; el dióxido de azufre genera obstrucción bronquial y bronquitis crónica; el plomo alteración del epitelio bronquial.

Asimismo, Mendoza-González et al., (2017) hablan de las enfermedades isquémicas del corazón y su relación con las emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ representadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ provenientes del sector industrial en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), en este estudio, utilizaron la econometría espacial que permite comprobar los efectos de la contaminación y las defunciones en la ZMVM.

Por su parte, la mala calidad del aire en Hidalgo, es producto de la economía del estado, en el que se lleva a cabo la industria minera, cementera, textilera Cabrera-Cruz et al., (2003), además, se encuentran caleras (Hernández-Arellano, 2020), una refinería (Barnés de Castro, 2022) y una termoeléctrica (CFE, 2021a).

Las opiniones sobre las fuentes contaminantes son variadas, por ejemplo, Iniciativa Climática de México (2021) menciona a la central termoeléctrica como una de las industrias que más contaminan en la Tula, ya que usa combustóleo que tiene un alto contenido de azufre, la exposición a la contaminación del aire causa patologías respiratorias, cardiovasculares, irritación en ojos, piel e incluso cáncer.

En tanto, el (INECC, 2020) relaciona las emisiones de SO_2 y NO_x con la industria eléctrica, del petróleo y petroquímica; las partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ con la industria energética, cementera y cal, mientras que el CO es originado por las fuentes móviles. Dentro de los impactos en la salud a contaminantes se encuentran las muertes prematuras, enfermedades cardiopulmonares, cardiovasculares, cáncer de pulmón y enfermedades isquémicas del corazón.

Los estudios sobre la contaminación del aire y su relación con las enfermedades que se encuentran en Hidalgo aún siguen siendo limitados, en Iniciativa Climática de México (2021) desde 1989 data la problemática, y, aunque las enfermedades que se relacionan con la contaminación pueden ser mortales, no se ha llevado un control sobre la cantidad de industrias

que se instalan en Hidalgo o las concentraciones de los contaminantes que se emiten a la atmósfera.

1.1.4.1 Material particulado

El material particulado está conformado por diferentes químicos, este tipo de partículas son emitidas de centrales eléctricas, industrias y automóviles EPA (2023). En materia de material particulado se encuentra disponible la información del Grupo de Análisis de Composición Atmosférica (ACAG por sus siglas en inglés) de la Universidad de Washington (ACAG, 2022).

Algunos de los trabajos que se han realizado con esta información es el de Chatterjee et al., (2023), quienes utilizaron la información de materia particulada 2.5 para evaluar los sectores de emisión de PM_{2.5} en India, Pakistán, Bangladesh, Nepal, Bután, Sri Lanka y Myanmar, se realizaron simulaciones del transporte de materia particulada y se estimaron las tasas de mortalidad, como resultado obtuvieron que la mortalidad se relacionaba con la presencia de PM_{2.5} y que la reducción de estas partículas mejorarían las condiciones de salud en la población.

Asimismo, Carter et al., (2023), procesaron información de materia particulada para identificar comunidades desfavorecidas debido a su color de piel e ingresos menores, en Estados Unidos, para ello utilizaron información de materia particulada 2.5 y datos sociodemográficos, posteriormente calcularon concentraciones medias ponderadas, disparidades de PM_{2.5}, la fracción a nivel de tracto de mortalidad por todas las causas atribuible a PM_{2.5}, utilizando riesgo relativo (RR), como resultado se obtuvo que a partir del mapeo de información se identifican de forma adecuada disparidades raciales, sociodemográficas y étnicas, este estudio ayudaría a la toma de decisiones para la mitigación de contaminación en esas zonas.

Por su parte, Shi et al., (2023), analizaron la asociación de PM_{2.5} y demencia en Estados Unidos, para ello utilizaron información descriptiva sobre la demencia y de la población en general, asimismo utilizaron los niveles de contaminación del aire y realizaron estimaciones de efectos sobre la salud, encontrando que la exposición a largo plazo de materia particulada 2.5 se asocia con demencia y con otras causas de mortalidad y morbilidad.

1.1.5 Fuentes contaminantes

A mediados del siglo XX, México era dominado por la industria, este era el sector que sobrellevaba la economía nacional, sin embargo, los estudios que se realizaban en esa época eran enfocados a la economía y no a la transformación que estaba surgiendo en México (Haber, 1993).

A lo largo del tiempo, se han realizado algunos estudios enfocados al sector industrial y su impacto económico, ambiental y social. En este sentido, (Navas de García et al., 2015) realizaron un estudio en una planta de concreto en Venezuela, evaluaron la percepción de los impactos ambientales por la producción de concreto a partir de una búsqueda bibliográfica, visitas a la planta de concreto y la aplicación de entrevistas a trabajadores de la producción del concreto, encontrando que los impactos ambientales son la contaminación del agua y aire por las emisiones de polvo y el uso de materiales peligrosos, y, para contrarrestar los impactos se pueden implementar fosas de sedimentación, así como planes de majeo de los materiales.

Por su parte, (Chaparro-Orrantia et al., 2023) realizaron un estudio sobre la perspectiva que tiene la población sobre el impacto ambiental y social por la cercanía que tiene con la industria cementera a partir de la elaboración de un documento con 20 preguntas, asimismo, delimitaron el área de estudio a partir de un radio de 1.5 km, obteniendo que las personas que viven cerca

de la cementera son conscientes de la problemática y como podría impactar su salud.

En tanto, Peralta-Rivero et al., (2017) analizaron la industria cementera y los diferentes impactos que ocasiona, para ello, utilizaron información sobre el grado de marginación y rezago social y aplicaron un análisis de regresión lineal y una simulación de transporte de masas con la finalidad de determinar las localidades expuestas a las emisiones de las cementeras.

En relación con las refinerías, Paz Morán & Cuero Angulo (2020) realizaron un estudio del impacto de la refinería en Esmeralda, Ecuador a partir de trabajo en campo, implementación de encuestas y análisis de sangre para determinar el nivel de plomo que tiene la población en el cuerpo, se obtuvo que algunas personas tienen plomo por encima de lo que indica la norma y que la refinería puede generar enfermedades pulmonares y en otros órganos.

Gutiérrez-Rodríguez, (2019) menciona que la industria petrolera ha ocasionado extractivismos, deterioro ambiental, cambios urbanísticos, impactos sociales y económicos.

Con respecto a las termoeléctricas, Alvarado-Vázquez, (2020) realizó un modelo del depósito atmosférico en la zona crítica de Tula-Vito-Apaxco a partir de la estimación, muestreo y simulación del depósito atmosférico en la zona de estudio, como resultado se calcularon las emisiones de SO_x concluyendo que la central termoeléctrica contribuye a los depósitos de sulfato en suelo.

Por su parte, Mateos-Díaz (2016) estimó para el 2010 las emisiones de la central termoeléctrica a partir de la estimación de emisiones de combustóleo y gas natural, como resultado se obtuvo que el gas natural es menos contaminante en comparación con el combustóleo, ya que genera menos emisiones, por ende, menos impactos en el medio ambiente y salud.

1.1.6 Método del proceso analítico jerárquico

Los estudios con la técnica de proceso analítico son variados, por ejemplo, Mendoza-Fandiño et al., (2021) analizaron la fragilidad ambiental en Colombia asociada a la contaminación del recurso hídrico, incluyendo variables geológicas, litología, precipitación, calidad del agua, por mencionar algunas, como resultado se obtuvo un mapa de fragilidad ambiental asociado a la calidad del agua, analizando la información se determinó que la cuenca del río Sinú tiene una calidad media-muy homogénea y se identificaron aquellas áreas que podrían tener mayor fragilidad, por lo tanto, el presente estudio coadyuva a la aplicación de medidas de mitigación en las zonas más susceptibles y al fortalecimiento de la gestión del recurso.

Asimismo, (Palacios-Orejuela, 2018) utilizaron la técnica del proceso analítico jerárquico para establecer sitios que podrían ser aptos para cambiar de ubicación un relleno sanitario, para ello utilizaron variables de uso de suelo, ríos, zona urbana, vías de comunicación, obteniendo un polígono que cumple con las características para colocar en un futuro el relleno sanitario, como resultado se obtuvo un polígono óptimo para la ubicación del relleno sanitario en la ciudad de Macas, en Ecuador, lo cual fue de gran ayuda, ya que el actual relleno sanitario no se encuentra en una zona apta, debido a su cercanía a cuerpos de agua.

En tanto, Esquivel et al., 2015 utilizaron en análisis multicriterio para analizar los criterios que influyen en una red de monitoreo de niveles de aguas subterráneas en el acuífero del Valle de Toluca, para ponderar los factores utilizaron el proceso analítico jerárquico y el método de combinación lineal ponderada, obteniendo un mapa de ubicaciones prioritarias para tener una mayor vigilancia, la aplicación de esta investigación coadyuvaría a la toma de decisiones en materia de recursos hídricos. Bravo-Bello et al., 2020, utilizaron el proceso analítico jerárquico

para elegir especies de árboles para los bosques urbanos en la Ciudad de México y reducir la contaminación del aire, como resultado se obtuvieron 15 especies de árboles idóneas, este estudio permitiría conocer la composición arbórea apta para la Ciudad de México y evitar la introducción de especies invasoras.

En los municipios que conforman el Valle del Mezquital, se aplicó la técnica del proceso analítico jerárquico para delimitar la zona a partir de aspectos estructurales, bioclimáticos, geomorfométricos e históricos, este estudio permitió conocer aspectos importantes para promover la identidad de los habitantes, tener un mejor manejo de recursos naturales y establecer actividades relacionadas con el manejo sostenible de recursos naturales (Rosas Ávila et al., 2015).

Por lo tanto, la técnica de análisis multicriterio es una herramienta que permite analizar y evaluar criterios de problemas complejos, así como una valorización de variables ambientales, lo cual incide en la toma de decisiones de forma más eficiente.

1.2 JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con la OPS, (2022) los factores ambientales influyen en la salud humana, la exposición a sustancias químicas puede generar enfermedades crónicas, por este motivo, los estudios ecológicos coadyuvan a tener información sobre los efectos de agentes ambientales sobre los impactos en la salud humana en las poblaciones (Blanco-Becerra et al., 2015).

Los estudios sobre priorización ambiental y el análisis de factores ambientales que inciden en la salud humana aún siguen siendo limitados, las investigaciones que se han llevado a cabo son enfocadas a aspectos ambientales o a aspectos de salud, de forma independiente y no permiten relacionar de forma directa como la contaminación al ambiente está impactando en la salud humana y cuáles son aquellos sitios a los que se les debe prestar mayor atención.

Al tener un entorno medioambiental y geológico complejo, es necesario llevar a cabo un análisis que, muestre aquellos sitios más vulnerables por contaminación en agua y aire, y en consecuencia la presencia de enfermedades.

El presente trabajo pretende ser una herramienta de apoyo a instituciones públicas como el Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades (CENAPRECE), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y al sector salud en general para la identificación de sitios prioritarios que ayuden en el monitoreo y distribución de enfermedades asociadas a la mala calidad ambiental, así como el apoyo para el fortalecimiento de las Normas Oficiales Mexicanas, debido a que al exceder los límites permisibles incrementa el riesgo para adquirir diversos tipos de padecimientos en la población, además que, podría contribuir al empoderamiento social de la zona y la disminución de costos para el gobierno, ya que se estima, que tan solo la contaminación atmosférica es

responsable del gasto de 21 mil millones de dólares a nivel mundial en 2015 (Iniciativa Climática de México, 2021).

Para el presente trabajo se analizarán enfermedades de tipo crónicas, ya que de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud la contaminación atmosférica causa 6.67 millones de muertes por enfermedades cardiovasculares, cáncer de pulmón, enfermedades respiratorias crónicas (OMS, 2021, citado en Iniciativa Climática de México, 2021) es por ello que, por el tipo de contaminación que se ha identificado a través de diversos estudios y el tiempo que llevan instaladas las industrias en el área de estudio es necesario encontrar una relación entre la contaminación y la exposición a largo plazo.

En este sentido, se utilizará la información de mortalidad, debido a la consistencia de los datos, la calidad de sistemas de recolección y registro de dichos datos. Por un lado, los datos de morbilidad pueden estar más relacionados con enfermedades agudas que con crónicas en la zona de estudio debido a la cantidad y tipo de unidades médicas que se encuentran en el Valle del Mezquital, por el otro lado, el tipo de información que se encuentra es de egresos hospitalarios, lo cual puede afectar los resultados de la presente investigación.

1.3 HIPÓTESIS

La regionalización por zonas de exposición a partir del proceso analítico jerárquico permitirá identificar causas de mortalidad asociadas a la contaminación

1.4 OBJETIVOS

1.4.2 Objetivo general

Generar un modelo espacial de exposición a contaminantes basado en un proceso analítico jerárquico que permita calcular el nivel de asociación de causas de mortalidad crónicas en la región sur del Valle del Mezquital.

1.4.3 Objetivos específicos

- Sintetizar la información de estudios relevantes y fuentes oficiales en salud y sustancias tóxicas tanto nacional como internacional, en la relación contaminante – enfermedad, que sirvan como punto de partida en el estudio epidemiológico.
- Estructurar las bases de datos de mortalidad y población como insumos para el cálculo de indicadores de frecuencia y asociación.
- Calcular las tasas de mortalidad por localidad para el periodo 2013-2020 para las causas prioritarias con la finalidad de conocer su distribución espacial.
- Identificar las variables físicas y socioambientales que contribuyen a la presencia de enfermedades en la región de estudio.

- Aplicar la herramienta de jerarquías analíticas para priorizar la región de estudio por zonas de exposición.
- Validar el nivel de asociación de las causas identificadas con las zonas de exposición a través del indicador *odds ratio*.

2. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

2.1 Definición de RESA (Región de Emergencia Sanitaria y Ambiental)

“Las RESA son definidas como aquellas áreas del territorio mexicano en las que convergen geográficamente actividades extractivas y manufactureras que han ocasionado daños o que representan un riesgo al ambiente y a la salud humana” (Azamar-Alonso et al., 2021).

La selección de sitios de emergencia sanitaria y ambiental fue resultado de 15 años de denuncias de diversos colectivos y organizaciones sociales, estas regiones forman parte del programa nacional de salud ambiental, en el que colaboran miembros de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Secretaría de Salud y el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), así como diversos colectivos (Azamar-Alonso et al., 2021; Universidad Autónoma de México, 2023).

Asimismo, el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), a partir del Programa Nacional Estratégico de Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes ha contribuido a la identificación de esas regiones a partir del webinar “Las regiones de Emergencia Sanitaria y Ambiental en México: avances, balance crítico y perspectivas a futuro”, en el cual se han identificado zonas y métodos para caracterizar las RESAS y los vínculos académicos que contribuyen a la identificación (CONAHCYT, 2021).

2.2 Ecología y salud

La ecología es aquella ciencia que se encarga de estudiar las interacciones de los organismos con su ambiente, cada elemento de un ecosistema puede impactar en los demás componentes (SEMARNAT, 2021c). Por lo tanto, todos los impactos que se presentan en el medio ambiente pueden impactar en la salud humana, que es la condición individual y colectiva de calidad de vida, resultado de condiciones biológicas, materiales, psicológicas, sociales, ambientales, culturales, de la organización y funcionamiento del sistema salud; producto de las determinantes sociales, ambientales, biológicas y del sistema de salud (Alcántara-Moreno, 2008), es por ello, por lo que la ecología y la salud están estrechamente relacionadas.

En este contexto, es importante considerar la salud ambiental, que es la encargada de evaluar y controlar los impactos que tiene el entorno en el ser humano, ya que, un medioambiente saludable puede promover una vida sana (National Geographic, 2023).

El desequilibrio entre los seres humanos y la naturaleza hacen que haya catástrofes y nuevas enfermedades, el ser humano ha olvidado la interacción que tiene con plantas, animales, virus, bacterias y que cada uno tiene un lugar en el planeta (Jaramillo-Antillón, 2010). La población y la necesidad de utilizar recursos naturales para crecer económicamente se están dando a un ritmo acelerado, lo cual pone en peligro la estabilidad de la biosfera y las condiciones necesarias para tener salud humana, la variedad de contaminantes y la forma en que afectan al ecosistema hacen que aparezcan enfermedades en la población (Centro Europeo de Postgrado, 2022; Manzano-Pérez, 1974). Desde el punto de vista ecológico el hombre es semejante a otras especies, sin embargo, es más inteligente, y lo ha llevado a desarrollar habilidades tecnológicas para utilizarlas en su beneficio. A pesar de los éxitos tecnológicos que se han dado en la sociedad, se están

introduciendo elementos perturbadores al ecosistema a un ritmo acelerado, lo cual podría impactar en el bienestar de la población (Manzano-Pérez, 1974). En este sentido, la salud está estrechamente relacionada según las condiciones ecológicas predominantes, las variables culturales y ambientales pueden llegar a afectar a la población (Monge, 1978).

El mayor de los problemas es la deforestación, las modificaciones a los bosques y selvas porque diversas especies están migrando y llevando con ellas parásitos, bacterias y virus. Por lo que, todas las personas pueden estar expuestas a enfermedades a través del ambiente, porque hay bacterias, virus, sustancias tóxicas, etc., suspendidos en el aire, provenientes de diferentes fuentes contaminantes de origen natural o antropogénico, como, las industrias, automóviles; descargas de aguas residuales, erupciones, condiciones del suelo, solo por mencionar algunas (Jaramillo-Antillón, 2010).

2.3 Contaminación y monitoreo

La contaminación es definida como la presencia de sustancias no deseables en el aire, agua, suelo en concentraciones que puedan afectar la salud y bienestar de las personas (Encinas-Malagon, 2011). Las mediciones se pueden realizar a través del índice de calidad del aire; para el suelo se utilizan variables como la infiltración, capacidad de almacenamiento del suelo, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica; para el agua superficial se consideran indicadores como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), coliformes fecales (CF), para el agua subterránea se consideran indicadores microbiológicos y fisicoquímicos como fluoruros, nitrógeno de nitratos, arsénico, mercurio, plomo, alcalinidad, conductividad eléctrica, dureza, manganeso, hierro y manganeso (García et al., 2012;

Comisión Nacional del Agua, 2024). Para ello, es necesario realizar un monitoreo, que son observaciones confiables en la naturaleza/territorio para detectar, medir, evaluar y sacar conclusiones sobre cambios que ocurren en las especies y ecosistemas en el tiempo y el espacio (Relatives, 2009), el monitoreo puede ayudar a detectar aquellas partículas o sustancias que pueden impactar en la salud, es decir, la condición individual y colectiva de calidad de vida (Alcántara-Moreno, 2008).

2.4 Contaminación del recurso hídrico y ambiente

La contaminación es la presencia de sustancias no deseables en el aire y agua en concentraciones que pueden impactar en la salud humana, la contaminación ha incrementado debido a la necesidad de sobresalir económicamente, el aumento poblacional, avances tecnológicos, por mencionar algunos, y puede ser emitida por fuentes naturales o artificiales (Encinas-Malagon, 2011). La contaminación del agua es cuando hay sustancias químicas o microorganismos que son nocivos en un cuerpo de agua, estos por lo regular degradan el recurso, haciéndolo tóxico para el medio ambiente y el ser humano (NRDC, 2023), para determinar la calidad del agua, se utilizan indicadores de calidad físicoquímicos, microbiológicos (CONAGUA, 2024).

La contaminación del aire es la presencia de elementos que superan lo establecido por normas establecidas y con una presencia determinada que puede generar enfermedades en la población y otros efectos en la vegetación, animales. Estos elementos pueden ser polvo, olores, humos o vapor” (Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023). En el caso de la calidad del aire se utilizan estaciones de monitoreo e indicadores de calidad (INECC, 2016), las estaciones cuentan con instrumentos para medir concentraciones en el aire de partículas suspendidas, ozono, dióxido de

azufre, dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono, procedentes de fuentes puntuales, es decir, aquellas que son estacionarias o que se encuentran en un punto fijo (industrias) y fuentes móviles, que abarcan el transporte y vehículos automotores (INECC, 2019; SEMARNAT, 2018).

2.4.1 Industrias: Etapas de los procesos

A nivel nacional, el crecimiento industrial se ha llevado durante muchos años sin tener en cuenta los diversos tipos de contaminación, el desequilibrio en los ecosistemas, los impactos en la salud y la gran cantidad de desechos orgánicos de industrias y empacadoras de alimentos, procesos petroquímicos y fábricas textiles, así como desechos inorgánicos que incluyen ácidos, plomo, cobre, entre otros metales pesados (INEGI, 2020a; Mondragón Téllez, 2016; Suárez-Tamayo & Molina-Esquivel, 2014).

Es por ello que, el estado de Hidalgo ha recibido atención debido a la gran cantidad de industrias y contaminación atmosférica proveniente de la central termoeléctrica de Tula, Francisco Pérez Río, la refinería, plantas de generación eléctrica, cementeras, caleras e industrias metalmeccánicas y químicas (INECC, 2020; Iniciativa Climática de México, 2021). Esta zona, incluso es considerada como una zona crítica debido a la cantidad de contaminación atmosférica, condiciones topográficas, demográficas, el tipo y cantidad de fuentes emisoras de contaminantes (INECC, 2016 citado por (Moreno-Torres, 2017).

Refinería

La industria de refinación es una instalación industrial en la cual se llevan a cabo diversos procesos para obtener componentes útiles que son de vital importancia para el ser humano, esta industria ha sido de vital importancia para el crecimiento económico a nivel nacional, debido a la generación de combustibles como insumo principal del transporte (PEMEX, 2014; Romo, 2016).

En México actualmente se cuenta con seis refinерías como son: Minatitlán (Veracruz), Cadereyta (Nuevo León), Madero (Tamaulipas), Salamanca (Guanajuato), Salina Cruz (Oaxaca) y Tula (Hidalgo) (Granados-Hernández et al., 2015) siendo la de Salina Cruz con mayor potencia para producir petróleo crudo, pero no la que proceso más petróleo en 2022, en este sentido, la refinерía Miguel Hidalgo, en Tula fue la más productiva con 180,000 barriles al día (Onexpo, 2023).

La refinерía Miguel Hidalgo ubicada en Atitalaquia, estado de Hidalgo, comenzó a operar desde 1976 De la Mora-De la Mora (2012). En una zona estratégica, debido a la cercanía que tiene con principales productores de aceite crudo y la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (Segoviano-Murillo, 2006).

Los procesos de la refinерía se llevan a cabo en diferentes etapas (Figura 2.1), mediante los cuales puede elevar la calidad de los productos o eliminar compuestos indeseados (Segoviano-Murillo, 2006) (Ver Anexo 1).

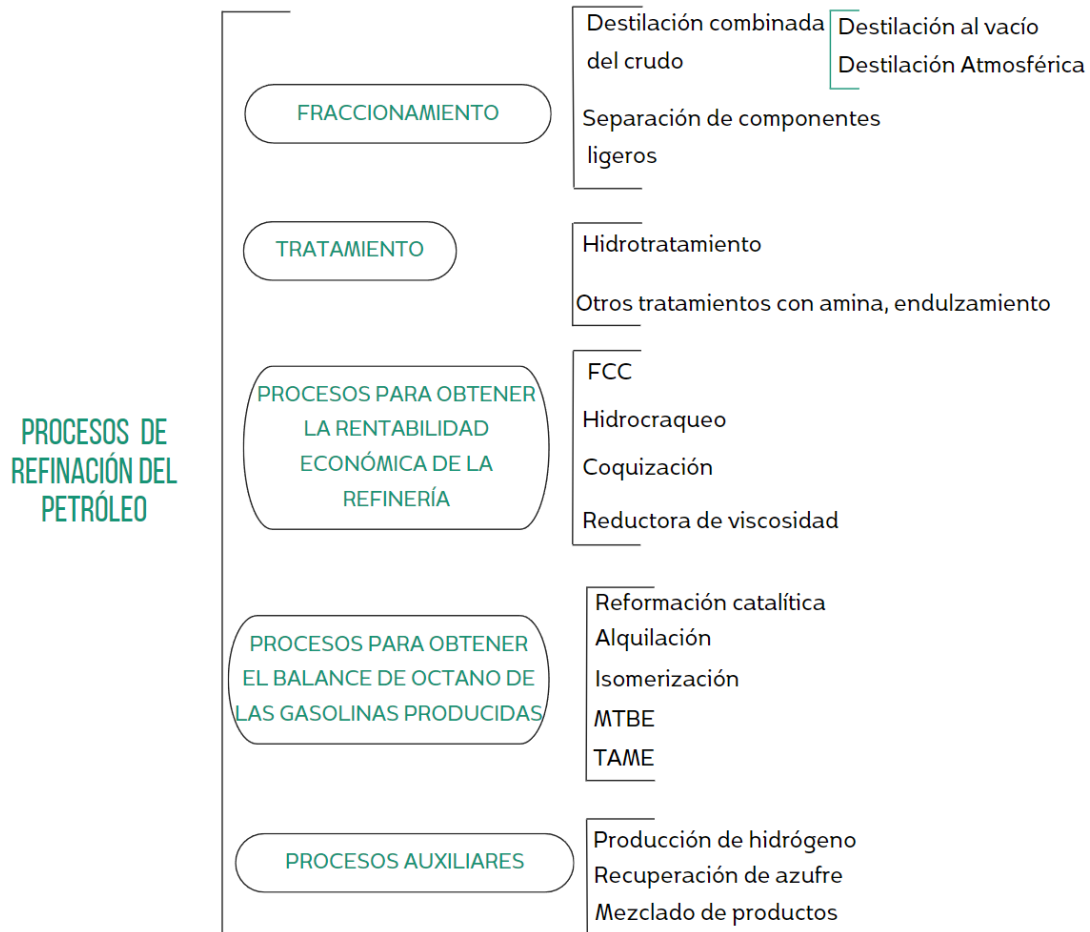


Figura 2.1 Procesos de refinación del petróleo en una refinería. Elaboración propia con información de Segoviano-Murillo, (2006).

Termoeléctricas

Las centrales termoeléctricas generan energía eléctrica a partir de agua que hierve en una caldera (Foro Nuclear, 2023).

En México a partir de 1960, se inició la expansión de generación eléctrica a partir de hidroeléctricas y termoeléctricas, existen 59 centrales termoeléctricas convencionales, las cuales se concentran en los estados de Veracruz, Hidalgo, Colima, Sonora, Tamaulipas y Sinaloa, la capacidad total instalada es de 12,546 megavatios (MW). Este tipo de industrias utilizan

diferentes tipos de combustibles: carbón, gas natural, derivados del petróleo, los cuales emiten grandes cantidades de emisiones a la atmósfera SENER, (2017).

En el área de estudio, se encuentra la termoeléctrica de Tula “Francisco Pérez Ríos”, considerada una fuente fija, ubicada en Tula de Allende (Moreno-Torres, 2017), genera energía eléctrica combustóleo, gas natural e incluso ambos, sin embargo, para 2021 solo trabajaba al 40% de su capacidad CFE, (2021).

El proceso que se lleva a cabo en la central termoeléctrica “Miguel Hidalgo” es la extracción del agua del subsuelo, la cual llega a unos tanques de almacenamiento llamados TAC’S que distribuyen el agua un tanque que suministra agua a la red contra incendio, a la planta de tratamiento de aguas y a las torres de enfriamiento, en las cuales se le da un tratamiento químico al agua para retirar el exceso de oxígeno del agua que es enviado a las calderas. Posteriormente, las calderas reciben el agua y la transforman en vapor de alta presión, impulsando las turbinas para generar energía eléctrica (PEMEX, 2013).

Los procesos de este tipo de industria utilizan el combustible fósil con alto contenido de azufre, que representa una de las principales fuentes de emisión de materia particulada 2.5 y óxidos de azufre al ambiente (Hernández-Moreno, 2020 citado en (Iniciativa Climática de México, 2021). Regularmente, no cumple las normas ambientales y de operación, lo que impacta la salud de personas que se encuentran expuestas (Greenpeace, 2021).

Cementeras

Desde la década de los noventa, la industria del cemento es una de las más importantes en México (Vásquez & Corrales, 2017). Sin embargo, debido al uso de energía, agua y minerales, es clasificada como una actividad de alto impacto ambiental (Ventura-Cortes, 2019).

De acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), a nivel nacional se encuentran instaladas 36 cementas del grupo Holcim, CEMEX, Fortaleza, Moctezuma, Cruz Azul y Cementos GCC (DENUE, 2020), de las cuales 7 de las más importantes se encuentran en el área de estudio (DENUE, 2020).

En el corredor industrial Tula-Apaxco se encuentran cementeras como Cemex, Lafarge, Cruz Azul y Holcim, las cuales incineran llantas para poder llevar a cabo su proceso (Romo-Gómez et al., 2019), contribuyendo con contaminantes al medio ambiente, especialmente porque los hornos cementeros utilizan como insumo el coque de petróleo, el cual contiene metales pesados que son liberados a la atmósfera (Carrasco-Gallegos et al., 2017).

Las principales etapas que se llevan a cabo en el proceso de fabricación del cemento son la recepción y almacenamiento de materias primas, la trituración de esas materias primas, posteriormente, se lleva a cabo la molienda del crudo, seguido de la homogenización, la pre-calcinación, la clinkerización, la molienda del cemento, el almacenamiento, envasado, la paletización y el despacho (Ver Figura 2.2) (Ministerio de Energía y minas, 2019).

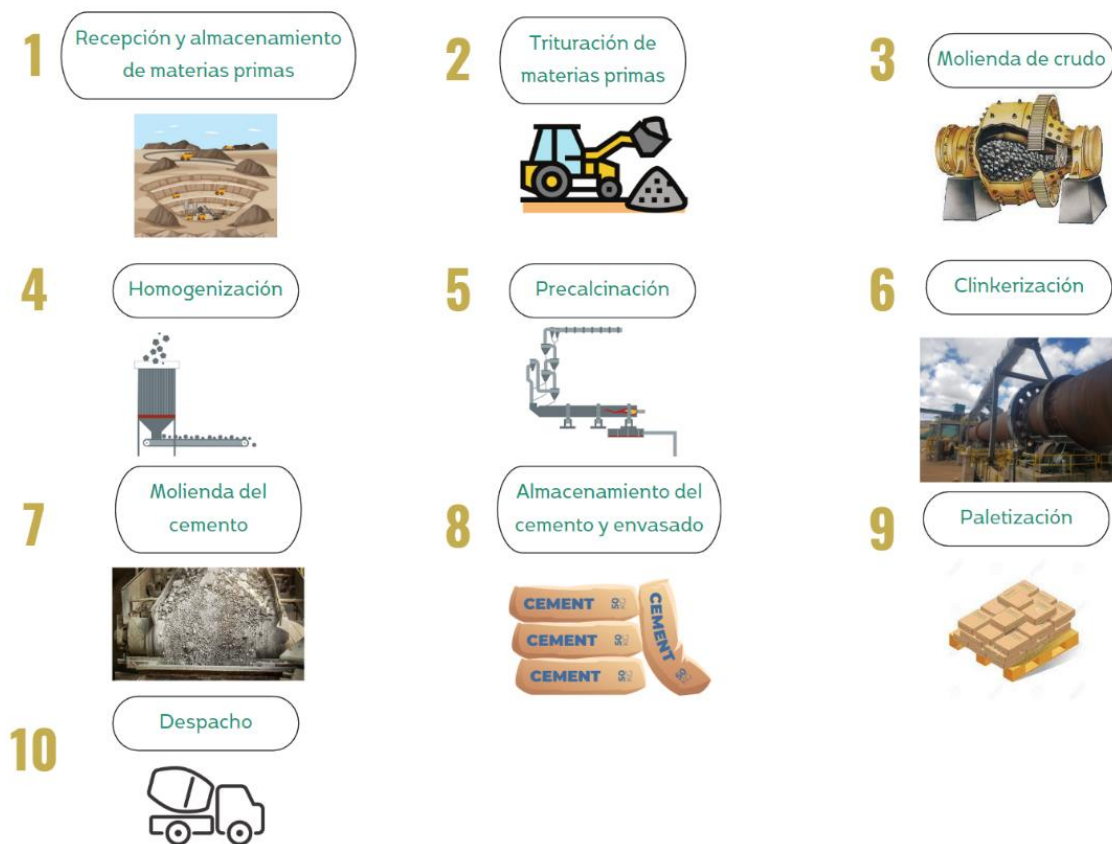


Figura 2.2 Procesos de fabricación del cemento. Elaboración propia con base a la información del (Ministerio de Energía y minas, 2019).

2.5 Material particulado

El material particulado son una serie de partículas sólidas y líquidas que se encuentran en suspensión en el aire (EPA, 2023e). Su composición es variada, se pueden encontrar sulfatos, nitratos, amoniaco, cloruro, entre otros componentes (Instituto para la Salud Geoambiental, 2022).

Se clasifican en función del tamaño, las partículas PM_{10} son las de mayor tamaño y las $PM_{2.5}$ las más finas, este tipo de partículas se emiten desde obras en construcción, incendios, chimeneas, centrales eléctricas,

industrias y automóviles. Asimismo, son las causantes de diversos problemas de salud en el sistema respiratorio y circulatorio (EPA, 2023e).

La materia particulada 2.5 es un indicador de contaminación en el aire y son las que se encuentran suspendidas en un mayor tiempo en la atmósfera, viajan distancias prolongadas y se infiltran en casas, escuelas, oficinas, generando una mayor exposición en la población (SEMARNAT, 2021a).

2.6 Normas oficiales mexicanas

Las Normas Oficiales Mexicanas son regulaciones que permiten establecer características que deben reunir tanto procesos como servicios para que no sean un riesgo para la población y su salud, este tipo de regulaciones son expedidas por dependencias especializadas (Secretaría de Salud, 2015b).

En tanto, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos menciona en su artículo 4º, párrafo quinto, que *todo ser humano tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, y que el daño ambiental será cometido de quien lo provoque*, de acuerdo con lo dispuesto en la ley (CNDH, 2016; Cámara de Diputados et al., 2024).

Normas de calidad del aire

En materia de calidad del aire, hay diversas normas que indican los límites permisibles de diversos contaminantes, por ejemplo, la NOM-025-SSA1-2021 que establece los criterios para evaluar la calidad del aire con respecto a partículas menores a 10 micras, en la cual se indica que los efectos a una exposición a corto plazo y concentraciones mayores de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pueden generar síntomas respiratorios o cardiovasculares, mientras que la

exposición crónica puede desarrollar muerte prematura por enfermedades cardiovasculares y respiratorias (DOF, 2021d).

Por su parte, la NOM-020-SSA1-2021 establece los valores permisibles para la concentración de ozono en el aire y cuáles son los criterios para su evaluación, la cual menciona que la exposición a concentraciones de ozono se asocia con enfermedades como displasia, hiperplasia, estrés oxidante, estrechamiento bronquial, función respiratoria, el valor máximo de concentración de 8 horas es de $137 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (DOF, 2021a).

En tanto, la NOM-022-SSA1-2010 constituye los criterios que se utilizan para evaluar la calidad del aire con respecto al dióxido de azufre (SO_2), y menciona que los valores máximos de la concentración promedio de 24 horas es de $288 \mu\text{g}/\text{m}^3$, este tipo de contaminante impacta en el sistema respiratorio y cardiovascular, así como al desarrollo del feto y cáncer de pulmón (DOF, 2019).

La NOM-023-SSA1-2021 “Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de nitrógeno (NO_2)” relaciona las enfermedades respiratorias (EPOC), cardiovasculares (eventos isquémicos cardíacos) y diabetes mellitus, la concentración promedio de 1 hora es de 0.21 ppm ($395.1 \text{ g}/\text{m}^3$) (DOF, 2021c).

NOM-021-SSA1-2021 “Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al monóxido de carbono (CO)” menciona que las concentraciones de CO no deben rebasar el valor permisible de 11.00 ppm ($12598 \text{ g}/\text{m}^3$), las enfermedades asociadas a este contaminante es el incremento del riesgo en mortalidad por enfermedades cardiovasculares e incremento en enfermedades respiratorias (DOF, 2021b).

Asimismo, por el tipo de industrias que se encuentran en el área de estudio es necesario considerar la NOM-016-CRE-2016 que establece las especificaciones de calidad de petrolíferos, indica el fortalecimiento de la vigilancia de la calidad de los petrolíferos y describe acciones legales,

operativas y presupuestarias, esta norma permite el uso de combustóleo con 2% de contenido de azufre (DOF, 2016).

2.7 Epidemiología

La epidemiología “estudia la distribución de las enfermedades en las poblaciones humanas y los factores que determinan esa distribución, principalmente mediante el uso de estadísticas” (Mullner, 2024).

A partir de la epidemiología se pueden analizar las enfermedades con respecto a factores de riesgo, como aspectos ambientales o demográficos, ya que hay disponibilidad de información referenciada geográficamente (Elliott & Wartenberg, 2004). Esta ciencia permite entender la distancia entre la población susceptible, la detección de lugares críticos y la dispersión de las enfermedades de forma espacio-temporal, es por ello, que los estudios a través de los sistemas de información geográfica pueden proporcionar a las autoridades de salud información de las zonas donde deben adoptar medidas de control, a partir de la observación y descripción de las zonas donde se están desarrollando las enfermedades y los factores de riesgo que podrían estar impactando en la salud humana (Lin & Wen, 2022).

2.8 Salud

De acuerdo con la OMS “La salud es un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades”, asimismo, indica que el goce de salud es un derecho que todo ser humano sin distinción de raza, religión, ideología política, condición económica o social (OMS, 2024).

Sin embargo, es importante considerar que la salud permite fortalecer habilidades y capacidades en la población y empodera a todos a nivel personal, económico y social (OPS, 2023b). Es por ello, que es necesario considerar que la conducta de los individuos tiene relación con el medio ambiente porque “La salud es la capacidad de realizar el propio potencial personal y responder de forma positiva a los problemas del ambiente” (Gavidia Catalán & Talavera, 2012).

2.8.1 Tasas de mortalidad

La tasa de mortalidad general (TMG) “es el volumen de muertes ocurridas por todas las causas de la enfermedad, en todos los grupos de edad y para ambos sexos” (Díaz Pinzón, 2020). Este indicador permite analizar el número de defunciones que hay por cada cierto número de habitantes (DGIS, 2023).

2.8.2 Clasificación internacional de enfermedades 10-11 (CIE-10-11)

La clasificación internacional de enfermedades de la Organización Mundial de la Salud “son un conjunto de clasificaciones que pueden ser usadas de una manera integrada para comparar internacional y nacionalmente la información en salud y, por consiguiente, ayudar al desarrollo de sistemas estadísticos confiables a nivel local, nacional e internacional” (Gómez-Rivadeneira, 2015). Las enfermedades se subdividen en códigos a nivel internacional (Ver tabla 2.1).

Tabla 2.0.1 Clasificación Internacional por grupos de Enfermedades CIE-10-11

CIE-10-11	Enfermedad
A00-B99	Ciertas enfermedades infecciosas y parasitarias
C00-D48	Tumores (neoplasias)
D50-D89	Enfermedades de la sangre y de los órganos hematopoyéticos, y ciertos trastornos que afectan el mecanismo de la inmunidad
E00-E90	Enfermedades endocrinas, nutricionales y metabólicas
F00-F99	Trastornos mentales y del comportamiento
G00-G99	Enfermedades del sistema nervioso
H00-H59	Enfermedades del ojo y sus anexos
H60-H95	Enfermedades del oído y de la apófisis mastoides
I00-I99	Enfermedades del sistema circulatorio
J00-J99	Enfermedades del sistema respiratorio
K00-K93	Enfermedades del sistema digestivo
L00-L99	Enfermedades de la piel y del tejido subcutáneo
M00-M99	Enfermedades del sistema osteomuscular y del tejido conjuntivo
N00-N99	Enfermedades del sistema genitourinario
O00-O99	Embarazo, parto y puerperio
P00-P96	Ciertas afecciones originarias en el período perinatal
Q00-Q99	Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas
R00-R99	Síntomas, signos y hallazgos anormales clínicos y de laboratorio, no clasificados en otra parte
S00-T98	Traumatismos, envenenamientos y algunas otras consecuencias de causas externas
U00-U99	Códigos para propósitos especiales
V01-Y98	Causas externas de morbilidad y mortalidad
Z00-Z99	Factores que influyen en el estado de salud y contacto con los servicios de salud

Fuente: Elaboración propia con base a la información de Gómez-Rivadeneira (2015).

2.8.3 Razón de momios e intervalos de confianza

La razón de momios es una medida de asociación que permite analizar la probabilidad de que ocurra un evento entre las personas que se encuentran expuestas y no expuestas, el primer momio es el que muestra cuantas veces es mayor la probabilidad de ocurrencia, mientras que el segundo muestra cuantas veces es probable que se presente el evento. Por su parte, los intervalos de confianza (IC) permiten estimar la precisión de la razón de momios, un IC pequeño indica una mayor precisión de la razón de momios, mientras que un IC grande indica que hay una menor precisión. Este indicador muestra la significancia estadística (>1) o la falta de asociación entre la exposición y los resultados (Candia B & Caiozzi A., 2005; González Garay et al., 2018; Szumilas, 2010).

2.9 Proceso analítico jerárquico y priorización

El proceso analítico jerárquico es una herramienta que se utiliza en el análisis multicriterio que permite evaluar diversos criterios, se utiliza para emitir un juicio comparativo entre medidas heterogéneas y contribuye a la evaluación de aspectos sociales, económicos o ambientales valorando los efectos de acciones con respecto a los criterios seleccionados (Eastman, 2016; Tobón, 2013).

El proceso analítico jerárquico lleva a cabo una serie de etapas, que consisten en: 1) la definición y estructuración del problema, se tiene que considerar la disponibilidad de información y los posibles conflictos; 2) descripción de alternativas potenciales, considerar los elementos sobre los que se tomaran las decisiones; 3) elección de conjuntos de criterios de evaluación, tener los suficientes criterios de evaluación para que el problema se pueda interpretar; y, 4) la identificación de un sistema de preferencia

para la toma de decisiones y elección, es decir, la asignación de peso a cada variable a partir de la importancia que tenga cada una (Grajales-Quintero et al., 2013).

El proceso analítico jerárquico permite priorizar zonas, que son aquellas áreas o regiones que necesitan algún tipo de atención, ya que registran algún tipo de vulnerabilidad por índices de pobreza, marginación o rezagos en los derechos para el desarrollo social (CONEVAL, 2023). Sin embargo, es importante evaluar la independencia de las variables ambientales a través, por ejemplo, de una matriz de correlación (Baltzua, 2009).

3.ZONA DE ESTUDIO

El Valle del Mezquital es una región denominada de esta forma, ya que se encuentra una comunidad otomí llamada B'ot'ähi" o tierra de los mezquites, así como por un árbol llamado el mezquite, el cual sirve para hacer bebidas, dulces y para alimentar al ganado (Reconociendo México, 2019).

La zona de análisis del presente estudio, son cuatro municipios ubicados en el sur del Valle del Mezquital y que forman parte de la RESA Valle del Mezquital, que comprende tres municipios pertenecientes al estado de Hidalgo: Tula de Allende, Atitalaquia y Atotonilco de Tula y un municipio perteneciente al Estado de México: Apaxco.

La selección del área de estudio fue a partir del análisis que se llevó a cabo en el proyecto PRONAI 318998 "Evaluación de riesgo para la salud humana y ambiental por agentes tóxicos de origen antrópico como herramienta de empoderamiento social. Región estratégica ambiental Norte del Estado de México y Zona Tula, Hidalgo", liderado por la facultad de geografía de la UAEMéx y el cual cuenta con la participación de diversas instituciones.

Tabla 3.1 Densidad de población por municipio y a nivel nacional

Municipio	Densidad de población
Atitalaquia	491.04 hab/km ²
Atotonilco de Tula	978.41 hab/km ²
Tula de Allende	376.41 hab/km ²
Apaxco	394.04 habitantes/km ²
Nivel nacional	64 hab/km ²

Fuente: Elaboración propia con base a la información de (INEGI, 2020b).

El área de estudio se localiza en sus límites extremos de $-99^{\circ} 29' 26''$ Oeste y $-99^{\circ} 7' 17''$ al Este y una latitud norte de $20^{\circ} 8' 24''$ y al sur con $19^{\circ} 56' 10''$ (Figura 3.1).



Descripción

- | | | |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------|
| Corrientes superficiales | Estado de Hidalgo | Límites municipales |
| Cuerpos de agua | Estado de México | |
| Industrias y minas | Acuífero del Valle del Mezquital | |

Figura 3.1 Zona de estudio.

3.1 Caracterización de los elementos del medio natural

3.1.1 Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García (García, 2004), predomina el clima semiárido-templado, mientras que en la región centro y suroeste el clima templado subhúmedo, ambos climas tienen lluvias en verano (de junio y septiembre) (Figura 3.2) (CONAGUAa, 2023).

La temperatura media anual (Figura 3.3) al suroeste oscila en los 8°C, mientras que la región nororiental es de 16°C, su precipitación media anual es de 600 milímetros (SEGOB, 2016). A lo largo del tiempo, se puede observar que la temperatura ha ido en aumento, y que para el periodo se tiene una temperatura media anual de 15.7 °C (Figura 3.2), lo cual puede influir en la presencia e incremento de la formación de contaminantes en el Valle del Mezquital, por su parte, la precipitación anual oscila entre los 418 y los 826 milímetros desde 1958 a 2020 en los meses de junio a septiembre (Figura 3.4 y 3.5).

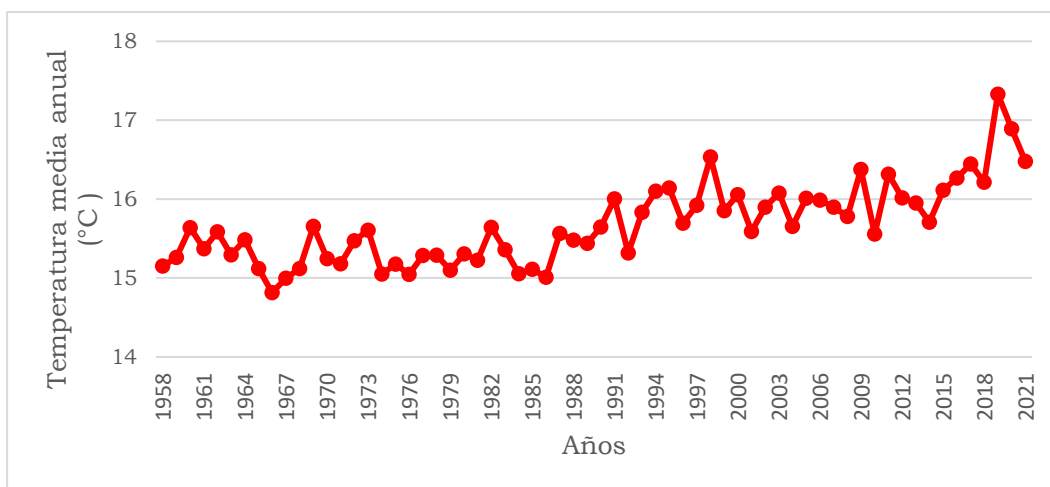


Figura 3.2 Temperatura media anual (1958-2020). Elaboración propia a partir de información de Terraclimate.

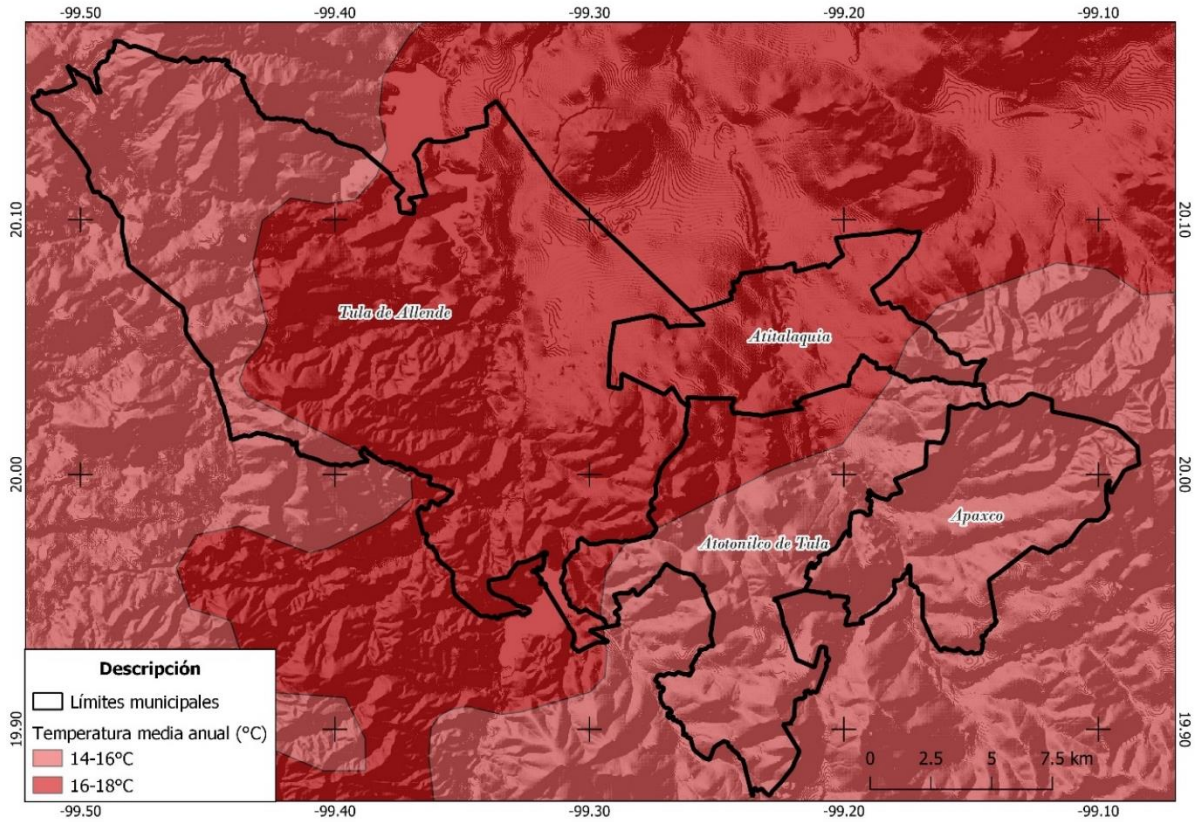


Figura 3.3 Temperatura media anual. Elaboración propia a partir de información de (CONABIO, 2008).

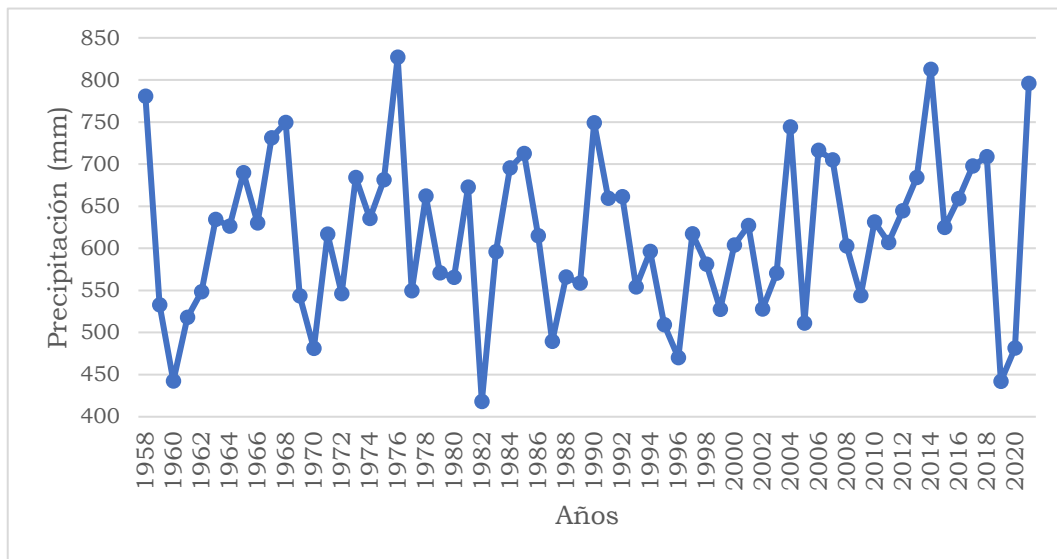


Figura 3.4 Precipitación promedio anual (1958-2020). Elaboración propia a partir de información de Terraclimate

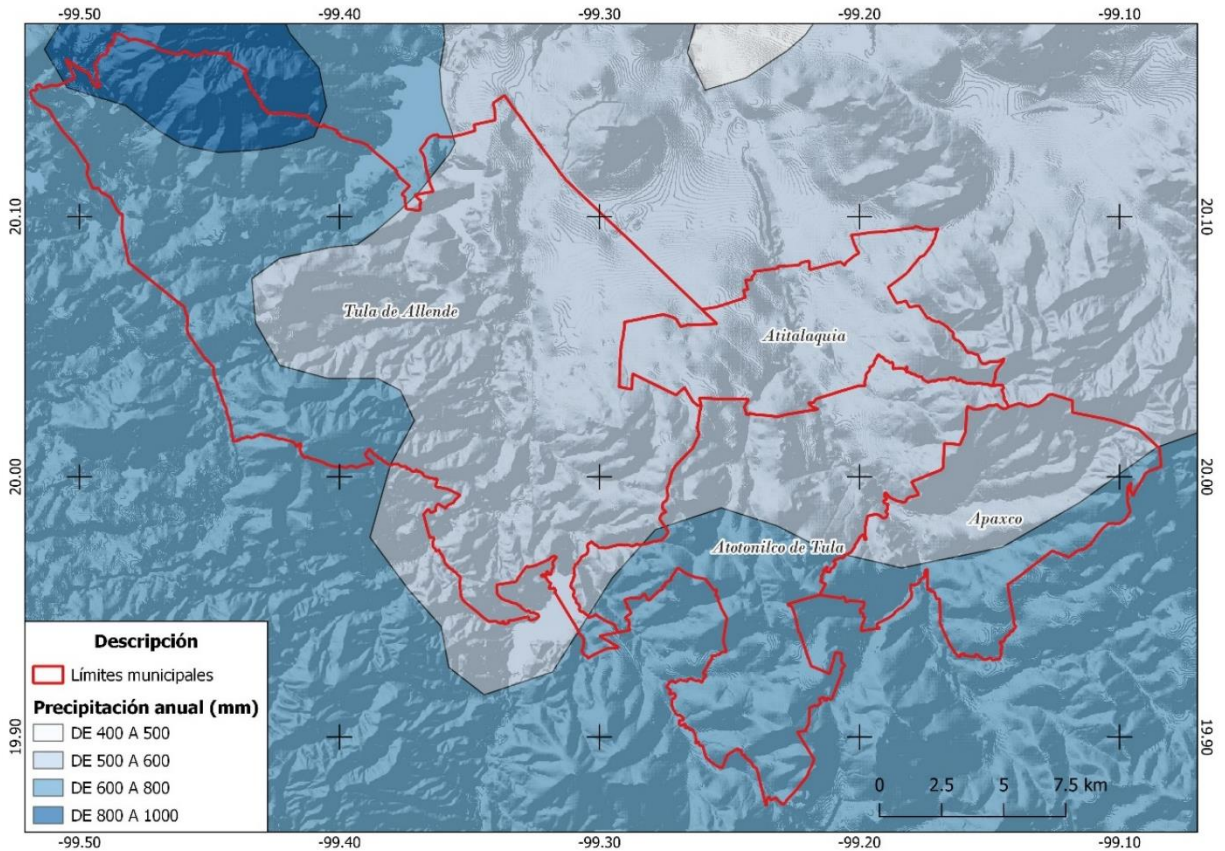


Figura 3.5 Precipitación promedio anual. Elaboración propia a partir de información de CONABIO

3.1.2 Circulación de los vientos

La difusión de contaminantes depende de diversos factores, entre ellos el clima porque favorece o dificulta la difusión de los contaminantes, asimismo la cantidad de emisiones de fuentes fijas y móviles, la velocidad de los vientos y las condiciones topográficas del lugar (Requena et al., 2020).

La dispersión de contaminantes se puede analizar a partir de la circulación de los vientos, en este sentido, Tula de Allende, Atitalaquia y Atotonilco tienen una dirección de los vientos hacia el noroeste, lo que podría modificar la dispersión de contaminantes de Tula hacia el Valle de México. Por otro

lado, hay un viento en dirección contraria con una frecuencia importante que impacta a Tula y Atotonilco de Tula (INECC, 2020).

En el municipio de Tula de Allende se muestra que la velocidad de los vientos de enero a abril es arriba de 28 km/h, sin embargo, prevalecen los vientos con velocidad (INECC & SEMARNAT, 2021) octubre a febrero (INECC & SEMARNAT, 2021).

De acuerdo con Sosa et al., (2013) en la zona de estudio las condiciones atmosféricas durante la mañana favorecen la concentración de contaminantes, lo cual incrementa la exposición en los habitantes, después del mediodía, se favorece la concentración de contaminantes en altitudes mayores, mientras que por la tarde y noche, una “capa de mezcla más espesa alcanzó una altura promedio de 2500 a 3000m, con un débil chorro de bajo nivel cerca de la superficie, este chorro es el responsable del transporte de contaminantes del aire a escalas regionales”, estas condiciones pueden empeorar en invierno por debajo de los 0°C.

3.1.3 Hidrología superficial

Los municipios se encuentran ubicados en la región hidrológica 26 Pánuco, subregión hidrológica Río Tula, siendo la corriente principal el Río Tula, seguido del río Salado, El Salto y el río Rosas (Figura 3.6).

En la región se encuentran dos presas, Endhó y Requena (CONAGUAa, 2023). Los niveles de agua son regulados principalmente por las descargas de aguas negras provenientes de la Ciudad de México, y conectan con corrientes superficiales, estas aguas (UAEH, 2023).

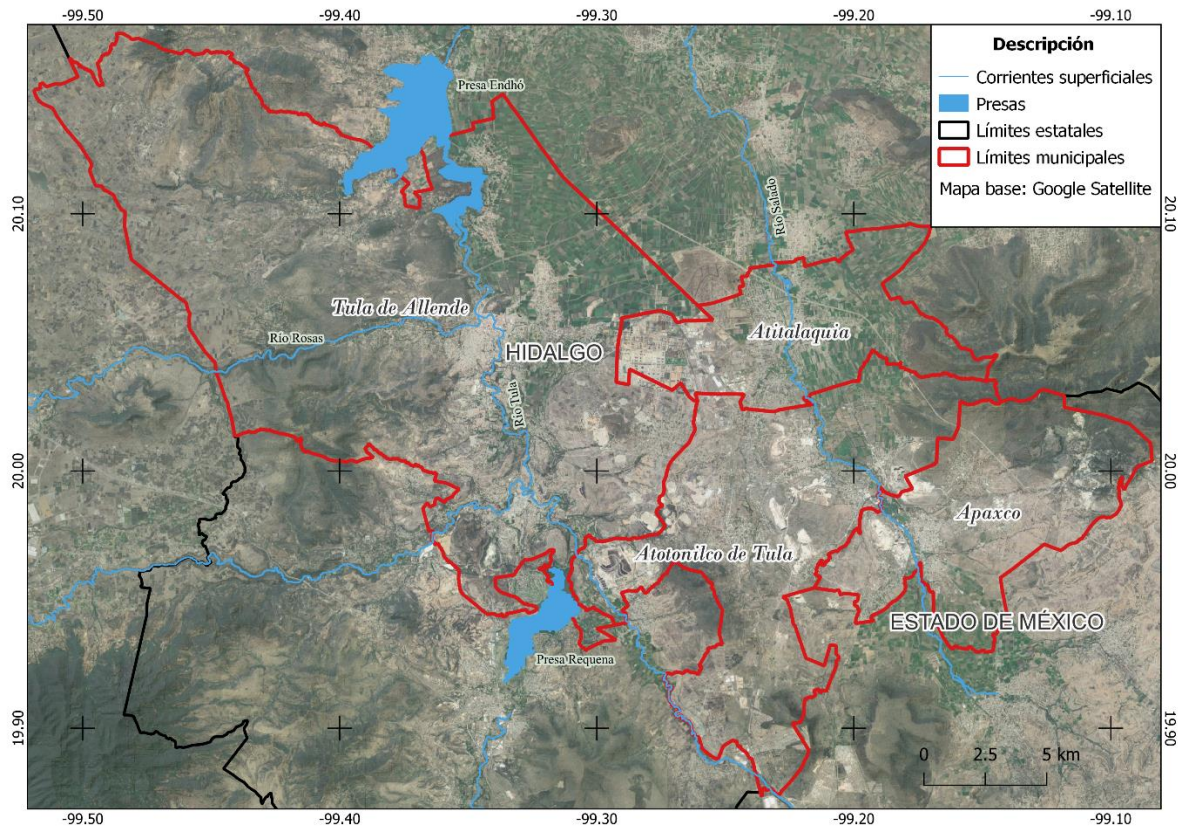


Figura 3.6 Cuerpos de agua superficiales

3.1.4 Hidrología subterránea

La zona de estudio se encuentra en el acuífero del Valle del Mezquital (1310), siendo un acuífero libre a semiconfinado, conformado por materiales granulares aluviales, rocas volcánicas y sedimentos piroclásticos, con un espesor promedio de 400 m (CONAGUAA, 2023) (Figura 3.1)

3.1.5 Geología

En el área de estudio se encuentran rocas de tipo sedimentarias y volcánicas del Cretácico Superior al Reciente Figura 3.7. En el Cretácico Superior se encuentra la formación el Doctor, la cual consta de rocas calizas de grano fino, esta unidad aflora en Apaxco y Tula (CONAGUAa, 2023).

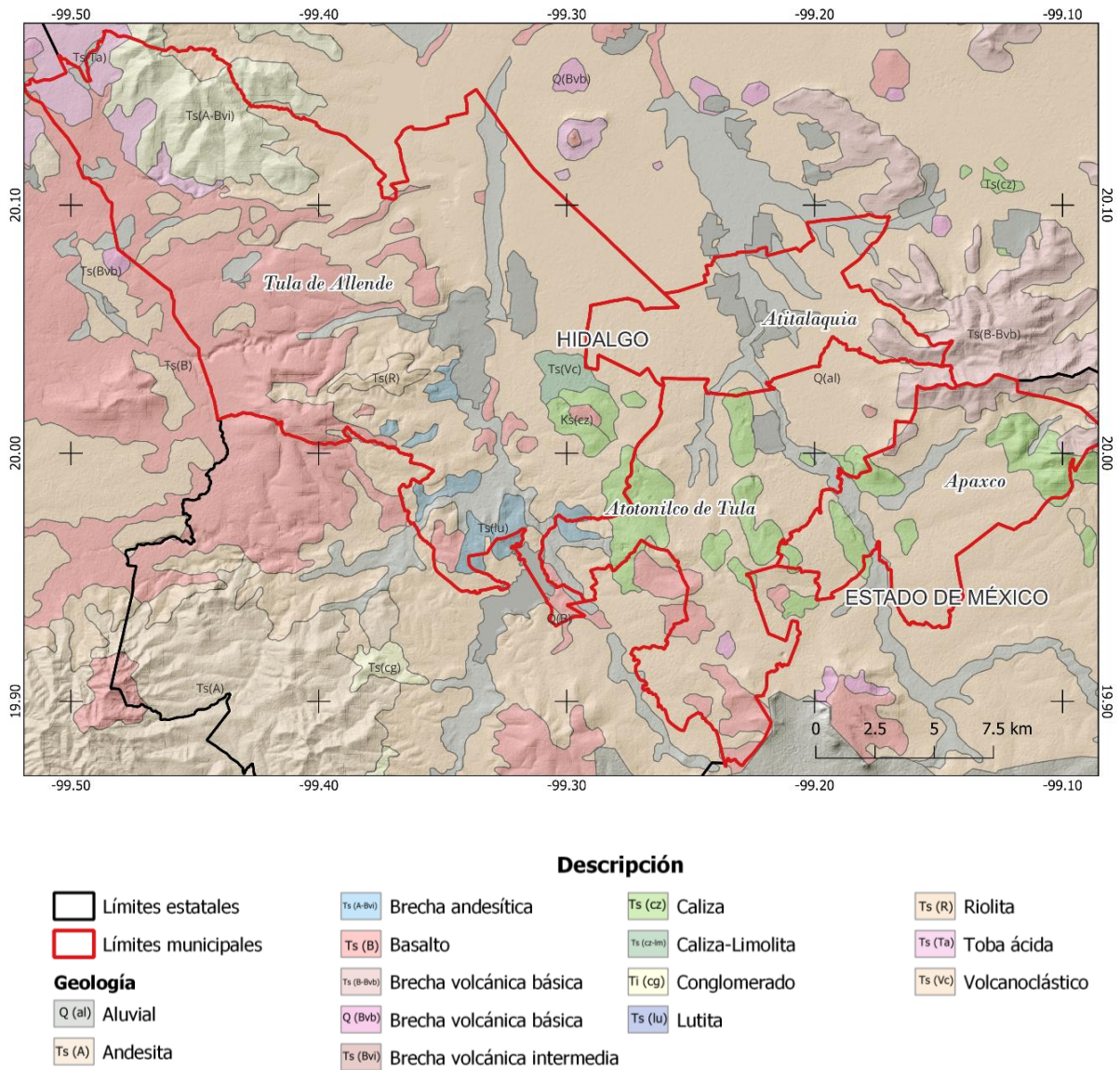


Figura 3.7 Geología. Elaboración propia a partir de la información del Servicio Geológico Mexicano SGM 2015).

Otra de las formaciones que se encuentra dentro del área de estudio es la Formación Taximay que data de la era terciaria, con depósitos lacustres, principalmente arcillas. Asimismo, se encuentran los Basaltos Grupo San Juan que corresponden a rocas máficas de composición de basalto y andesita. Por último, entra en el área de estudio la formación Tarango que consta de gravas, arenas, limos y arcillas sobre cauces fluviales, llanuras de inundación y abanicos aluviales (CONAGUAA, 2023).

3.1.6 Geomorfología

La geomorfología se distingue por valles que es una región plana con ligera pendiente hacia el norte. Asimismo, hay sierras volcánicas conformadas por andesitas, basaltos, tobas y brechas. Y por sierras calcáreas que presentan formas redondeadas (CONAGUAA, 2023).

3.1.7 Tipo de suelo

Los suelos que predominan en el área de estudio son jóvenes y pocos desarrollados, predomina el Regosol, Feozem y Fluvisoles de origen calcáreo (Hernández-González et al., 2018). Los regosoles son suelos jóvenes pobres en materia orgánica, se encuentran sobre material no consolidado, en tanto los Feozem son suelos porosos, ricos en materia orgánica, mientras los Fluvisoles provienen de material aluvial, ambos utilizados para la agricultura. Figura 3.8 (Instituto Geográfico Nacional, 2015; SEMARNAT, 2015).

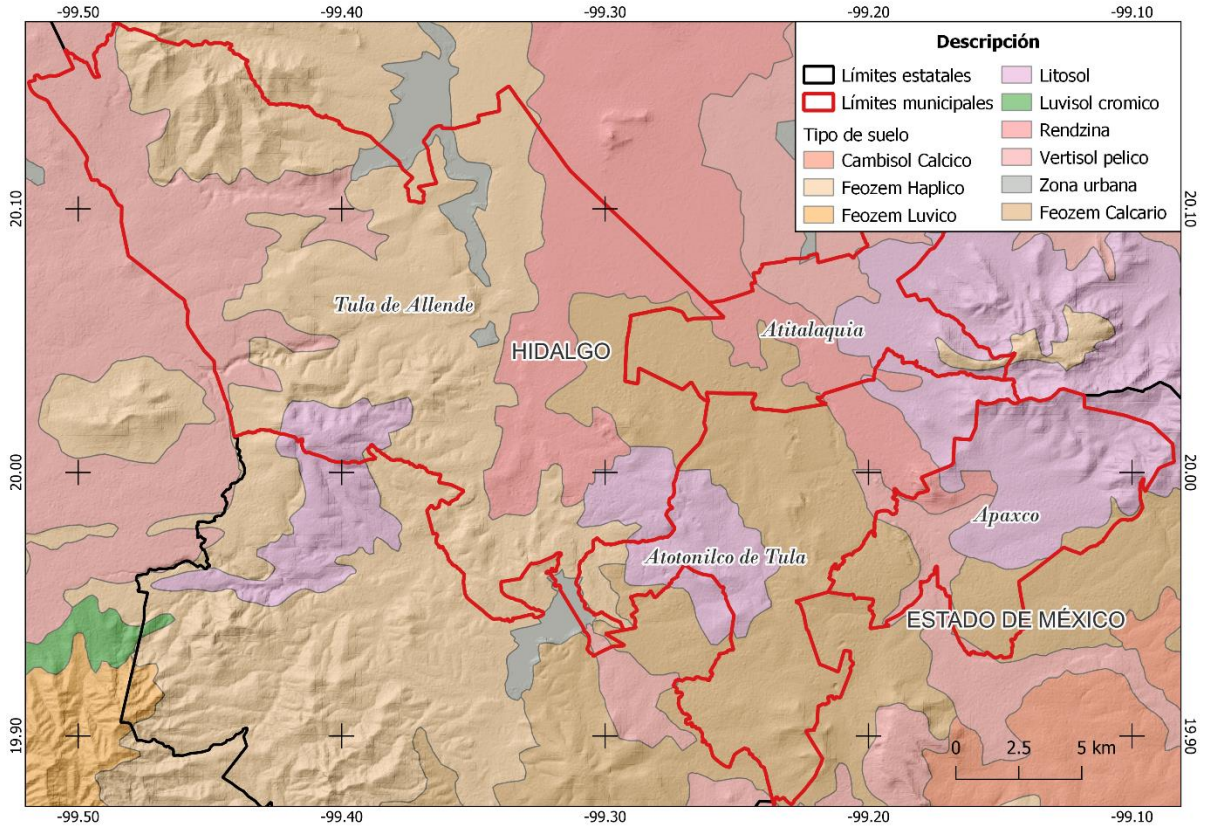


Figura 3.8 Tipo de suelo. Elaboración propia a partir de la información del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) y Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2008).

3.2 Caracterización de elementos sociales y económicos

3.2.1 Sectores de ocupación

En Atitalaquia en 2023 las ocupaciones con más trabajadores fueron los que se encuentran en actividades elementales y de apoyo (29%), seguido de comerciantes, empleados en ventas y agentes de ventas (15%) y de profesionistas y técnicos (15%). Por su parte, en Atotonilco fueron trabajadores en actividades elementales y de apoyo (29%) y comerciantes, empleados en ventas y agentes de ventas (15%). En tanto, en Tula de Allende las ocupaciones con más trabajadores fueron dedicadas a las actividades

elementales y de apoyo (29%) y profesionistas y técnicos (15%). Por último, en Apaxco más personas se encontraron en profesionistas y técnicos (28%) y trabajadores en actividades elementales y de apoyo (20%) (Secretaría de Economía, 2023c a, 2023b b, 2023d c, 2023a d).

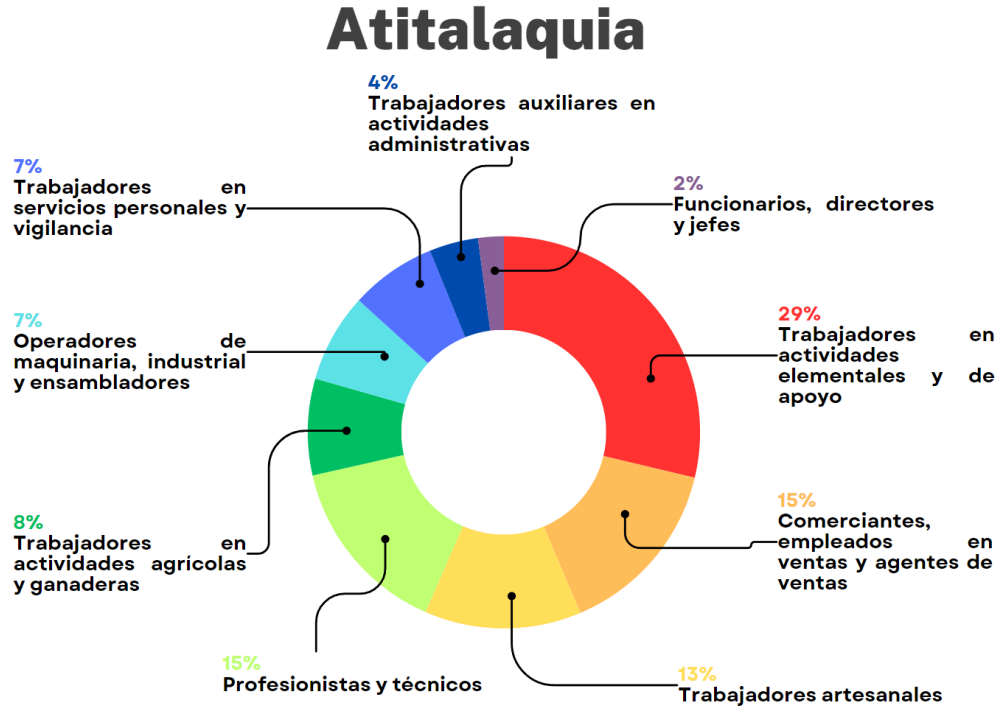


Figura 3.9 Sectores de ocupación de Atitalaquia. Elaboración propia a partir de (Secretaría de Economía, 2023b)

Atotonilco

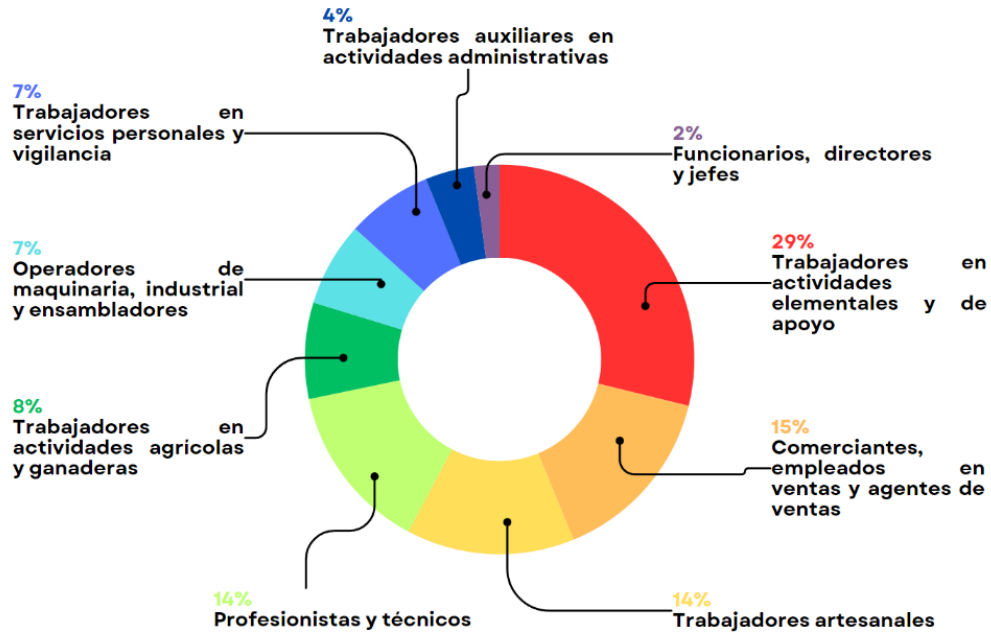


Figura 3.10 Sectores de ocupación de Atotonilco. Elaboración propia con base a los datos de (Secretaría de Economía, 2023c).

Tula de Allende

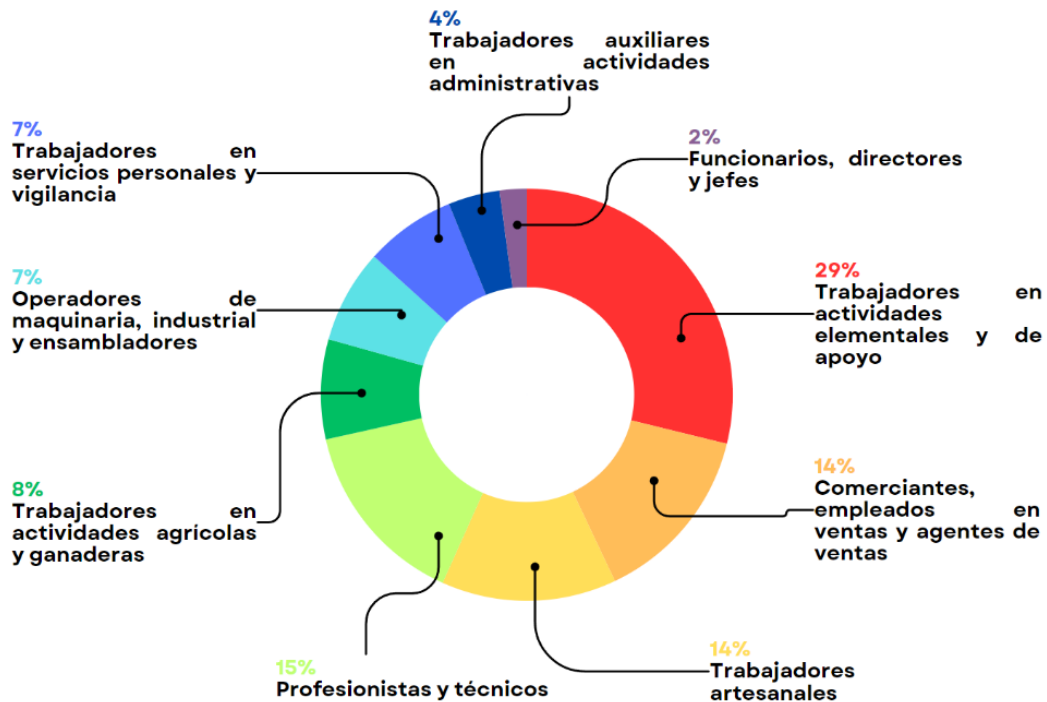


Figura 3.11 Sectores de ocupación de Tula de Allende. Elaboración propia a partir de los datos de (Secretaría de Economía, 2023d)

Apaxco

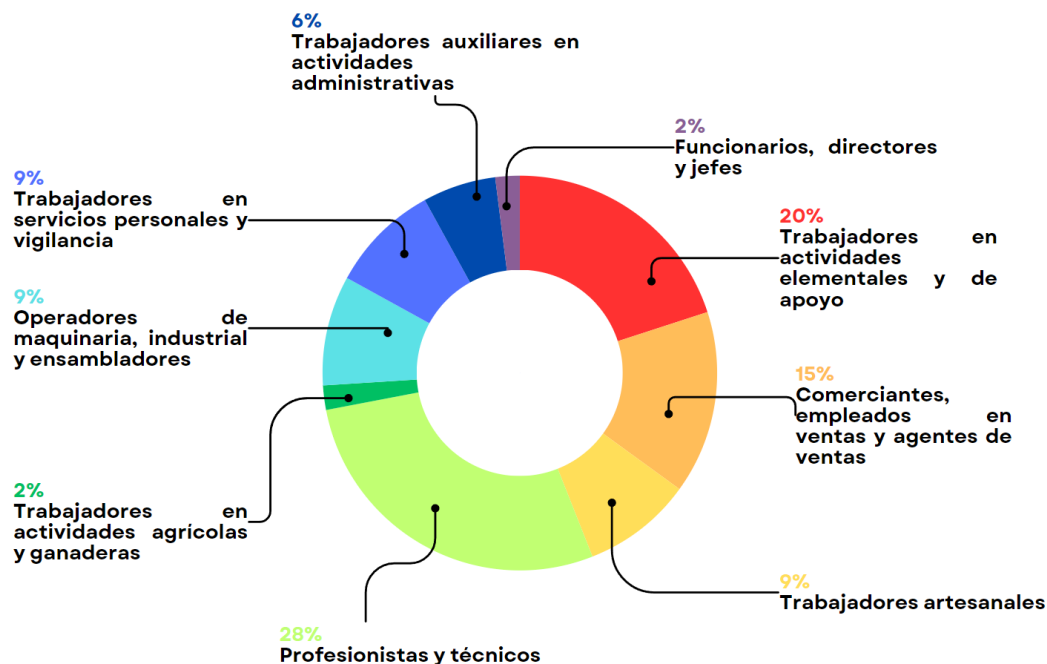


Figura 3.12 Sectores de ocupación de Apaxco. Elaboración propia a partir de los datos de (Secretaría de Economía, 2023a).

La población que se encuentra activa en los cuatro municipios, dependen de diversas actividades, se podría pensar que las personas que se encuentran en actividades industriales y agrícolas son las únicas que están expuestas a la contaminación, sin embargo, los contaminantes pueden dispersarse por agua, viento o suelo.

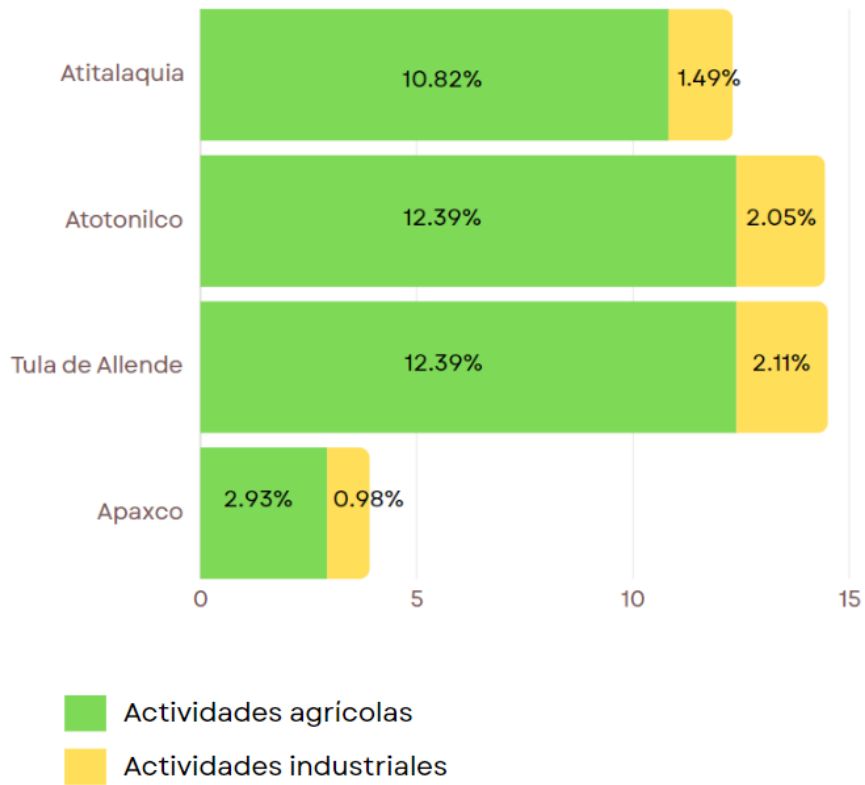


Figura 3.13 Porcentaje de población que se encuentra en actividades agrícolas e industriales por municipio. Elaboración propia a partir de los datos de Secretaría de Economía (2023).

4. METODOLOGÍA

La metodología se describe en 6 etapas, que consistieron en: 1) la revisión y búsqueda de literatura acerca de la zona de estudio para analizar la dinámica socioambiental y como esto impacta en la salud humana y la recopilación de datos de mortalidad y población de fuentes oficiales. Como etapa 2), para el caso de mortalidad se procesaron datos a nivel localidad, para las industrias, se recopilaron solo las más contaminantes y se digitalizaron, asimismo, se obtuvo la información de materia particulada para el periodo 1998-2021. La etapa 3) consistió en el cálculo de tasas de mortalidad a nivel localidad en el Valle del Mezquital. Para la etapa 4) Se identificaron las variables ambientales que contribuyeron a la presencia de enfermedades en la región como son: proximidad a cuerpos de agua y a industrias, materia particulada y el modelo digital de elevación). Para la etapa 5) se generó el modelo de proceso analítico jerárquico para la identificación de zonas de exposición. Finalmente, en la etapa 6) se contrastó la información de mortalidad con las zonas de exposición y se calcularon indicadores de asociación: odds ratio para su validación (Figura 4.1)

La presente investigación es un estudio ecológico retrospectivo donde se inició con una revisión bibliográfica, con la intención de indagar sobre un tema a partir de la obtención de datos relevantes a partir de documentos científicos y de la recopilación almacenada en un sistema informático. A lo largo de la investigación se obtuvieron datos que permitieron dar seguimiento a la exposición a contaminantes que afecta la salud de las personas que se encuentran cerca, siendo un estudio longitudinal de 2013-2020.

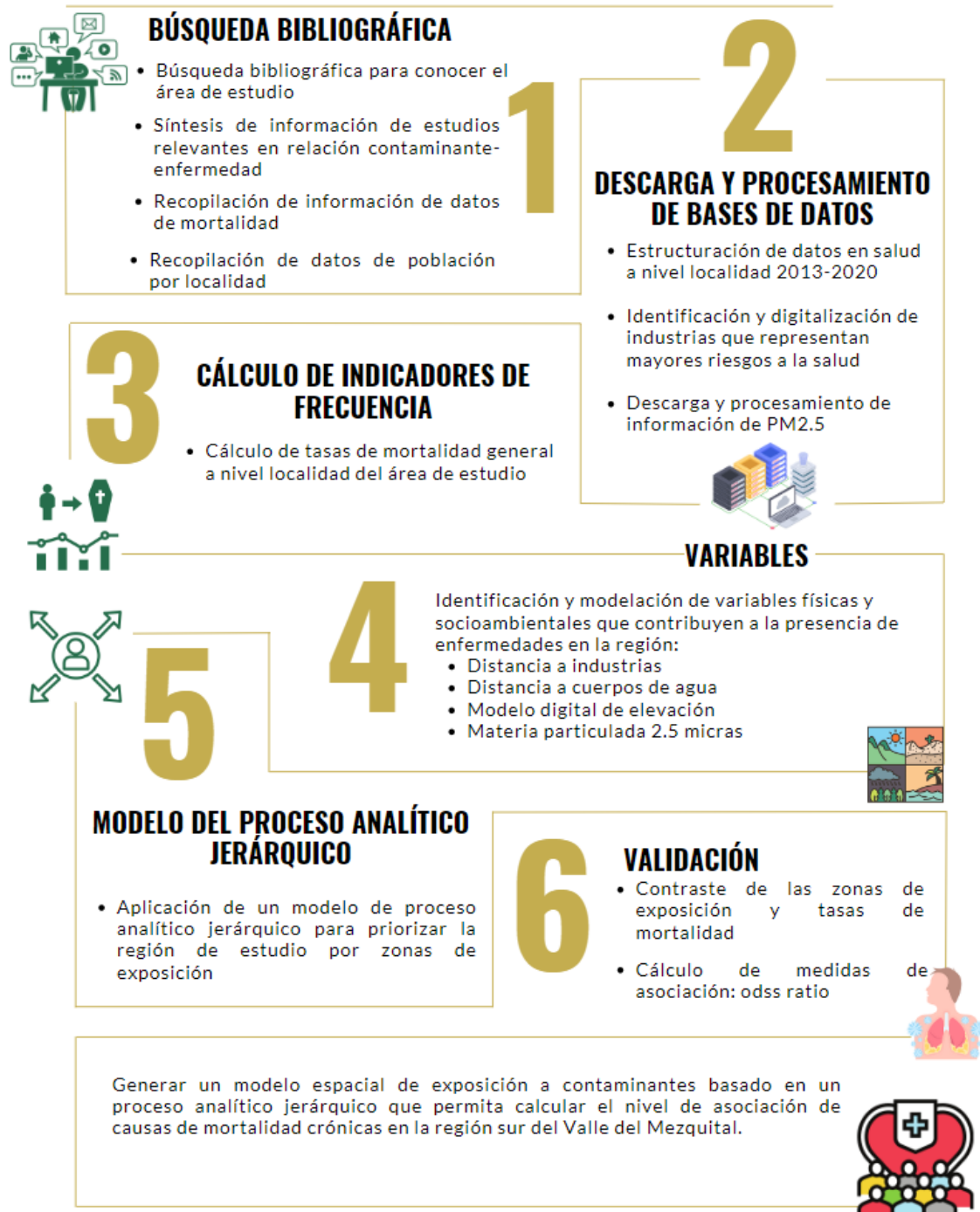


Figura 4.1 Esquema metodológico

4.1 Búsqueda bibliográfica

Como primera parte de la investigación, se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica para el conocimiento de las características del área de estudio, el tipo de contaminación, la dinámica socioambiental y como se relaciona con las enfermedades en la zona, asimismo, permitió identificar las posibles fuentes de consulta para la recopilación de datos de mortalidad y población, esta búsqueda fortalece los antecedentes del presente trabajo.

Tabla 4.1 Síntesis de información de estudios sobre contaminante-salud a nivel internacional

Fuente de información	Contaminante	Medio de desplazamiento	Enfermedad
Agency for toxic substances and disease registry (ATSDR por sus siglas en inglés)	Ozono	Aire	Disminución en la función respiratoria
	Dióxido de azufre (SO ₂)	Aire	Irritación en las vías respiratorias
	Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Aire	Disminución en la función respiratoria en personas asmáticas, lesiones en alveolas difusas
	PM ₁₀ y PM _{2.5}	Aire	Empeoramiento en los síntomas de asma, enfermedades pulmonares
	Plomo	Agua	Daño al cerebro y sistema nervioso, retraso en el crecimiento, problemas de aprendizaje, problemas del habla
	PM ₁₀ y PM _{2.5}	Aire	Enfermedades respiratorias
	Monóxido de carbono (CO)	Aire	Enfermedades respiratorias
	Ozono	Aire	Enfermedades respiratorias

Organización mundial de la salud (OMS)	Dióxido de azufre (SO ₂)	Aire	Enfermedades respiratorias
	Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Aire	Enfermedades respiratorias
Organización Panamericana de la Salud (OPS)	PM ₁₀ y PM _{2.5}	Aire	Infecciones respiratorias, enfermedades cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón, muertes prematuras
	Ozono a nivel suelo	Suelo	Afectación al sistema respiratorio, reducción de función pulmonar, daño en las células que forran los pulmones, empeoramiento de las enfermedades pulmonares crónicas y daño permanente en el pulmón
Environmental Protection Agency (por sus siglas en inglés EPA)	Contaminación por partículas	Aire	Muerte prematura, ataques cardíacos, arritmia, asma, disminución en la función pulmonar, afectación al sistema respiratorio, afectación en personas que tienen problemas cardíacos y pulmonares
	Monóxido de carbono	Aire	Reducción de la cantidad de oxígeno en el torrente sanguíneo, confusión, pérdida del conocimiento, muerte
	Dióxido de azufre	Aire	Enfermedades respiratorias
	Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Aire	Enfermedades pulmonares, bronquitis aguda o crónica, infecciones respiratorias
	Contaminación del aire (ozono, gases nocivos, material	Aire	Enfermedades respiratorias: EPOC, enfisema, asma, bronquitis crónica

National Institute of Environmental Health Sciences	particulado, compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos	Enfermedades cardiovasculares: afectación en los vasos sanguíneos, riesgo de derrame cerebral, enfermedad cardiovascular, trastornos hipertensivos. Cáncer: cáncer de mama, leucemia, linfoma no hodking, pulmón.
---	--	--

Elaboración propia con base a la ASTDR (2019); CDC (2023); CDC (2024); EPA (2000); EPA (2023a); EPA (2023b), EPA (2023c); EPA (2023d); NIH (2023); OMS (2023a); OPS (2023).

Tabla 4.2 Síntesis de información de estudios sobre contaminante-salud a nivel nacional

Fuente de información	Contaminante	Medio de desplazamiento	de Enfermedad
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Normas Oficiales Mexicanas	Contaminación atmosférica	Aire	Enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer
	Partículas suspendidas	Aire	Muertes prematuras, síntomas respiratorios, enfermedades cardiovasculares
	Ozono	Aire	Enfermedades como displasia, hiperplasia, estrés oxidante, estrechamiento bronquial, función respiratoria
	Monóxido de carbono (CO)	Aire	Enfermedades cardiovasculares y respiratorias
	Dióxido de nitrógeno (NO2)	Aire	Afectación en el sistema respiratorio y

			cardiovascular, cáncer de pulmón
	Dióxido de azufre (SO ₂)	Aire	EPOC, cardiovasculares, diabetes mellitus
Secretaría de Salud	Contaminación del aire	Aire	Congestión nasal, irritación de ojos, nariz, garganta, disminución en el transporte de oxígeno en la sangre, cáncer, malformaciones congénitas y daño pulmonar
SEMARNAT	Partículas suspendidas	Aire	Enfermedades cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas (asma)
	Monóxido de carbono	Aire	Afectación en el cerebro y corazón
	Ozono	Aire	Inflamación pulmonar, cáncer de pulmón
Comisión ambiental de la megalópolis	Plomo	Aire	Discapacidad intelectual
	Óxido de nitrógeno	Aire	Infecciones respiratorias, broncoconstricciones

Elaboración propia con base a Comisión Ambiental de la Megalópolis (2018); DOF (2019); DOF (2020); DOF (2021b); DOF (2021c); DOF (2021a); DOF (2021d); DOF (2022); DOF (2021e); Secretaría de Salud (2015a); SEMARNAT (2021a).

4.1.1 Recopilación de datos de mortalidad

Esta etapa consistió en la búsqueda de datos de mortalidad, en diferentes fuentes oficiales como la Dirección General de Información en Salud (http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/basesdedatos/da_defunciones

_gobmx.html), la Dirección General de Epidemiología (<https://www.gob.mx/salud/acciones-y-programas/direccion-general-de-epidemiologia>), así como el repositorio integrado de información en salud pública (<https://riisp.insp.mx/nada/index.php/catalog/5/get-microdata>).

4.2.2 Recopilación de datos de población

La información de población fue obtenida a través del sitio oficial del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/#informacion_general), que es el encargado de obtener información de población y vivienda, los datos recopilados fueron los de los censos de 2010 y 2020.

4.2 Descarga y procesamiento de bases de datos

Procesamiento de información de salud

En la Dirección General de Información en Salud (DGIS), se obtuvieron registros de mortalidad y por causa a nivel nacional, la estructuración se llevó a cabo a partir de la disponibilidad de información a nivel localidad 2013-2020, ya que los datos de salud en años anteriores se encuentran a nivel municipal 2000-2020.

Asimismo, se consideró como referencia el registro de lugar de residencia, que es la localidad o espacio físico donde ocurrió la defunción, la unidad médica pública, privada u otro lugar. Para la geoespacialización de los casos de mortalidad por localidad, fue necesario conjuntar el campo de entidad, municipio y localidad Figura 4.2.

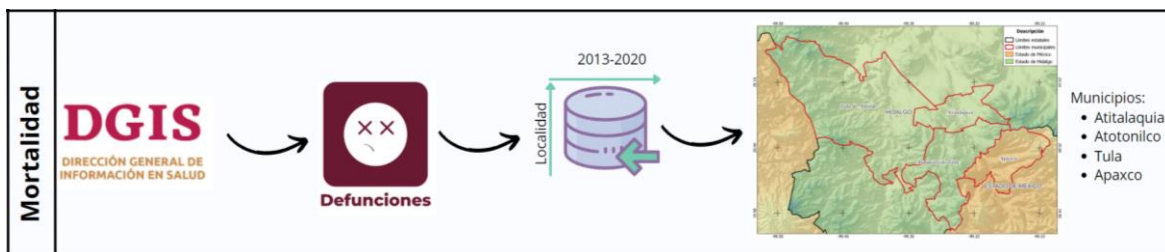


Figura 4.2 Procesamiento de obtención hasta la representación de la mortalidad

Estructuración de información de industrias

Para el caso de las industrias, se descargó la información del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (<https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>) del 2020, se identificaron las industrias relacionadas con la mala calidad del aire y los impactos que tienen en la salud en el área de estudio, esta búsqueda fortalece los antecedentes del presente trabajo.

En la zona de estudio se identificaron las industrias de química y papel, las caleras, las cementeras, la de cal y vidrio, las industrias de fundición, las refinerías, termoeléctricas y minas, se descartaron comercios, servicios y producción agrícola.

Para su representación espacial se agregó la información en el Sistema de Información Geográfica QGIS y se espacializó la información a través de las coordenadas que incluye el DENUE, se contrastó la información con la plataforma de Google Maps y Google Earth para comprobar su ubicación, al identificar la industria en las plataformas antes mencionadas, se procedió a la digitalización de las industrias Figura 4.3 y 4.4

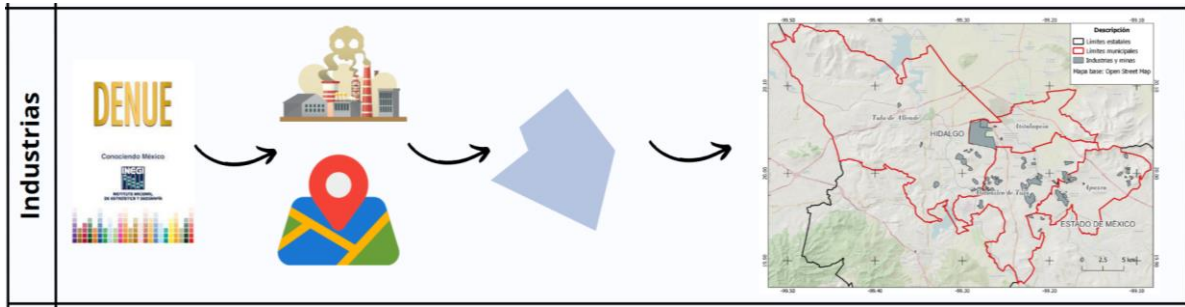


Figura 4.3 Proceso de la generación de capa de industrias

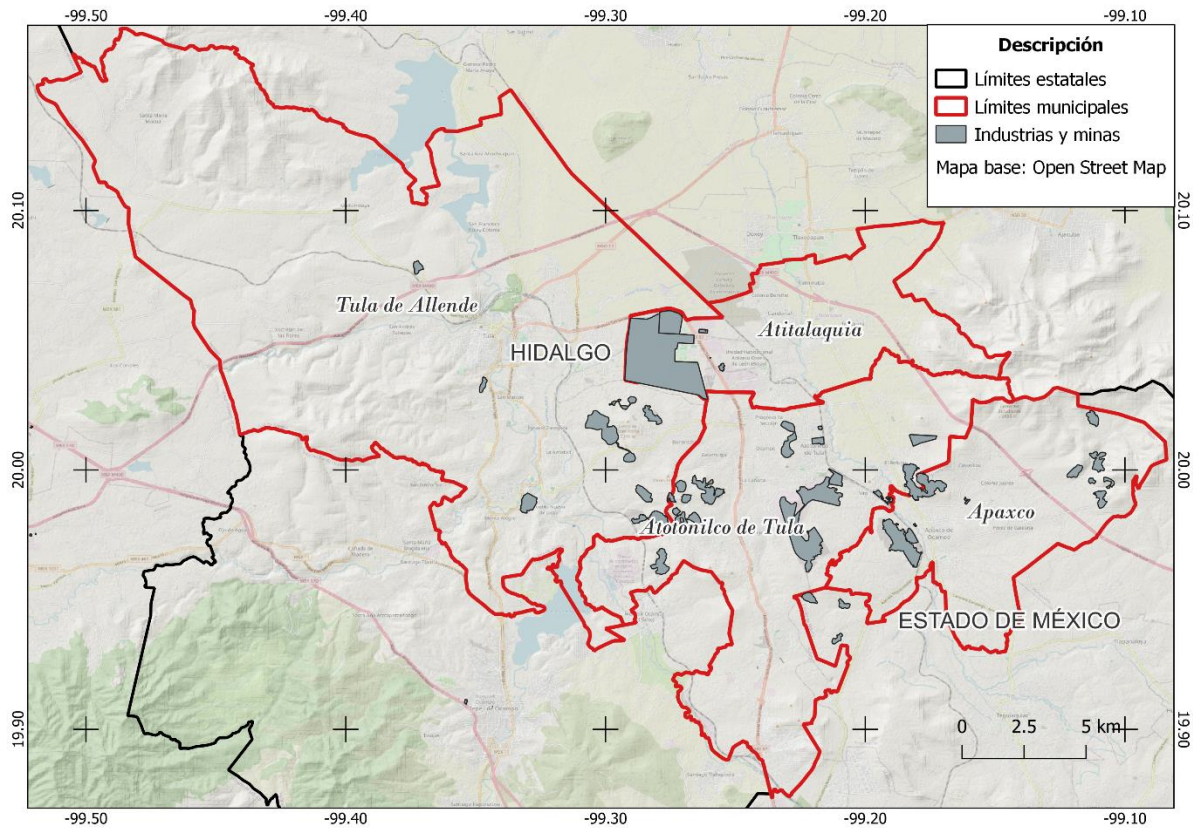


Figura 4.4 Mapa de ubicación de industrias y minas. Elaboración propia

Imágenes de superficie de $PM_{2.5}$

Por último, se descargó la información de materia particulada ($PM_{2.5} \mu g/m^3$) de la página oficial de la Universidad de Washington (<https://sites.wustl.edu/acag/>) del Grupo de Análisis de Composición

Atmosférica (ACAG por sus siglas en inglés), la información se encuentra a nivel global, con una resolución espacial de $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ y una temporalidad anual y mensual de 1998 a 2021.

La temporalidad seleccionada fue de 1998 a 2021 debido al tipo de enfermedades que se buscan analizar, ya que las enfermedades crónicas se relacionan con el tiempo de exposición.

Como resultado de la importación de los archivos de tipo *.nc se realizó una georreferenciación para ajustar las imágenes a la zona de estudio, se creó un grupo ráster y se calculó un valor promedio de la información de materia particulada para los 23 años (Anexo 1).

4.3 Cálculo de indicadores de frecuencia

Para calcular este indicador es necesario dividir el número de defunciones durante un periodo y la población analizada, el resultado se multiplica por un factor de 10, lo que permite llevar a cabo la comparación con otras zonas (Bonita et al., 2006b) Ecuación 1.

$$\text{TMG} = \frac{\text{Número de defunciones en un periodo determinado}}{\text{Población total promedio durante el periodo}} * (10^n) \quad \text{Ec. 1}$$

Las enfermedades seleccionadas fueron aquellas que están relacionadas con la mala calidad del aire y agua, y que fueron determinadas en el proyecto PRONAI 318998 “Evaluación de riesgo para la salud humana y ambiental por agentes tóxicos de origen antrópico como herramienta de empoderamiento social. Región estratégica ambiental Norte del Estado de México y Zona Tula, Hidalgo”. Los grupos de enfermedades seleccionados de acuerdo con la Clasificación Internacional de Enfermedades Tabla 4.3

Tabla 4.3 Enfermedades seleccionadas de acuerdo con la Clasificación Internacional de Enfermedades

Causa	Clave CIE 10-11
Leucemia	C901, C902, C910, C911, C912, C913, C914, C915, C917, C919, C920, C921, C922, C923, C924, C925, C927, C929, C930, C931, C932, C937, C939, C940, C941, C942, C943, C944, C945, C947, C950, C951, C952, C957, C959
Mesotelioma	C450, C451, C452, C457, C459
Cardiomiopatía isquémica	I255
Enfermedad isquémica del corazón	I250, I251, I252, I253, I254, I255, I256, I258, I259
Neumoconiosis	J60X, J61X, J620, J628, J630, J632, J633, J634, J635, J638, J64X

4.3.1 Razón de momios e intervalos de confianza

Para calcular la razón de momios es necesario identificar la población expuesta y no expuesta (Figura 4.5), posteriormente se obtendrán los dos momios, el primero es el resultado de la división de población expuesta con los controles expuestos, el segundo se obtendrá de la división de los casos no expuestos con los controles no expuestos (Ecuación 2), posteriormente para calcular el intervalo de confianza al 95% se calculan los dos rangos inferior y superior (Ecuación 3), el resultado del intervalo de confianza muestra una asociación positiva y un factor de riesgo si es >1 , o que no hay asociación si es <1 (González-Garay et al., 2018; Molina Arias, 2012).

FACTOR DE EXPOSICIÓN	CASOS	CONTROLES	TOTAL
EXPUESTOS	a	b	=a+b
NO EXPUESTOS	c	d	=c+d
TOTAL	=a+c	=b+d	=a+b+c+d

Figura 4.5 Tabla 2x2 población expuesta y no expuesta. Elaboración propia con base a partir de la información de González-Garay 2018.

$$OR = \frac{a*d}{b*c}$$

Ec. 2

Donde:

OR=Odds ratio

a y c=odds de exposición en casos

b y d=odds de exposición en controles

$$IC\ 95\% [RR] = \text{antilogaritmo} [\ln RR \pm (1.96 * \sqrt{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} + \frac{1}{d}})]$$

Ec. 3

Donde:

In= logaritmo natural

a, b, c, d= las frecuencias que ocurren en la tabla 2x2 (Figura 4.5)

4.4 Selección de variables

Esta etapa consistió en la identificación y modelación de variables físicas y socioambientales que contribuyen a la presencia de enfermedades en la región, para ello, la Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades (ATSRD por sus siglas en inglés) define una vía de exposición

como un proceso de alguna fuente de contaminación, estas vías de exposición deben tener diferentes elementos como: 1) una fuente de contaminación, 2) medios para el desplazamiento del contaminante, 3) un punto de exposición, 4) una ruta de exposición, 5) una población expuesta se consideró la altitud, materia particulada 2.5, distancia a ríos e industrias (ASTDR, 2019).

Dentro de la región de estudio, tal como se mencionó en los antecedentes de la presente investigación como fuentes de contaminación se encuentra una alta densidad de industrias, las cuales están relacionadas con la emisión de diversos contaminantes relacionados con enfermedades, específicamente la materia particulada. Asimismo, como medio para el desplazamiento de los contaminantes se encuentran el relieve, debido a que, está vinculado con los cuerpos de agua que están altamente contaminados y elevaciones que pueden obstruir o agilizar el flujo de aire y la distribución de contaminantes, ocasionando que las personas puedan estar en contacto con material tóxico y entren en contacto con el cuerpo a partir de la ingestión, inhalación o absorción cutánea.

4.5 Modelo del proceso analítico jerárquico

El modelo del proceso analítico jerárquico permite evaluar soluciones a un problema determinado, para ello, se utilizan herramientas que tienen criterios para facilitar la toma de decisiones, como se planteó en parte de los antecedentes, el proceso analítico jerárquico permite asignar pesos a las variables.

El Sistema de Información Geográfica (SIG) TerrSet cuenta con una herramienta basada en una evaluación multicriterio (MCE). El modelo MCE genera una combinación lineal ponderada (WLC) donde cada imagen estandarizada se multiplica por su peso y se suman los resultados

(Eastman, 2012), su manejo consiste en cuatro etapas: 1) Identificación de variables y criterios; 2) reescalado de variables; 3) ponderación de factores y 4) evaluación.

4.5.1 Identificación de variables y criterios

Para el modelo del proceso analítico jerárquico se consideró el valor promedio de materia particulada de 1998 a 2021, que de acuerdo con diversas investigaciones se relaciona con fuentes originadas de forma antropogénica, y su exposición puede afectar a la salud, generando enfermedades cardiovasculares o respiratorias, para ello, se obtuvo un valor promedio del periodo 2013-2020.

Una de las variables a considerar es la distancia a ríos, debido a que, con la construcción de los sistemas de desagüe de la Ciudad de México para evitar las inundaciones; los ríos de la zona de estudio comenzaron a recibir sus aguas residuales, con alto contenido de metales pesados que provienen de la industria, y complejos industriales como el de CFE-PEMEX (Castañeda-Ovando et al., 2022; García-Salazar, 2019; Lesser-Carrillo et al., 2011).

Otra de las variables es la distancia a industrias, que de acuerdo con algunos autores, la población que vive cerca de instalaciones industriales está expuesta a la emisión de materia particulada 2.5 y 10 (Cambra et al., 2011, 2013; García-Pérez et al., 2020).

Por último, se eligió la altitud, del Shuttle Radar Topography Mission (<https://bigdata.cgiar.org/srtm-90m-digital-elevation-database/>) como un factor fundamental en la distribución de contaminantes en el aire, los valles con elevaciones pueden obstruir los flujos de aire generando mayores concentraciones, esto en oposición a las planicies donde la velocidad del aire es mayor y pueden contribuir a la dilución de un contaminante en ciertas

zonas (Ji et al., 2018), asimismo, es fundamental en la presencia de inundaciones, por la ocurrencia en la zona de estudio (Castañeda-Ovando et al., 2022).

Para el caso de la proximidad a cuerpos de agua e industrias, fue necesario utilizar la herramienta “Distance”, para obtener la imagen final de la distancia que se tiene a partir de estas dos variables.

Como datos de entrada, el módulo requirió las variables como una imagen de superficie continua en formato *.rst con variables que representen la proximidad a cuerpos de agua e industrias, altitud y materia particulada

4.5.2 Reescalado de variables

Las variables consideradas tienen diferentes escalas, como la materia particulada ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), proximidad a cuerpos de agua e industrias (km) y la altitud (msnm). Para estandarizar los factores en un intervalo de 0-255 bytes, siendo el 0 las zonas menos vulnerables y el 255 las más vulnerables se utilizó la siguiente ecuación (Esquivel et al., 2015).

$$Xi = \frac{(Ri - Rmin)}{Rmax - Rmin} * SR$$

Ec. 4

Donde:

Xi Nuevo valor, normalizado por píxel

Ri Valor del factor, por píxel

Rmin Valor mínimo del factor, por píxel

Rmax Valor máximo del factor, por píxel

SR Umbral máximo del rango a normalizar

Para esta etapa, se consideró la teoría de los conjuntos difusos, la cual permite comprender el problema, evaluar y combinar los criterios, para ello se utilizó el módulo FUZZY, que ofrece funciones de pertenencia: Sigmoidal, en forma de J, lineal y definido por el usuario.

En el modelador, se utiliza la herramienta FUZZY, que es la función de pertenencia difusa, dentro del análisis multicriterio se deben tener valores iguales en escala de uno a cero, es decir, permite homologar los valores de las cuatro variables seleccionadas, con la finalidad de tener el mismo rango de valores.

Cuando las variables reciben valores en escala de cero a uno, se convierten en factores, permitiendo que éstos sean comparables entre sí.

Para este proceso se utilizan funciones de pertenencia difusas sigmoideas, que permite cambiar de forma gradual de 0 a 1, la función de pertenencia sigmoidal se puede expresar a través de: a) la función aumenta por encima de 0; b) la función se vuelve 1; c) la función cae por debajo de 1 y d) la función se vuelve 0, esto se expresa como (Gemitzi et al., 2006):

$$\mu(x) = \cos^2 a$$

Ec. 5

Donde:

Para una función monotónicamente decreciente:

$$a = \frac{x - c\pi}{d - c2}$$

Ec. 6

Cuando $x < c$ $\mu(x) = 1$

Para una función monotónicamente creciente:

$$\alpha = \frac{1 - (x - a)}{b - a} * \frac{\pi}{2}$$

Ec. 7

Cuando $x > b$, $\mu(x) = 1$

Para el caso de la materia particulada, se definió la función de pertinencia (función monotónicamente creciente (Figura 4.6), con la finalidad de modelar los cambios en el factor. Esta función se eligió, ya que mientras más alta sean las concentraciones de materia particulada, puede impactar en la salud humana, por lo tanto, el valor cercano a 0 es el de menor importancia (Figura 4.7).

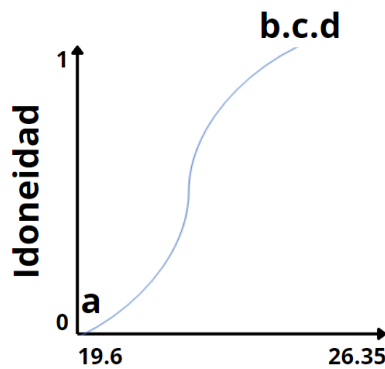


Figura 4.6 Función monotónicamente creciente del factor de materia particulada 2.5

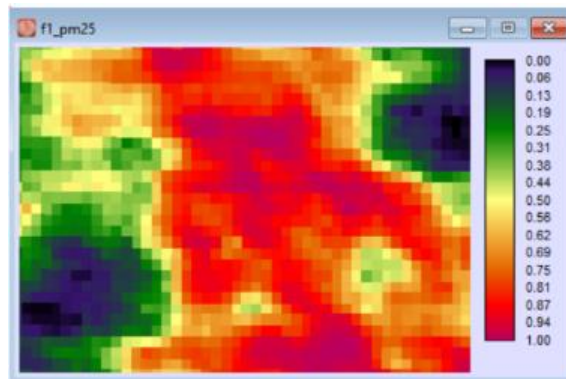
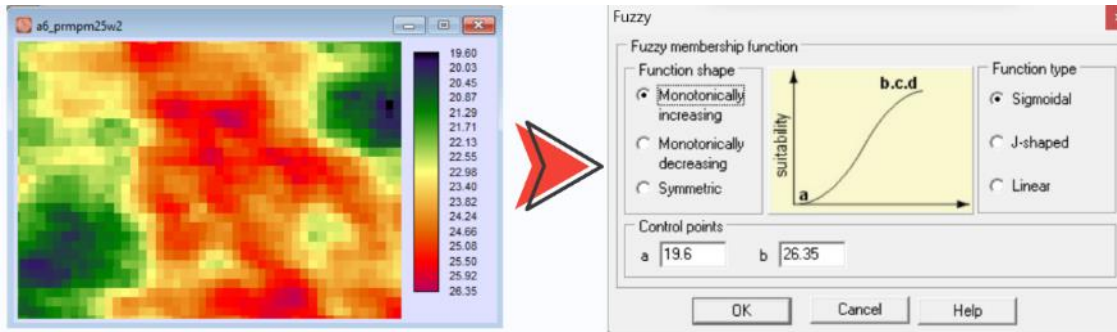


Figura 4.7 Reescalado de la materia particulada

Para la altitud, se definió la función de pertinencia (función monótonicamente decreciente Figura 4.8), mientras más baja sea la altitud hay mayores concentraciones de materia particulada, así como posibles sucesos de inundación, por lo tanto, el valor cercano a 0 es el de mayor importancia (Figura 4.9)

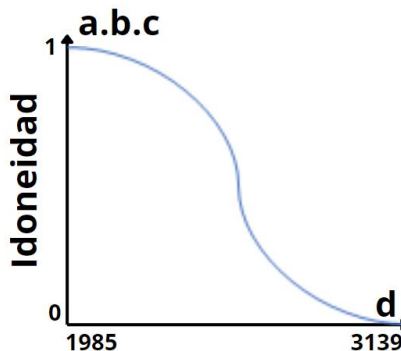


Figura 4.8 Función monótonicamente decreciente del factor de altitud

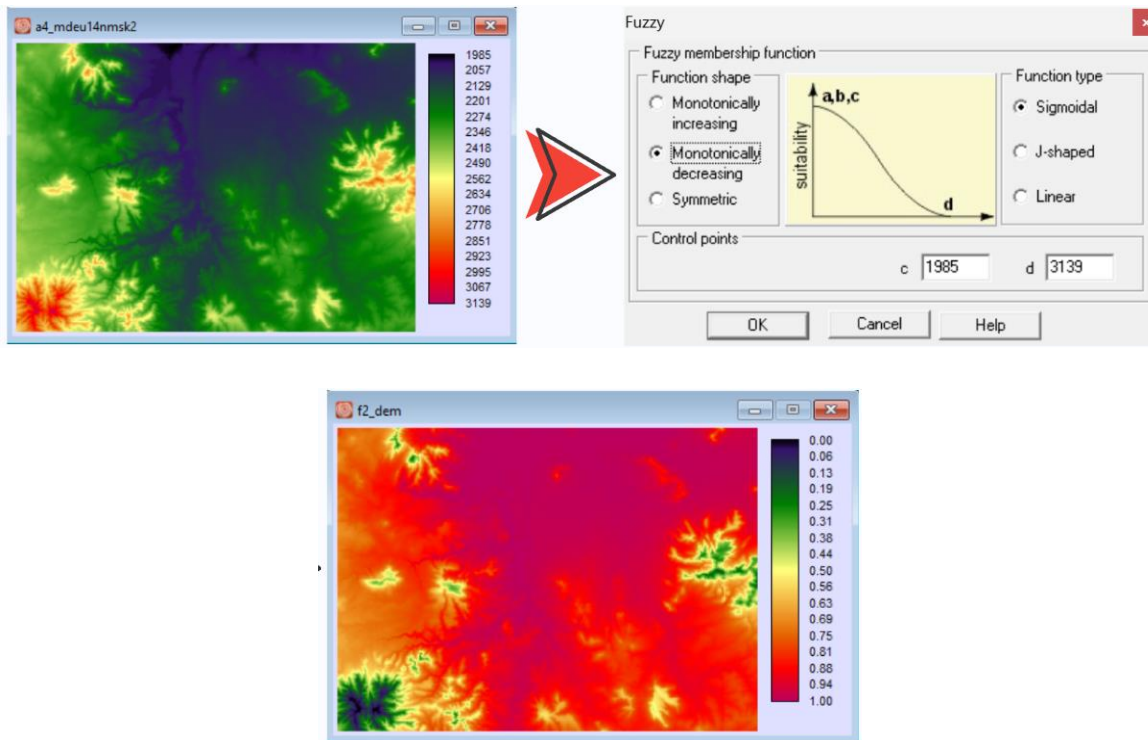


Figura 4.9 Reescalado de la altitud

Para la proximidad a cuerpos de agua, se definió la función de pertinencia (función monotónicamente decreciente Figura 4.10), mientras más cercanía se tenga a cuerpos de agua contaminados, hay una mayor exposición a los contaminantes, por lo tanto, el valor cercano a 0 es el de mayor importancia Figura 4.11

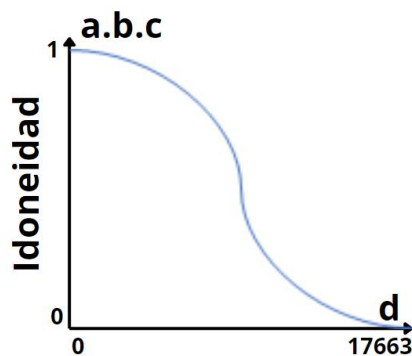


Figura 4.10 Función monotónicamente decreciente del factor de proximidad a cuerpos de agua

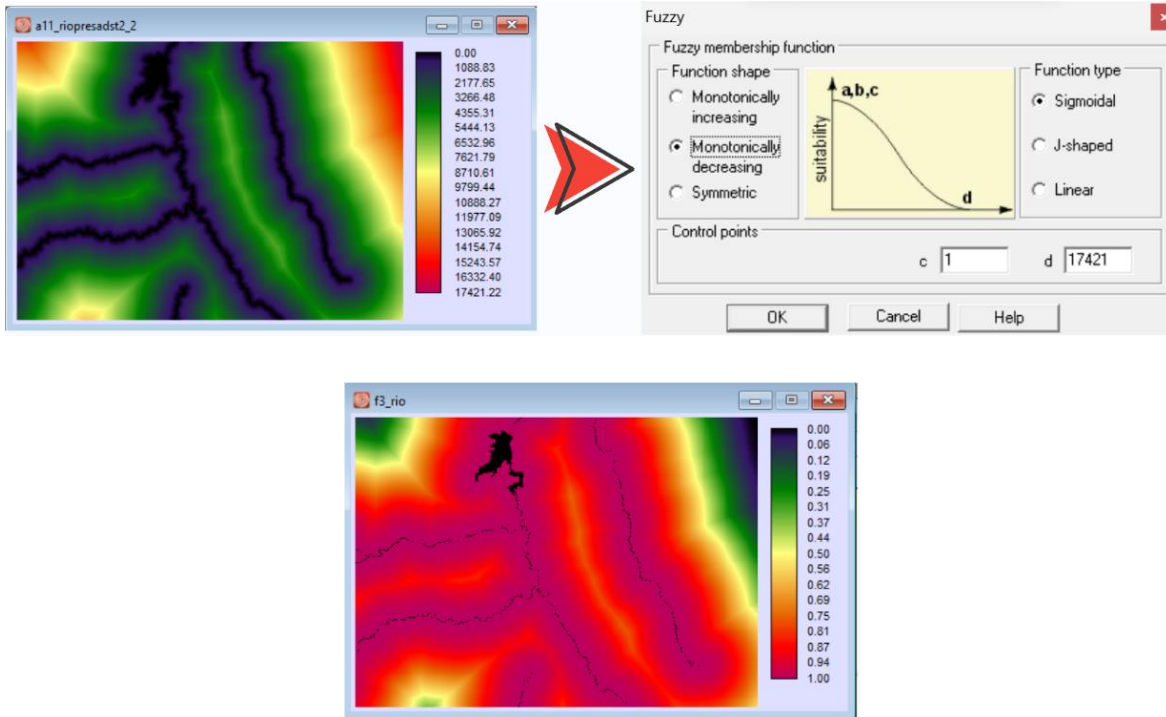


Figura 4.11 Reescalado de proximidad a cuerpos de agua

Para la proximidad a industrias, se definió la función de pertinencia (función monótonicamente decreciente (Figura 4.12), mientras más cercanía se tenga a industrias que emiten gases de efecto invernadero y otras partículas, hay una mayor exposición a los contaminantes, por lo tanto, el valor cercano a 0 es el de mayor importancia (Figura 4.13).

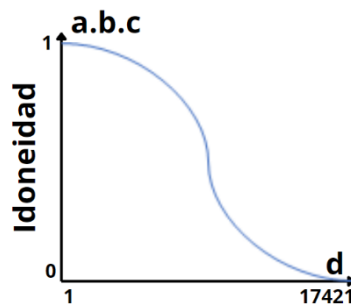


Figura 4.12 Función monótonicamente decreciente del factor de proximidad a industrias

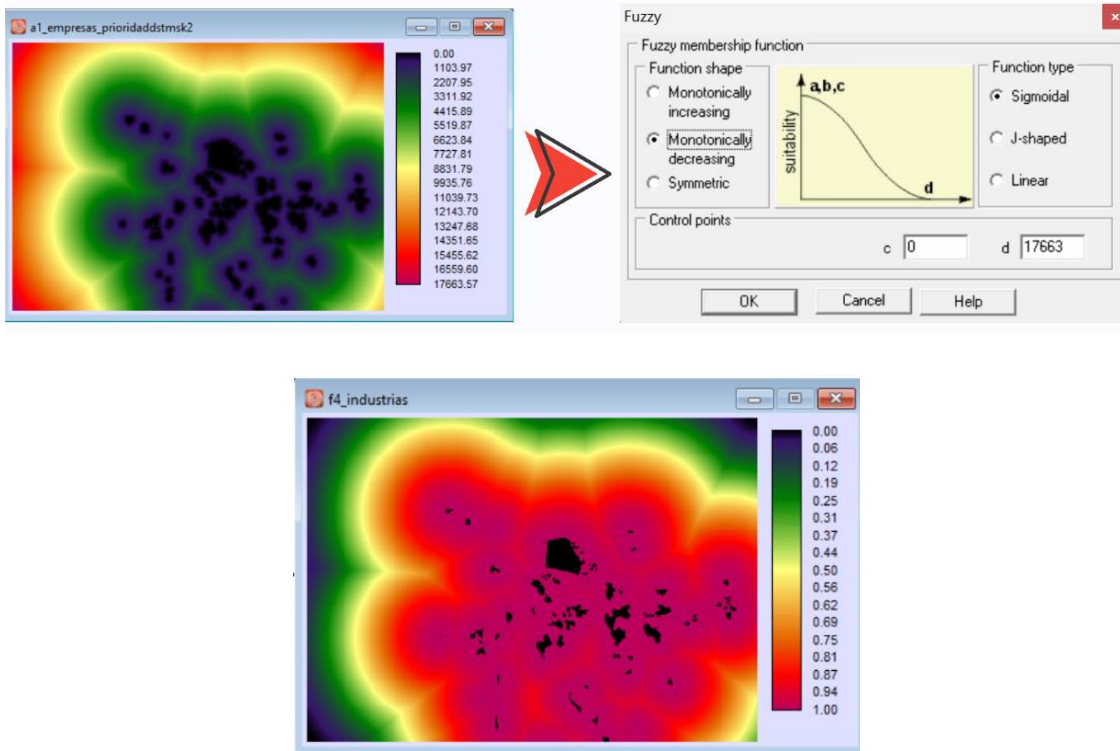


Figura 4.13 Reescalado de proximidad a industrias

4.5.3 Ponderación de factores

Dentro del análisis del proceso analítico jerárquico se lleva a cabo una ponderación de criterios (Figura 4.14), esta puede realizarse mediante la división de los criterios entre 1.0 (Gemitzi et al., 2006), en este sentido, al seleccionar cuatro variables para realizar el modelo, el peso para cada variable fue de 0.25

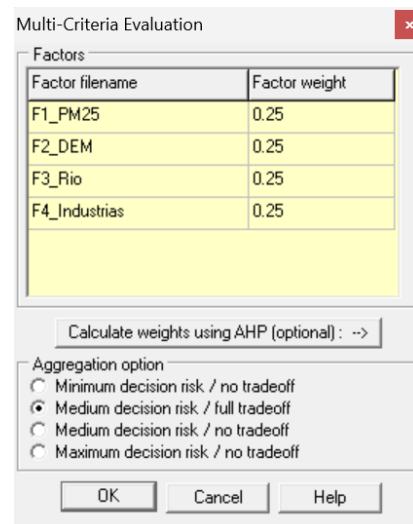


Figura 4.14 Ponderación de factores

4.5.4 Evaluación

La combinación lineal ponderada (WLC) es de los métodos más utilizados para evaluar criterios, para ello se utilizó la siguiente fórmula (Esquivel et al., 2015):

$$S = \sum_{i=1}^n W_i X_i * \prod C_j$$

Ec. 8

Donde:

S Idoneidad

n Número de factores

W_i Peso del factor

X_i Valor del factor i

C_j Puntuación del criterio de la restricción j

∏ Productos de las restricciones (con j=1...n)

Tras integrar las variables, hacer el reescalado de variables y asignarles un peso, se aplica la evaluación multicriterio (Figura 4.15), posteriormente, se calculó el índice de idoneidad ambiental (Ahmadi et al., 2023)(Ecuación 4) y se obtuvo una clasificación de zonas donde impactan diversos factores de contaminación y que podrían impactar en la salud humana.

$$EQI = \sum_{i=1}^n R_i * w_i$$

Ec. 9

Donde:

n es el número de parámetros considerados

R_i , la variable i

W_i el peso de la variable i

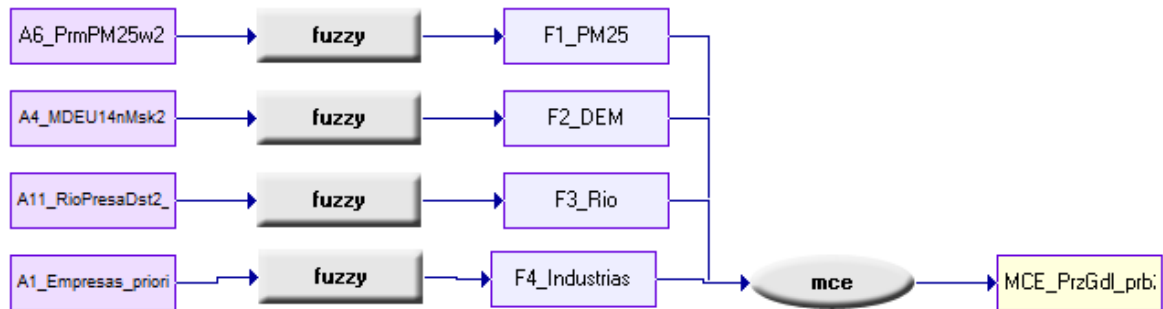


Figura 4.15 Módulo de decisiones espaciales

5. RESULTADOS

En el presente apartado, se muestran los resultados generados a través de la generación del modelo basado en el proceso analítico jerárquico. Asimismo, la asociación que hay con las causas de mortalidad crónicas en la Región Sur del Valle del Mezquital.

5.1 Caracterización de la zona de estudio

Explotación de recursos minerales

De acuerdo con el Servicio Geológico Nacional, Tula de Allende y Atotonilco de Tula forman parte de una región minera, donde se extraen materiales tales como calizas, arcillas y caolín (SGM, 2018). En el reglamento de la ley minera se menciona que se considera pequeño o mediano minero a quien “extraiga mensualmente hasta 15,000 o 60,000 toneladas de mineral antes del proceso de beneficio”, en relación con eso, en el Valle del Mezquital se supera la cantidad establecida, por lo que se podría considerar gran minería (Reglamento de la ley minera, 2014), por lo cual la población podría presentar diferentes enfermedades relacionadas con este sector.

Tabla 5.1 Minas de extracción en el área de estudio

Municipio de extracción	Mina	Industria	T/Año	Sustancia
Atotonilco de Tula	La Palma	CEMEX	420,000	Caliza
Atotonilco de Tula	Cerro los Ordaz	Caleras Beltrán	900,000	Caliza

Atotonilco de Tula	Atotonilco	Cooperativa Cal el Tigre	600,000	Caliza
Atotonilco de Tula	El Regugio	Cementos Lafarge	2,300,000	Caliza
Tula de Allende	El Tepozón	Cruz Azul	1,300,000	Caliza

Elaboración propia con base a la información del Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2018).

En relación con el tipo de suelo que se encuentra en la zona de estudio y la extracción pueden perderse las propiedades químicas, así como contaminación por metales pesados o nitratos, asimismo, hay impactos en el recurso hídrico debido a la modificación que hay en el relieve, por lo que podría aumentar la peligrosidad de inundación con cambios en la dinámica fluvial, así como alteraciones en las aguas subterráneas (modificaciones del flujo subterráneo, variación en el nivel freático, contaminación por metales pesados) (Lillo, 2020).

Por otro lado, relevantes importante mencionar que dentro del área de estudio hay suelos de tipo regosol, los cuales, al quitar la vegetación, se vuelven duros y costrosos, esto impide la infiltración y favorece la escorrentía superficial (SEMARNAT, 2012) en tanto, los suelos de tipo Fluvisoles son constituidos por depósitos de origen fluvial, y, requieren un control de inundaciones (Ibáñez & Manríquez-Cosío, 2011).

Sectores económicos

De acuerdo con los sectores ocupacionales por municipio, se logró identificar que en Tula de Allende aproximadamente el 14.5% de la población activa es la que se podría encontrar más expuesta a los contaminantes, ya que son los que se encuentran trabajando en actividades

agrícolas o de cultivo y en actividades industriales (industria minera, textil, eléctrica, metalúrgica, petrolera y extracción de materia prima. Mientras que en Atitalaquia es el 12.3%, en Atotonilco el 14.4% y en Apaxco el 3.92% de los trabajadores que se encuentran en las mismas actividades. Sin embargo, es importante considerar que en los cuatro municipios hay otras industrias, actividades económicas o negocios que se encuentran dentro de la exposición de contaminantes que podrían impactar directamente en la salud humana (Secretaría de Economía, 2023a; Secretaría de Economía, 2023b; Secretaría de Economía, 2023c; Secretaría de Economía, 2023d) (Anexo 2).

Circulación de los vientos

La difusión de contaminantes en la zona de estudio puede estar condicionada principalmente a la cantidad de fuentes fijas que se encuentran instaladas combinándose con las características del tipo de clima y las condiciones topográficas, estas últimas contienen los contaminantes en las altitudes bajas (1985 msnm), mientras que las altas (3089 msnm) funcionan como una barrera que no permite la distribución de contaminantes a otras zonas.

5.2 Zonas de exposición

Los resultados del modelo permitieron identificar tres zonas de exposición a contaminantes (Figura 5.1), clasificadas en: baja, moderada, y alta exposición, estas zonas de exposición tienen relación con las barreras orográficas del Valle del Mezquital, ya que, al no tener una mayor velocidad de los vientos, la materia particulada se estanca en las zonas de menor altitud, teniendo mayores concentraciones de las partículas.

En relación con los cuerpos de agua, estos se encuentran ligados con la altitud debido al proceso que se lleva a cabo para que los ríos se formen, después de tener una serie de precipitaciones, el agua fluye a altitudes menores por gravedad, depositándose en cuerpos de agua, sin embargo, en el Valle del Mezquital las aguas residuales provenientes de la Ciudad de México han contribuido al caudal que circula en los ríos de la región, siendo agua contaminada a la que se encuentra expuesta la población que vive cerca de los afluentes.

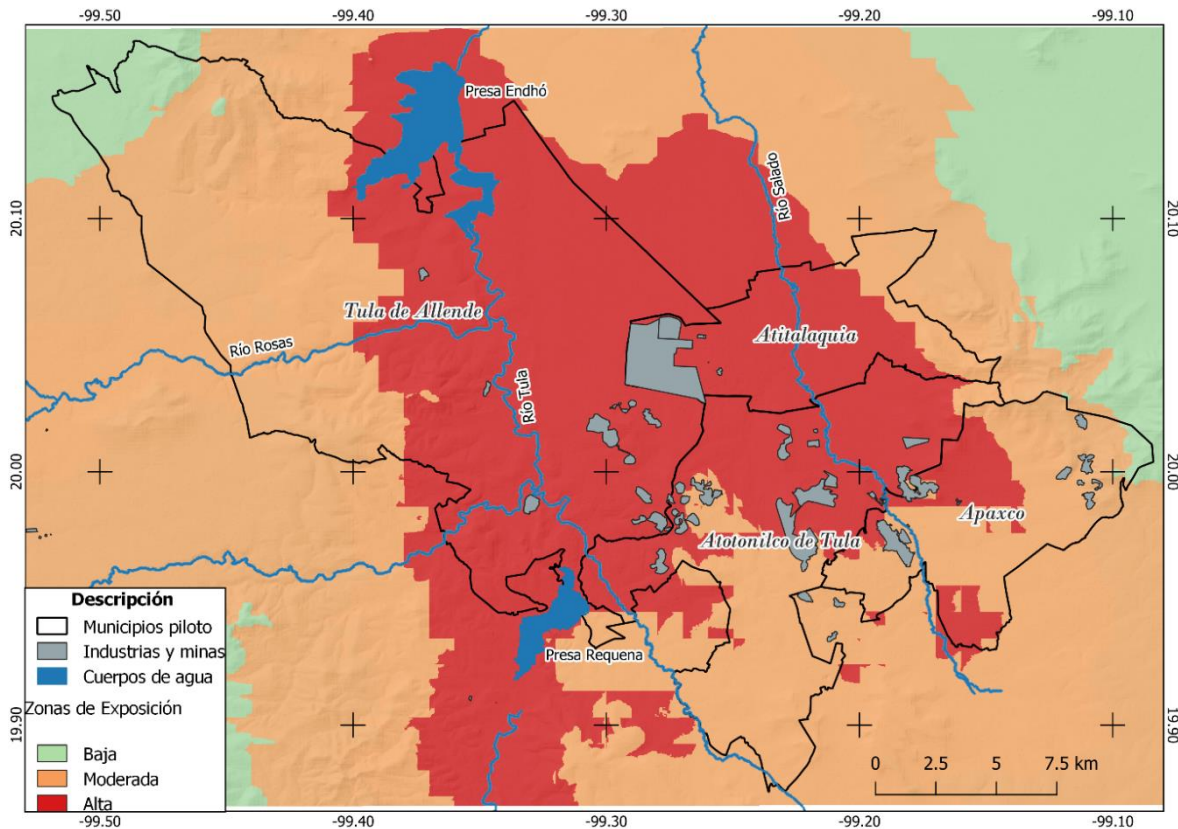


Figura 5.1 Mapa de zonas por exposición

Al respecto, con la técnica del proceso analítico jerárquico se identificaron aquellas zonas en las que convergen los contaminantes, en este aspecto, la zona de muy alta exposición es aquella en la que es más probable que la población se encuentre en contacto directo con la contaminación del agua y

aire, debido a la distancia a cuerpos de agua e industrias y la orografía del lugar, mientras que en el resto de las zonas hay una exposición menor a los factores ambientales antes mencionados.

5.3 Análisis de los factores de contaminación

El análisis de las zonas de exposición permite identificar la población que se encuentra expuesta y la distribución de la contaminación en las zonas clasificadas. En la zona de muy alta exposición es donde hay una mayor proximidad y concentración de materia particulada, que de acuerdo con la NOM-025-SSA1-2021 con respecto a las partículas suspendidas 2.5 las concentraciones mayores a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a nivel anual pueden impactar en la salud humana, específicamente pueden causar enfermedades cardiovasculares, pulmonares y obstructivas crónicas, en este sentido, se extrajeron las concentraciones por zona de exposición, encontrando que en el área de estudio las concentraciones por zona de exposición oscilan entre $22\text{-}25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual tiene relación con las enfermedades analizadas en el presente estudio.

En relación con la altitud, se ha visto modificada a lo largo de los años, ya que Hidalgo es una entidad minera en la que se ha extraído material desde hace 500 años (SGM, 2018), esto tiene relación con la distribución de contaminantes, siendo la zona de muy alta exposición la que tiene una menor altitud.

Por último, la proximidad a cuerpos de agua altamente contaminados se relaciona con la presencia de enfermedades por la cantidad de desechos que se transportan a través de los cuerpos de agua.

Tabla 5.2 Comportamiento de factores ambientales por zona de exposición

Zona de exposición	Concentración de materia particulada ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Proximidad a cuerpos de agua (km)	Altitud promedio (msnm)	Proximidad a industrias (km)
Alta	25	1.9	2149	1.8
Media/Moderada	24	2.7	2212	3.5
Baja	23	7.4	2399	11.0

Normas Oficiales Mexicanas

Algunas de las normas oficiales que se deben cumplir en materia de calidad de aire son la NOM-025-SSA1-2021 con respecto a las partículas suspendidas 2.5, como se puede observar en la tabla 5.2 las concentraciones en la zona de estudio son superadas por lo establecido en esta norma, por lo que se pueden desarrollar enfermedades crónicas (enfermedades cardiovasculares y respiratorias, muerte prematura, enfermedades crónicas del sistema nervioso central, disfunciones renales). Asimismo, la NOM-016-CRE-2016 que permite como máximo el uso de combustóleo con 2% de contenido de azufre no se cumple en el área de estudio, ya que la Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos se usa combustóleo con 3.9% de concentración (Iniciativa Climática de México, 2021).

5.4 Enfermedades por zona de exposición

Como resultado de la exploración de la información de mortalidad de 2013-2020 se generó el análisis más detallado a nivel localidad a partir de las tasas de mortalidad por zona de exposición con aquellas enfermedades relacionadas con la contaminación.

Neumoconiosis

En relación con la neumoconiosis se encontró que los casos de mortalidad por neumoconiosis se distribuyen solo en la zona de muy alta exposición, mientras que en el resto de las zonas de exposición no se registraron casos. En la zona de alta exposición se tiene un valor de tasa de 1.88 casos por cada 100,000 habitantes (Tabla 5.3).

Tabla 5.3 Tasas de mortalidad por Neumoconiosis

Zonas de exposición	Casos	Población por zona de exposición	Tasa por cada 100,000 habitantes
Alta	5	264,562	1.88
Media/Moderada	0	219,778	0
Baja	0	34,157	0

A nivel espacial se puede observar que los casos por neumoconiosis se encuentran distribuidos en la zona de muy alta exposición (Figura 5.2) , que es en la que hay una mayor exposición a contaminantes, asimismo, se encuentra cerca de los cuerpos de agua y dentro de la influencia de los impactos que generan las industrias y minas, este tipo de exposición tiene relación con el desarrollo de neumoconiosis, ya que, este tipo de enfermedad se da principalmente por la inhalación prolongada a polvos de mineral (silice) (Secretaría de Salud, 2015c) por lo tanto, las personas que trabajan en el sector minero y las personas que conviven con este personal son las que podrían presentar un alto riesgo y presentar esta enfermedad, asimismo, personas que viven cerca a industrias, familiares que interactúan con los trabajadores y el personal de las industrias , que utilizan material de asbesto en los diferentes procesos que llevan a cabo, por ejemplo en la producción del cemento.

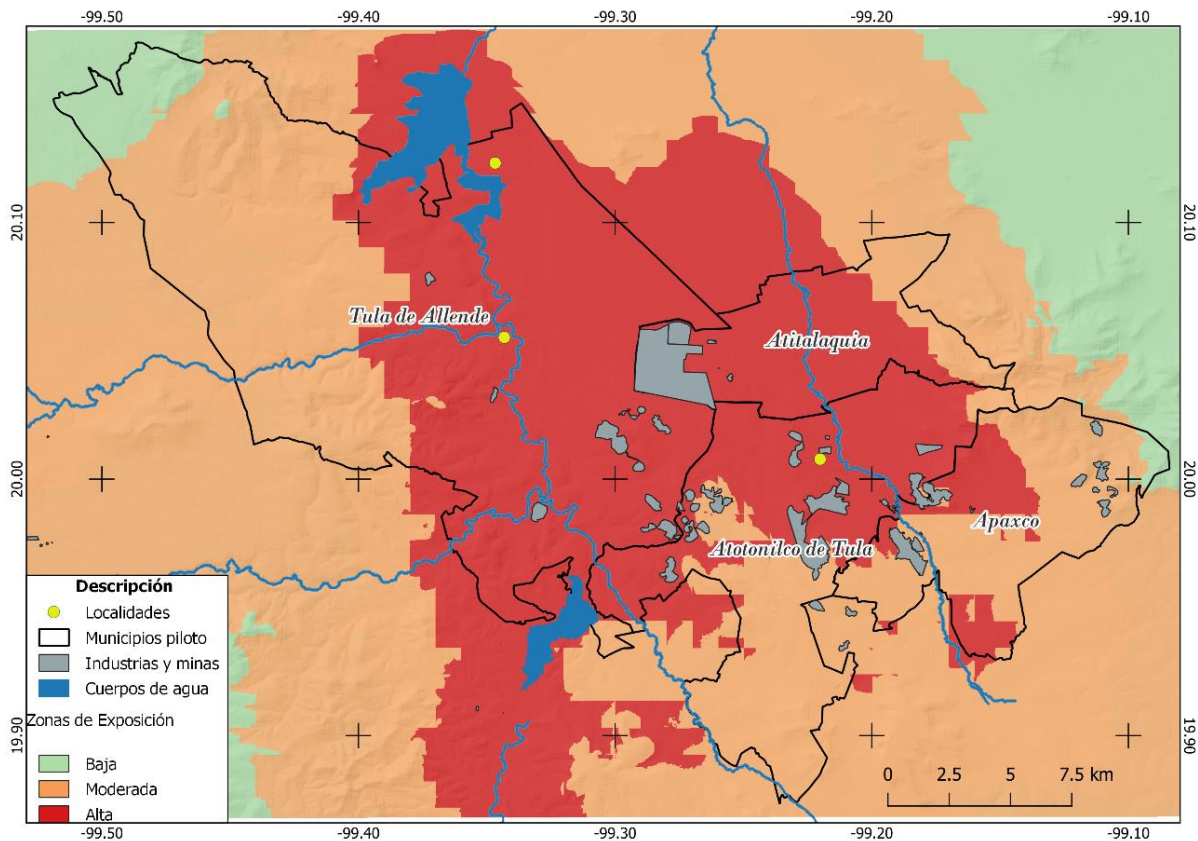


Figura 5.2 Distribución espacial de casos de mortalidad por neumoconiosis por zonas de exposición

Cardiomiopatía isquémica

Dentro del área de estudio se encontró que la presencia de casos de mortalidad por cardiomiopatía isquémica se encuentra dispersos en relación con las tres zonas de exposición, el área de alta exposición es la que tiene un mayor número de casos, con una tasa de mortalidad de 27.59 casos por cada 100,00 habitantes, seguido de la zona de moderada y baja exposición (Tabla 5.4)

Tabla 5.4 Tasas de mortalidad por cardiomiopatía isquémica

Zonas de exposición	Casos	Población por zona de exposición	Tasa por cada 100,000 habitantes
Alta	73	264,562	27.59
Media/Moderada	8	219,778	3.64
Baja	1	34,157	2.92

A nivel espacial (Figura 5.3) se puede observar que el mayor número de casos de cardiomiopatía isquémica se encuentran distribuidos en la zona de alta exposición, cerca de industrias, este tipo de enfermedad se relaciona con la alta concentración de partículas contaminantes, incluyendo PM_{2.5} (Bañeras et al., 2022).

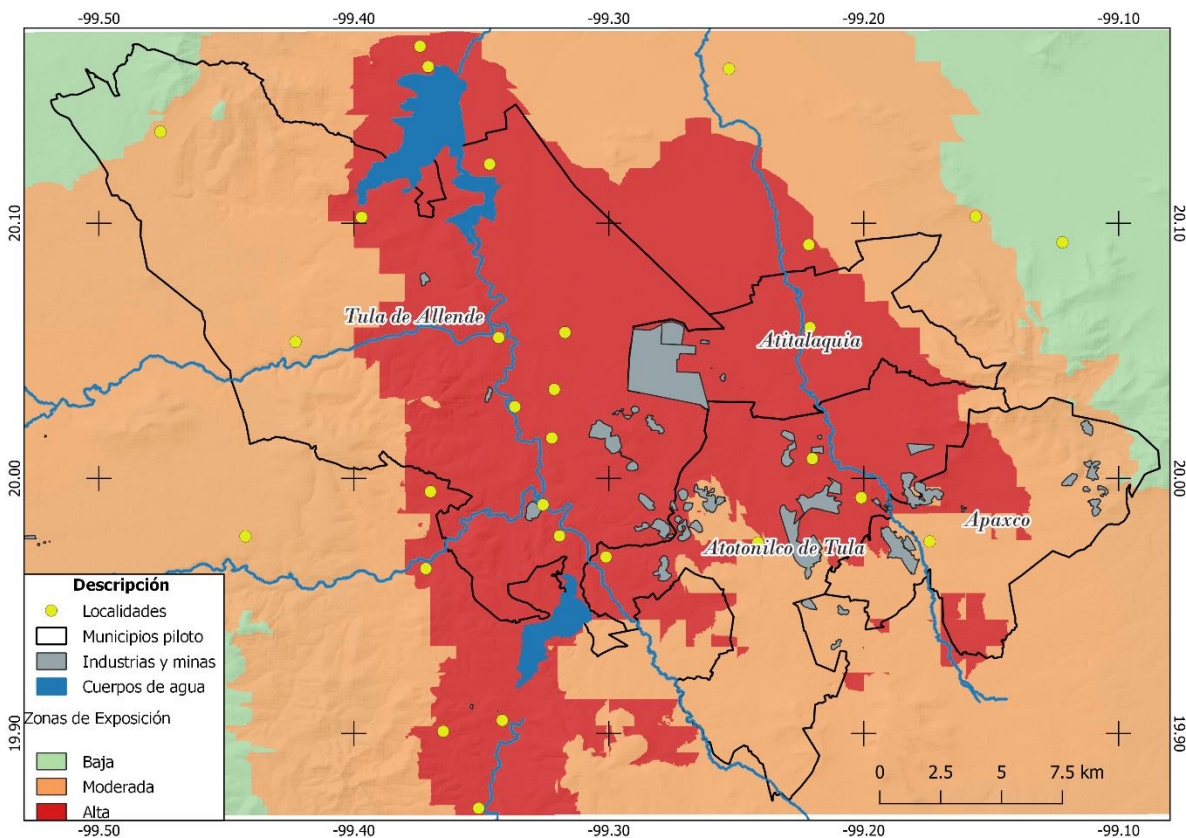


Figura 5.3 Distribución espacial de casos de mortalidad por cardiomiopatía isquémica por zonas de exposición

Por lo tanto, al tener concentraciones que superan lo establecido por la Norma Oficial Mexicana con respecto a las partículas suspendidas 2.5 se pueden desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, cáncer de pulmón o sufrir muerte prematura en la zona de alta exposición.

Enfermedades isquémicas del corazón

En relación con las enfermedades isquémicas del corazón se tiene un mayor número de casos, los cuales están distribuidos principalmente en la región de alta exposición, cerca de las industrias, la zona de muy alta exposición presenta una tasa de mortalidad de 64.25 casos por cada 100,000 habitantes, mientras que en la zona de moderada exposición una tasa de 16.38 casos por cada 100,000 habitantes, por último se tiene una tasa de 2.92 casos por cada 100,000 habitantes en la zona de baja exposición (Tabla 5.5).

Tabla 5.5 Tasas de mortalidad por enfermedad isquémica del corazón

Zonas de exposición	Casos	Población por zona de exposición	Tasa por cada 100,000 habitantes
Alta	170	264,562	64.25
Media/Moderada	36	219,778	16.38
Baja	1	34,157	2.92

A nivel espacial se puede apreciar que los casos por enfermedades isquémicas se encuentran principalmente en la zona centro del área de alta exposición, cerca de las localidades más próximas a las industrias, este tipo de enfermedades al igual que la cardiomiopatía isquémica puede ser generada por la exposición prolongada a la contaminación del aire (Figura 5.4).

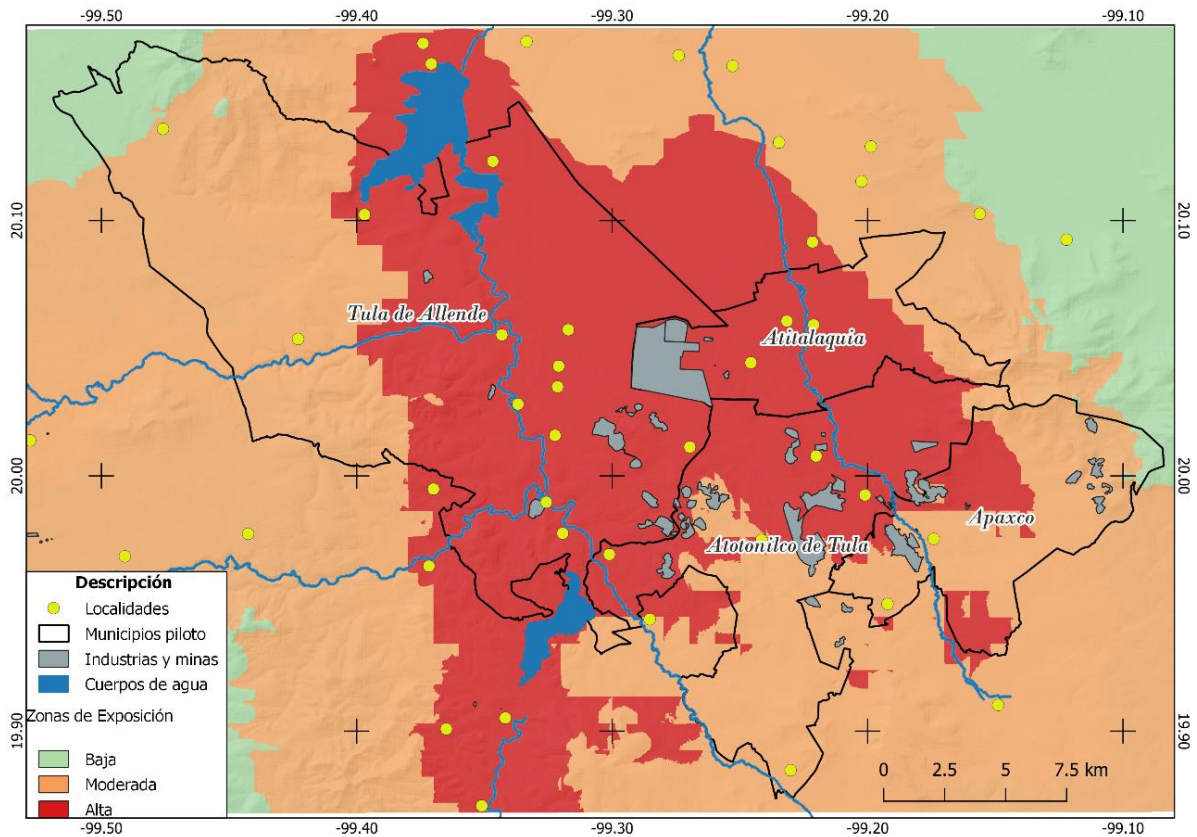


Figura 5.4 Distribución espacial de casos de mortalidad por enfermedades isquémicas del corazón

Leucemia

En relación con los casos de leucemia, se presentan en mayor medida en la zona de alta exposición, este tipo de enfermedad se encuentra relacionada con la exposición prolongada al benceno, el cual es utilizado en refinерías, plantas químicas e industrias que producen (American Cancer Society, 2018), asimismo, hay contaminantes como fosfatos y nitratos que provienen de los fertilizantes debido a la agricultura, como sustancias químicas por el vertido de residuos de la industria (Donat, 2024). En la zona de alta exposición se tiene una tasa de mortalidad de 12.85 casos por cada 100,000 habitantes, en tanto la zona de moderada exposición se tiene una tasa de

4.55 casos por cada 100,000 habitantes, mientras que en la zona de baja exposición es de 8.78 casos por cada 100,00 habitantes (Tabla 5.6).

Tabla 5.6 Distribución de casos de mortalidad por leucemia

Zonas de exposición	Casos	Población por zona de exposición	Tasa por cada 100,000 habitantes
Alta	34	264,562	12.85
Media/Moderada	10	219,778	4.55
Baja	3	34,157	8.78

De acuerdo con la distribución geográfica por localidad, se puede observar que la zona centro es donde se encuentra un mayor número de casos de mortalidad.

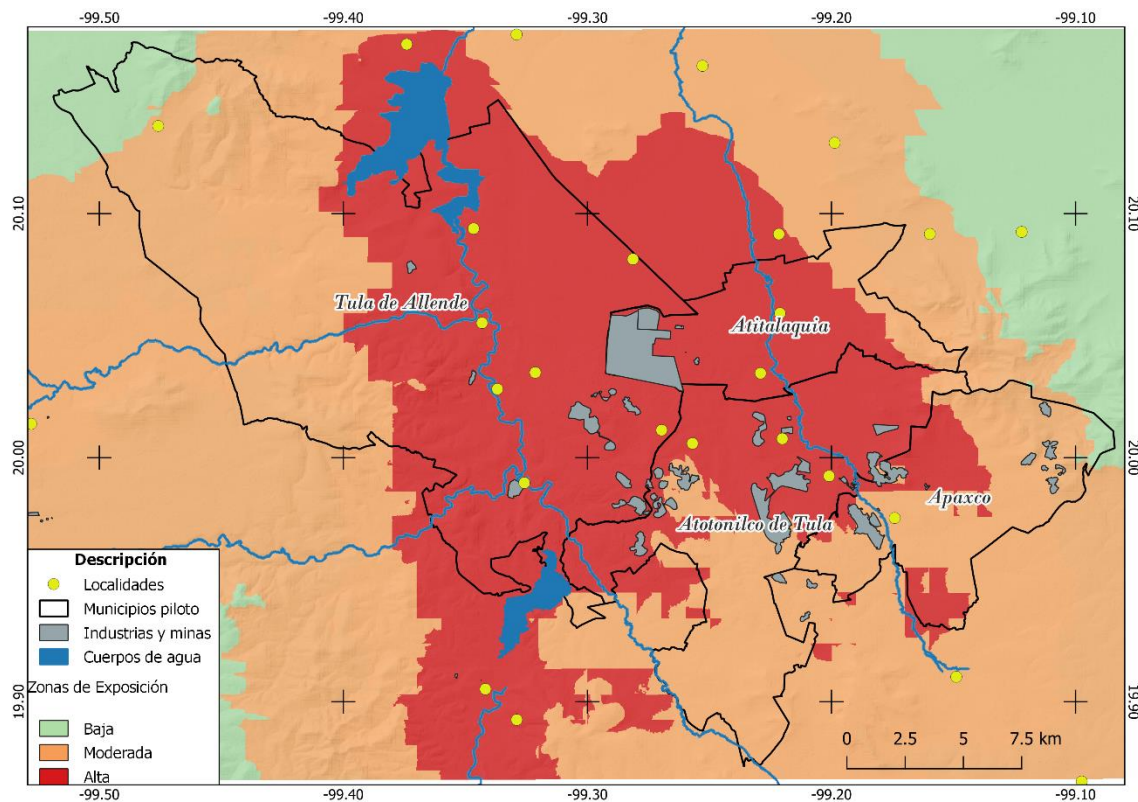


Figura 5.5 Distribución espacial de casos de mortalidad por leucemia

Sin embargo, la presencia de casos en su mayoría se encuentra en localidades cercanas a los cuerpos de agua, los cuales se encuentran altamente contaminados por las aguas residuales provenientes de la ciudad de México, así como por el vertido de sustancias químicas de industrias ubicadas en la zona de estudio (Figura 5.5)

Mesotelioma

En la zona de muy alta exposición es donde se encuentra una tasa de mortalidad de 3.77 casos por cada 100,000 habitantes, seguido de la zona moderada con 1.36 casos por cada 100,000 habitantes, en tanto, en la zona de baja exposición no se presentaron casos de mortalidad por mesotelioma (Tabla 5.7).

Tabla 5.7 Distribución de casos de mortalidad por mesotelioma

Zonas de exposición	Casos	Población por zona de exposición	Tasa por cada 100,000 habitantes
Alta	10	264,562	3.77
Media/Moderada	3	219,778	1.36
Baja	0	34,157	0

A nivel espacial los casos por mesotelioma se presentaron en la zona de muy alta exposición (Figura 5.6), lo cual podría estar relacionado con las emisiones de diversas instalaciones industriales, ya que esta enfermedad se encuentra asociada con la exposición al amianto, en este aspecto, algunos de los trabajadores que podrían adquirir la enfermedad son mineros, fabricantes (amianto-cemento, textiles, materiales de fricción), así como en trabajadores que realizan actividades agrícolas, en refinerías de petróleo, trabajadores de la fundición y operadores de máquinas (Collatuzzo & Boffetta, 2023; Stevenson, 2023).

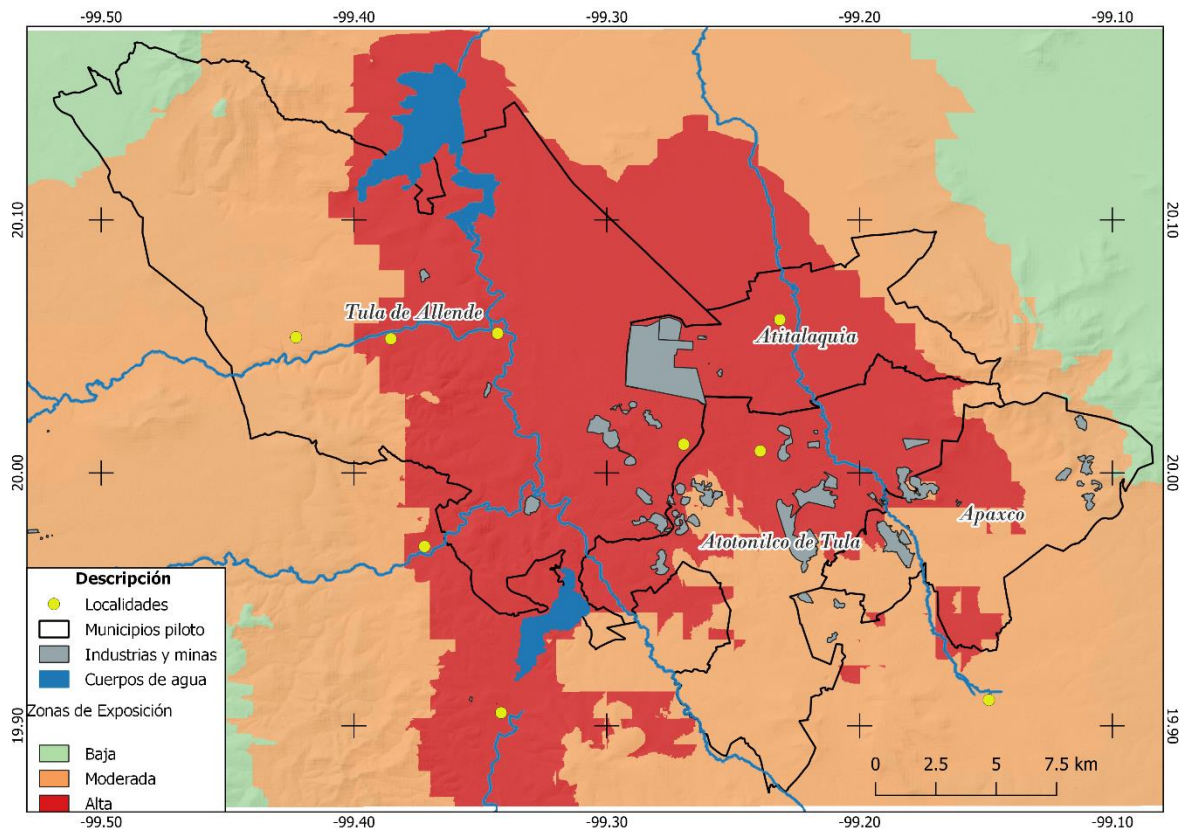


Figura 5.6 Distribución espacial de casos de mortalidad por mesotelioma

De acuerdo con (Collatuzzo & Boffetta, 2023) entre 3-5% de la presencia de cáncer entre los hombres puede atribuirse a agentes ocupacionales, principalmente por el cáncer de piel.

5.4 Estimación de momios e intervalos de confianza

La neumoconiosis es una enfermedad que no tiene una asociación significativa por su valor de odds ratio debido a los pocos casos que se presentan, sin embargo, la presencia única en la zona de alta exposición lo hace relevante por la exposición cercana a las industrias fijas de contaminación, por lo que la distribución espacial es un factor importante entre la enfermedad y la población.

En relación con la cardiomiopatía isquémica, es una enfermedad que tiene una asociación con los contaminantes que se encuentran en la zona de estudio, por su valor de odds ratio, debido a que en la zona de alta exposición presentó (OR=7.78, 95%; IC: 7.09-8.47) en comparación con las zonas que no se encuentran expuestas (moderada y baja exposición).

En tanto, la zona de alta y moderada exposición (OR=7.58, 95%; IC: 6.85-8.31) y la de alta con respecto a la de baja exposición (OR=9.42, 95%; IC:7.45-11.40) también presentaron una asociación positiva (>1) es decir, que las personas expuestas tienen la posibilidad de enfermar por cardiomiopatía isquémica.

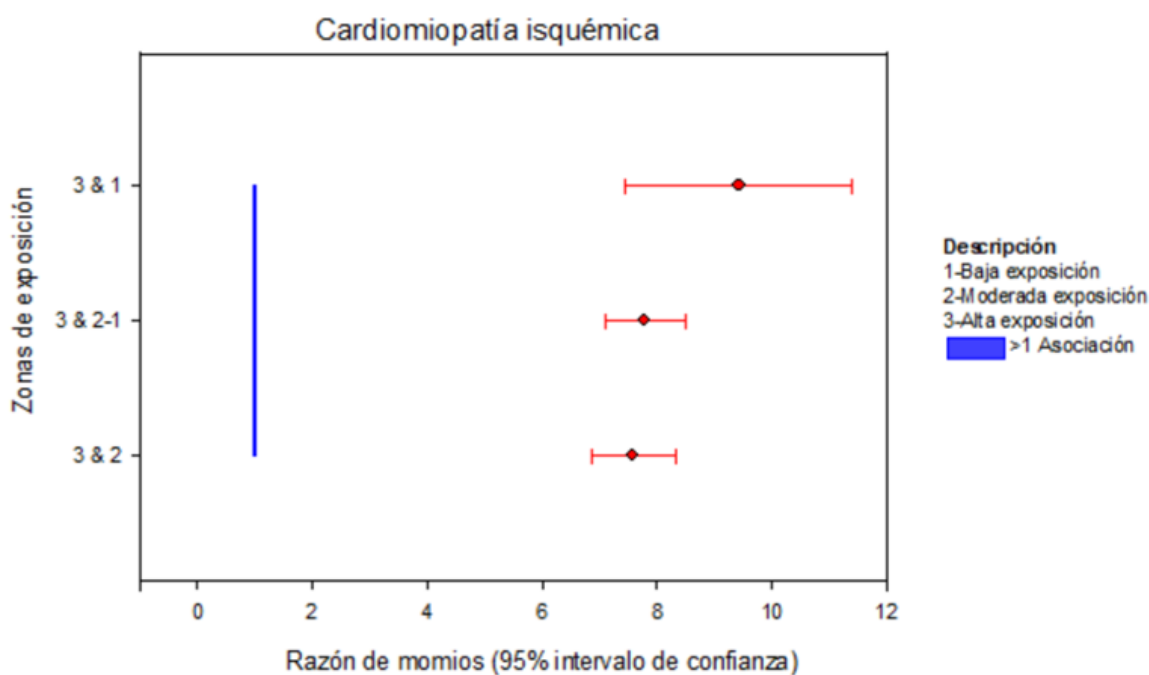


Figura 5.7 Razón de momios de cardiomiopatía isquémica

En tanto, las enfermedades isquémicas del corazón son un grupo de enfermedades que tiene una asociación positiva, es decir que las personas que se encuentran expuestas tienen la posibilidad de enfermar por los contaminantes que se encuentran en la zona de estudio, la zona de alta exposición presentó (OR= 4.41, 95%; IC 4.05-4.76) en comparación con la

zona moderada y baja exposición. La zona de alta y moderada exposición presentó un (OR=3.92, 95%; 3.56-4.28) y la de alta exposición con respecto a la de baja exposición (OR= 21.96, 95%; IC: 19.99-23.92) también presentaron una asociación positiva.

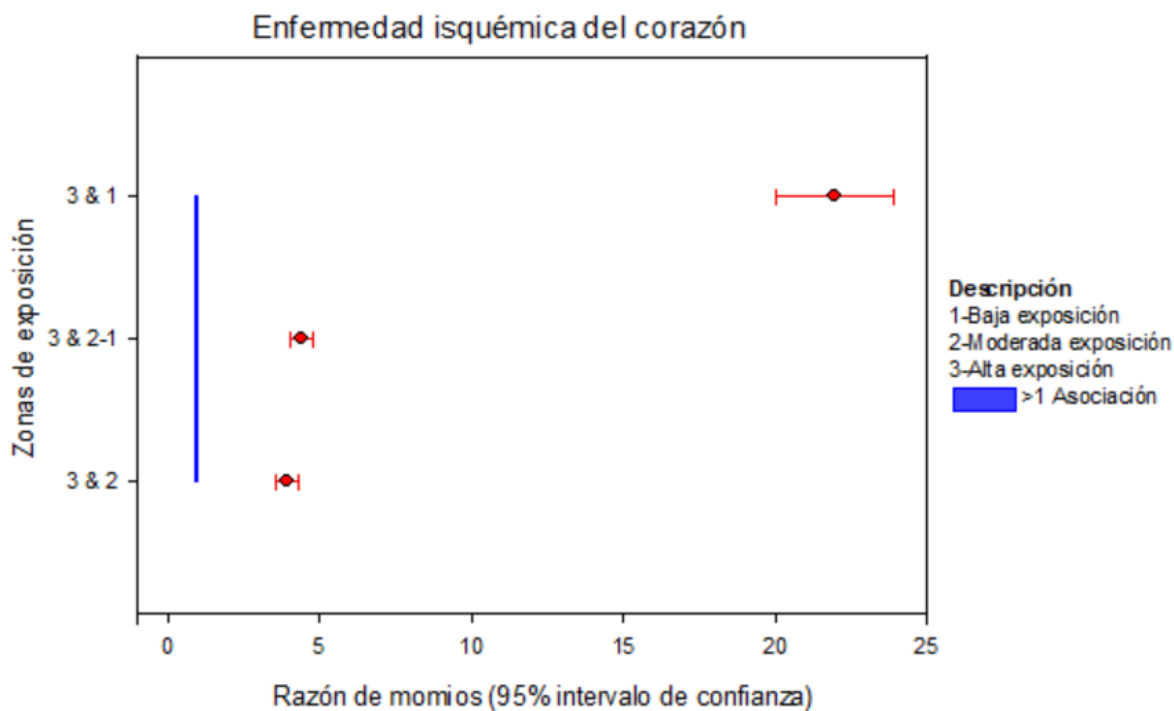


Figura 5.8 Razón de momios de enfermedad isquémica del corazón

La leucemia en su zona de alta exposición con respecto a las zonas de no exposición (moderada y baja) presentó (OR=2.51, 95%; IC: 1.87-3.14), en tanto, la zona de alta y moderada exposición presentó (OR=2.85, 95%; IC: 2.11-3.52), estas tienen una asociación positiva, mientras que la zona alta exposición con respecto a la de baja exposición no presentó asociación (OR= 1.46, 95%; IC= 0.28-2.64), es importante considerar que esta enfermedad a nivel espacial se encontró cerca de los cuerpos de agua, sin embargo, la zona de baja exposición no tenía cuerpos de agua, lo cual podría influir en la presencia de casos por leucemia.

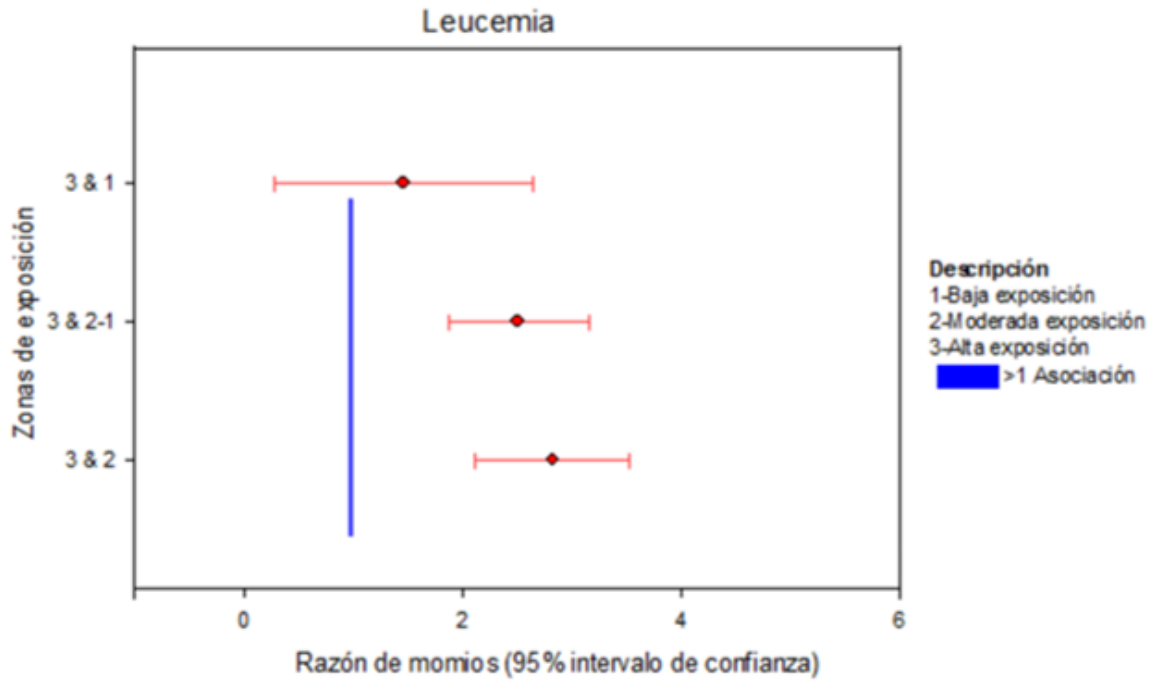


Figura 5.9 Razón de momios de Leucemia

El mesotelioma presentó una asociación positiva en la zona de alta exposición con respecto a la de moderada y baja exposición (OR=3.19, 95%; IC: 1.90-4.4), asimismo, la zona de alta con moderada exposición presentó (OR=2.76, 95%; IC: 1.47-4.05), mientras que la de alta exposición con respecto a la de baja no presentó asociación, es decir, que es posible que las personas en esa zona no enfermen por mesotelioma

6. CONCLUSIONES

El Valle del Mezquital es una región conocida por la cantidad de industrias instaladas y contaminantes emitidos a la atmósfera, así como por la cantidad de aguas residuales provenientes de la Ciudad de México que son utilizadas en la agricultura.

El tipo de industrias que hay en Atitalaquia, Atotonilco, Tula y Apaxco podrían generar un impacto negativo en la salud de la población cercana que se encuentra constantemente expuesta.

La generación del modelo espacial de exposición basado en un proceso analítico jerárquico permitió identificar aquellas regiones de mayor exposición y las condiciones que influyen en la presencia de casos de mortalidad, por lo que se podría suponer que los factores de contaminación tienen una incidencia en la presencia de enfermedades crónicas.

Asimismo, la disponibilidad de información de mortalidad permitió analizar diferentes enfermedades y la relación que tienen con factores ambientales que se encuentran en la zona de estudio. Las enfermedades analizadas presentaron una mayor distribución en la zona de alta exposición, lo cual indica que la proximidad a factores contaminantes y la regionalización por zonas de exposición en el área de estudio permitió identificar algunas causas de mortalidad con asociaciones significativas

Es importante mencionar que al contrastar la información del modelo y de los datos de salud permitieron validar el nivel de asociación de las causas identificadas a través de indicador odds ratio, lo cual mostró una asociación significativa entre las enfermedades seleccionadas y las zonas de exposición, es decir, que el nivel de exposición puede aumentar si la población se encuentra cercano a los factores de contaminación analizados.

Con base en los resultados del presente estudio, la generación de modelos con el proceso analítico jerárquico es una herramienta que podría coadyuvar

a la identificación de zonas ambientales críticas y que autoridades del gobierno y salud puedan mitigar, monitorear y evaluar los impactos que está generando la contaminación en el área de estudio, por lo que, el presente estudio sería una herramienta de apoyo a instituciones públicas como el Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades (CENAPRECE), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y al sector salud en general.

Por otra parte, el presente estudio sobre priorización ambiental y el análisis de factores ambientales que inciden en la salud humana se suma a algunos que se encuentran disponibles en diferentes fuentes bibliográficas. En este sentido, el presente trabajo puede contribuir al empoderamiento social de la zona de estudio.

En relación con las Normas Oficiales Mexicanas se identificaron dos NOM que no cumplen con lo establecido y exceden los límites permisibles, lo cual incrementa el riesgo para adquirir diversos tipos de enfermedades en la población.

Finalmente, la hipótesis planteada fue comprobada, ya que la regionalización por zonas de exposición a partir del proceso analítico jerárquico permitió identificar causas de mortalidad asociadas a la contaminación

7. RECOMENDACIONES

- Es necesario considerar la exposición que sufre la población por la cercanía a industrias, por lo tanto, es importante regular y llevar a cabo un estudio más exhaustivo en el área
- Es importante tener estaciones de control de calidad del aire constante y de distribución uniforme, ya que hay una falta de información, monitoreo y evaluación para aplicar las Normas Oficiales Mexicanas y analizar a que concentraciones de diferentes contaminantes está expuesta la población
- Colocar las estaciones de monitoreo en puntos clave de acuerdo con las zonas de mayor exposición y proximidad a industrias
- Es necesario aplicar las Normas Oficiales Mexicanas, respetar los límites establecidos en materia de Materia Particulada y en las especificaciones de calidad de los petrolíferos, específicamente de la Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos de la CFE
- Es necesario que exista un enriquecimiento de las Normas Oficiales Mexicanas sobre la extracción minera en México.
- Es necesario que las zonas de extracción cuenten con una Manifestación de Impacto Ambiental y que está sea accesible y aplicable para el sector federal, estatal y público en general
- Identificar las industrias que no cumplen la normatividad y tomar medidas legales ante la violación de las NOM
- Expandir la modelación con el proceso analítico jerárquico en otras zonas del territorio mexicano con la finalidad de identificar otras zonas ambientalmente críticas
- Analizar otros contaminantes criterio dentro del área de estudio
- Analizar con mayor detalle la información de morbilidad y enfermedades agudas

- Es necesario identificar nuevas Regiones de Emergencia Sanitaria y Ambiental en México, ya que las que se han identificado han sido únicamente en la zona centro
- Es necesario identificar y aplicar criterios para la identificación de Regiones de Emergencia Sanitaria y Ambiental, más allá de que solo se encuentren industrias, exista algún tipo de extracción y algunas enfermedades, ya que muchas no están directamente relacionadas con la contaminación
- Estimar la carga de la enfermedad en la zona de estudio, ya que las enfermedades no transmisibles representan un costo elevado para el sector salud y el gobierno

8. BIBLIOGRAFÍA

- ACAG. (2022). *Atmospheric Composition Analysis Group*. Atmospheric Composition Analysis Group.
- Ahmadi, H., Sahak, A. S., Ayoobi, A. W., Pekkan, E., Inceoğlu, M., & Karsli, F. (2023). Application of GIS-Based AHP Model for the Impact Assessment of COVID-19 Lockdown on Environment Quality: The Case of Kabul City, Afghanistan. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 51(3), 439–452. <https://doi.org/10.1007/s12524-022-01633-5>
- Alcántara-Moreno, G. (2008). La definición de salud de la Organización Mundial de la Salud y la interdisciplinariedad. *Revista Universitaria de Investigación*, 9(1), 93–107. <https://www.redalyc.org/pdf/410/41011135004.pdf>
- Alvarado-Vázquez, I. A. (2020). *Diseño de la red de depósito atmosférico en la zona crítica de Tula-Vito-Apasco*. UNAM .
- Amengual-Moreno, M., Calafat-Caules, M., Carot, A., Rita Rosa Correia, A., Río-Bergé, C., Rovira Plujà, J., Valenzuela Pascual, C., & Ventura-Gabarró, C. (2020). Determinantes sociales de la incidencia de la COVID-19 en Barcelona: un estudio ecológico preliminar usando datos públicos. In *Rev Esp Salud Pública* (Vol. 94). www.msbs.es/resp
- American Cancer Society. (2018). *Factores de riesgo para la leucemia mieloide aguda*. American Cancer Society.
- Anzules, Í., & Castro, D. (2022). Contaminación ambiental. *Salud Publica de Mexico*, 15(2), 263–265. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(2\).abr.2022.93-103](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(2).abr.2022.93-103)
- ASTDR. (2019). *Curso de toxicología para comunidades*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Azamar-Alonso, A., Silva-Macher, J. C., & Zuberan, F. (2021). Economía ecológica latinoamericana. In *Economía ecológica latinoamericana* (CLACSO, pp. 454–481).
- Azpeitia Caballero, Á. (2007). *Minerales de los distritos mineros metálicos de Zimapán, Pachuca-Real del Monte, Molango y su aplicación didáctica*.
- Babatola, S. S. (2018). Global burden of diseases attributable to air pollution. *Journal of Public Health in Africa*, 9(3). <https://doi.org/10.4081/jphia.2018.813>
- Ballester-Díez, F., Tenías, J., & Pérez-Hoyos, S. (1999). Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción. *Revista Española de Salud Pública*, 73(2).
- Baltzua, H. (2009). *Identificación y Evaluación de Aspectos Ambientales (ihobe)*.

- Bañeras, J., Iglesias-Grau, J., Téllez-Plaza, M., Arrarte, V., Báez-Ferrer, N., Benito, B., Campuzano Ruiz, R., Cecconi, A., Domínguez-Rodríguez, A., Rodríguez-Sinovas, A., Ujueta, F., Vozzi, C., Lamas, G. A., & Navas-Acién, A. (2022). Environment and cardiovascular health: causes, consequences and opportunities in prevention and treatment. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*, 75(12), 1050–1058. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2022.05.030>
- Barnés de Castro, F. J. (2022). *Sistema Nacional de Refinación*.
- Blanco-Becerra, L. C., Pinzón-Flórez, C. E., & Idrovo, Á. J. (2015). Estudios ecológicos en salud ambiental: más allá de la epidemiología. *Biomédica*, 35(0), 191. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2819>
- Bofill-Mas, S., Clemente-Casares, P., Albiñana-Giménez, N., Maluquer De Motes Porta, C., Hundesa Gonfa, A., & Llop, R. G. (2005). EFECTOS SOBRE LA SALUD DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUA Y ALIMENTOS POR VIRUS EMERGENTES HUMANOS, (*). *Rev Esp Salud Pública*, 79(2), 253–269.
- Bonita, R., Beaglehole, R., Kjellström, Tord., & World Health Organization. (2006a). *Basic epidemiology*. World Health Organization.
- Bonita, R., Beaglehole, R., Kjellström, Tord., & World Health Organization. (2006b). *Basic epidemiology* (Organización Panamericana de la Salud, Ed.; Segunda edición). World Health Organization.
- Borja-Aburto, V. (2000). Estudios ecológicos. *Instituto Nacional de Salud Pública*, 42, 533–538.
- Bravo-Bello, J., Martínez-Trinidad, T., Romero-Sanchez, M., Valdez-Lazalde, J., & Benavides-Meza, H. (2020). The analytic hierarchy process for selection of suitable trees for Mexico City. *IForest - Biogeosciences and Forestry*, 13(6), 541–547. <https://doi.org/10.3832/ifor3481-013>
- Cabrera-Cruz, E. R. B., Gordillo-Martínez, A. J., & Cerón-Beltrán, Á. (2003). contaminaciónhidalgo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 20(1), 13–22.
- Cámara de Diputados, Secretaría General, & Secretaría de Servicios Parlamentarios. (2024). *Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- Cambra, K., Martínez-Rueda, T., Alonso-Fustel, E., Cirarda, F. B., Audicana, C., Esnaola, S., & Ibanez, B. (2013). Association of proximity to polluting industries, deprivation and mortality in small areas of the Basque Country (Spain). *The European Journal of Public Health*, 23(1), 171–176. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckr213>
- Cambra, K., Martínez-Rueda, T., Alonso-Fustel, E., Cirarda, F. B., Ibanez, B., Esnaola, S., Calvo, M., Aldasoro, E., & Montoya, I. (2011). Mortality in small geographical areas and proximity to air polluting industries in the Basque

- Country (Spain). *Occupational and Environmental Medicine*, 68(2), 140–147. <https://doi.org/10.1136/oem.2009.048215>
- Candia B, R., & Caiozzi A., G. (2005). Intervalos de Confianza. *Revista Médica de Chile*, 133(9). <https://doi.org/10.4067/S0034-98872005000900017>
- Cardona, A., Marín, D., & Salazar, E. (2013). Estudio ecológico sobre parasitismo intestinal, anemia y estado nutricional en indígenas emberá-chamí. *Medicina y Laboratorio*, 7(8), 381–395. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=93988>
- Carliño, F. J., Franklin-Segura, O., & Concha-Iglesias, J. (2021). Contaminación ambiental y su influencia en la salud. *Revista Nacional Científica Estudiantil*, 2(1), 75–90.
- Carrasco-Gallegos, B. V., Martínez Jiménez, E., & Villar-Nieto, C. (2017). Movimientos sociales en oposición a las industrias cementeras en México. In J. A. Maldonado-Adame (Ed.), *Respuestas comunitarias ante conflictos territoriales. Casos de estudio México y Latinoamérica* (pp. 45–61).
- Carter, T. S., Kerr, G. H., Amini, H., Martin, R. V, Ovienmhada, U., Schwartz, J., van Donkelaar, A., & Anenberg, S. (2023). PM_{2.5} data inputs alter identification of disadvantaged communities. *Environmental Research Letters*, 18(11), 114008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad0066>
- Castañeda-Ovando, E. P., Mendoza-Tolentino, Y., Añorve-Morga, J., Nieto-Velázquez, S., & Castañeda-Ovando, A. (2022). contaminación_agua. *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 10(19), 23–29.
- CDC. (2023). *Preventing Lead Exposure in Children*. Centers for Disease Control and Prevention.
- CDC. (2024). *Radon and Your Health*. Centers for Disease Control and Prevention.
- Celemin, P. (2014). El proceso analítico jerárquico en el marco de la evaluación multicriterio: Un análisis compartativo. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, 6(2), 47–63.
- Centro Centroamericano de Población. (2023). *Introducción a la relación causa-efecto*. Centro Centroamericano de Población .
- Centro Europeo de Postgrado. (2022, June 16). *¿Qué es el desequilibrio ecológico?* Centro Europeo de Postgrado.
- CFE. (2021a, April 23). *LA CFE INFORMA QUE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA “TULA” OPERA AL 40% DE SU CAPACIDAD Y CON UNA REDUCCIÓN DE 80% DE COMBUSTÓLEO*. Comisión Federal de Electricidad .
- CFE. (2021b, April 23). *La CFE informa que la central termoeléctrica Tula opera al 40% de su capacidad y con una reducción de 80% de combustóleo*. LA CFE INFORMA QUE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA “TULA” OPERA AL 40% DE SU CAPACIDAD Y CON UNA REDUCCIÓN DE 80% DE COMBUSTÓLEO.

<https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Boletines/boletin?i=2149#:~:text=LA%20CFE%20INFORMA%20QUE%20LA,REDUCCI%C3%93N%20DE%2080%25%20DE%20COMBUST%C3%93LEO&text=CFE%20mantiene%20compromiso%20con%20autoridades,de%20sus%205%20unidades%20generadoras.>

- Chakraborti, L., & Shimshack, J. P. (2022). Environmental disparities in urban Mexico: Evidence from toxic water pollution. *Resource and Energy Economics*, 67, 101281. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2021.101281>
- Chaparro-Orrantia, A. R., Torres-Vázquez, Y. F., & Lira-Hernández, D. (2023). Perspectiva de la población sobre el impacto ambiental y social por la cercanía a industria cementera. In *Nuevas territorialidades. Gestión de los territorios con inclusión, innovación social y sostenibilidad* (Vol. 7, pp. 1–10).
- Chatterjee, D., McDuffie, E. E., Smith, S. J., Bindle, L., van Donkelaar, A., Hammer, M. S., Venkataraman, C., Brauer, M., & Martin, R. V. (2023). Source Contributions to Fine Particulate Matter and Attributable Mortality in India and the Surrounding Region. *Environmental Science & Technology*, 57(28), 10263–10275. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c07641>
- CNDH. (2016). *El derecho humano al medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar* (Comisión Nacional de los Derechos Humanos, Ed.; Primera Edición).
- Colimon, K. M. (1990). *Fundamentos de Epidemiología* (Díaz de Santos, Ed.; Díaz de Santos).
- Collatuzzo, G., & Boffetta, P. (2023). Cancers Attributable to Modifiable Risk Factors: A Road Map for Prevention. *Annual Review of Public Health*, 44(1), 279–300. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-052220-124030>
- Comisión Ambiental de la Megalópolis. (2018). *La calidad del aire y tu salud*. Comisión Ambiental de La Megalópolis.
- Comisión Nacional del Agua. (2024, February 28). *Calidad del agua en México*. Comisión Nacional Del Agua.
- CONABIO. (2008). *Isotermas medias anuales*. CONABIO.
- CONAGUA. (2024, February 28). *Calidad del agua en México*. Comisión Nacional Del Agua.
- CONAGUAa. (2023). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle del Mezquital (1310), Estado de Hidalgo*. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/hidalgo/DR_1310.pdf
- CONAHCYT. (2021). *Conahcyt realiza webinar sobre Regiones de Emergencia Sanitaria y Ambiental (RESA)*.

- CONEVAL. (2023). *Criterios generales para la determinación de zonas de atención prioritaria, 2024*. Consejo Nacional de Evaluación de La Política de Desarrollo Social.
- De la Mora-De la Mora, G. (2012). *Refineries installation in the Tula Region, Hidalgo, Mexico: An analysis from modernity*. 20(40), 181–210.
- DENUE. (2020). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. INEGI.
- DGIS. (2023). *Mortalidad*. Dirección General de Información En Salud.
- Díaz Pinzón, J. E. (2020). Estimación de las tasas de mortalidad y letalidad por COVID-19 en Colombia. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía*, 89–93. <https://doi.org/10.31260/repertmedcir.01217372.1103>
- DOF. (2016). *Norma Oficial Mexicana NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de calidad de los petrolíferos*.
- DOF. (2019). *NORMA Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2019, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂). Valores normados para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población*.
- DOF. (2020). *NORMA Oficial Mexicana NOM-179-SSA1-2020, Agua para uso y consumo humano. Control de la calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento de agua*.
- DOF. (2021a). *NORMA Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (O₃). Valores normados para la concentración de ozono (O₃) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población*.
- DOF. (2021b). *NORMA Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al monóxido de carbono (CO). Valores normados para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población*.
- DOF. (2021c). *NORMA Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de nitrógeno (NO₂). Valores normados para la concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población*.
- DOF. (2021d). *NORMA Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5}. 5. Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5} en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población*.
- DOF. (2022). *NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua*.

- DOF, 2021. (2021e). NORMA Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM10 y PM2.5. Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. *Diario Oficial de La Federación* .
- Donat, C. (2024, January 16). *Los contaminantes del agua y su posible impacto en el riesgo de cáncer*. ISGlobal.
- Eastman, R. (2016). Terrset. Geospatial Monitoring and Modeling System. *Clark Labs*, 1–391. <https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/Terrset-Manual.pdf>
- Elliott, P., & Wartenberg, D. (2004). Spatial Epidemiology: Current Approaches and Future Challenges. *Environmental Health Perspectives*, 112(9), 998–1006. <https://doi.org/10.1289/ehp.6735>
- Encinas-Malagon, M. D. (2011). *Medio ambiente y contaminación. Principios básicos* (Vol. 1). <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio%20Ambiente%20y%20Contaminaci%C3%B3n.%20Principios%20b%C3%A1sicos.pdf?sequence=6>
- EPA. (2000). *National Service Center for Environmental Publications* . Environmental Protection Agency.
- EPA. (2023a). *Basic Information about Carbon Monoxide (CO) Outdoor Air Pollution*. Environmental Protection Agency.
- EPA. (2023b). *Basic Information about NO2*. Environmental Protection Agency.
- EPA. (2023c). *EPA Announces Federal Plan to Lower Sulfur Dioxide Levels, Improve Air Quality in Detroit*. Environmental Protection Agency.
- EPA. (2023d). *Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM)*. Environmental Protection Agency.
- EPA. (2023e). *Particulate Matter (PM) Basics*. Environmental Protection Agency.
- Espinoza, E., & Molina, C. (2014). Contaminación del aire exterior Cuenca-Ecuador, 2009-2013. Posibles efectos en la salud. *Revista de La Facultad de Ciencias Médicas de La Universidad de Cuenca*, 32(2), 6–17.
- Esquivel, J. M., Morales, G. P., & Esteller, M. V. (2015). Groundwater Monitoring Network Design Using GIS and Multicriteria Analysis. *Water Resources Management*, 29(9), 3175–3194. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-0989-8>
- Foro Nuclear. (2023). *¿Qué es una central termoeléctrica? ¿Qué Es Una Central Termoeléctrica?* <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia->

nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-una-central-termoelectrica/

- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (5th ed., Vol. 6). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
<http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso Soil quality indicators: A new way to evaluate this resource. In *Pastos y Forrajes* (Vol. 35, Issue 2).
- García-Pérez, J., Fernández de Larrea-Baz, N., Lope, V., Molina, A. J., O'Callaghan-Gordo, C., Alonso, M. H., Rodríguez-Suárez, M. M., Mirón-Pozo, B., Alguacil, J., Gómez-Acebo, I., Ascunce, N., Vanaclocha-Espi, M., Amiano, P., Chirlaque, M. D., Simó, V., Jiménez-Moleón, J. J., Tardón, A., Moreno, V., Castaño-Vinyals, G., ... Pollán, M. (2020). Residential proximity to industrial pollution sources and colorectal cancer risk: A multicase-control study (MCC-Spain). *Environment International*, *144*, 106055.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106055>
- 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*(54), 2–34.
<https://doi.org/10.24836/es.v29i54.741>
- Gavidia Catalán, V., & Talavera, M. (2012). La construcción del concepto de salud. *Didáctica de Las Ciencias Experimentales y Sociales*, *0*(26).
<https://doi.org/10.7203/dces.26.1935>
- Gemitzi, A., Petalas, C., Tsihrintzis, V. A., & Pisinaras, V. (2006). Assessment of groundwater vulnerability to pollution: a combination of GIS, fuzzy logic and decision making techniques. *Environmental Geology*, *49*(5), 653–673.
<https://doi.org/10.1007/s00254-005-0104-1>
- Gómez-Albores, M. A., Ordoñez-Sierra, R., Rodríguez-Reyes, M. G., Zamora-Mancio, J. F., & Eduardo-Soto, C. (2023, December). , “Seguimiento epidemiológico, Resultados Etapa 2”, en Carrasco Gallegos, B.V., *Informe Técnico Etapa 2 Fase Intermedia del Proyecto Evaluación de riesgo para la salud humana y ambiental por agentes tóxicos de origen antrópico como herramienta de empoderamiento social. Región Estratégica Ambiental Norte del Estado de México y Zona Tula, Hidalgo, clave 318998, México: CONAHCYT, diciembre de 2023.* CONAHCYT.
- Gómez-Duarte, O. G. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. In *Revista Facultad de Medicina* (Vol. 66, Issue 1, pp. 7–8). Universidad Nacional de Colombia.
<https://doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.70775>

- Gómez-Rivadeneira, A. (2015). Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE): Descifrando la CIE-10 y esperando la CIE-11. *Monitor Estratégico*, 66(73). <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IA/SSA/cie10-cie11.pdf>
- González Garay, A., Díaz García, L., Murata, C., Anzo Osorio, A., & García de la Puente, S. (2018). Generalidades de los estudios de casos y controles. *Acta Pediátrica de México*, 39(1), 72. <https://doi.org/10.18233/APM39No1pp72-801542>
- González-Garay, A., Díaz-García, L., Chiharu-Murata, Anzo-Osorio, A., & García de la Puente, S. (2018). Artículo de revisión Acta Pediatr Mex. *Acta Pediatr Mex.*, 39(1), 72–80. www.actapediatrica.org.mx
- Grajales-Quintero, A., Serrano-Moya, E., & Hahn Von-h, C. M. (2013). Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación. *Revista Luna Azul*, 36, 285–306. <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321728584014.pdf>
- Granados-Hernández, E., Bravo-Álvarez, H., Sosa-Echeverría, R., López-Andrade, X., García-Landa, C., & Sánchez-Álvarez, P. (2015). Energy Consumption and Carbon Dioxide Emissions from Petroleum Refining Sector in Mexico from 2015 to 2030. *Universidad Nacional Autónoma de México*, 4, 503–513.
- Greenpeace. (2021, April 22). *Señala Greenpeace México a la Termoeléctrica de Tula por su exceso de contaminación*. Greenpeace.
- Gutiérrez-Rodríguez, R. (2019). El Petróleo en México y sus impactos sobre el territorio. *Denarius*, 36(1), 207–211.
- Haber, S. (1993). La industrialización de México: historiografía y análisis. *Historia Mexicana*, 42(3).
- Hernández-Arellano, M. (2020). *Percepción social del riesgo por contaminación ambiental a causa de las cementeras y caleras, en Atotonilco de Tula, Hidalgo y Apaxco, Estado de México*.
- Hernández-González, D. E., Muñoz-Iniestra, D. J., López-Galindo, F., & Hernández-Moreno, M. M. (2018). Impacto del uso de la tierra en la calidad del suelo en una zona semiárida del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *BIOCYT Biología Ciencia y Tecnología*, 11(41–42). <https://doi.org/10.22201/fesi.20072082.2018.11.65833>
- Ibáñez, J. J., & Manríquez-Cosío, F. J. (2011, January 26). *Fluvisoles*. Madrid más.
- INECC. (2016, October 26). *Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, SINAICA*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- INECC. (2019, February 26). *Estado de la Calidad del Aire en México*. Instituto de Ecología y Cambio Climático.
- INECC. (2020). *Directorio Por la SEMARNAT Por el Gobierno del Estado de Hidalgo Por la Comisión Ambiental de la Megalópolis*.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/571616/Calidad_del_Aire_Cuenca_Atm_de_Tula-FINAL.pdf

INECC, & SEMARNAT. (2021). *Definición de zonas para medición de calidad del aire en las regiones Tula, Toluca y Yecapixtla-Huexca-Cuautla*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/702162/130_2021_Definicion_zonas_medicion_calidad_aire.pdf

INEGI. (2020a). *Desechos industriales*. INEGI.

INEGI. (2020b). *División Municipal*. INEGI.

Iniciativa Climática de México. (2021). *Estudio sobre la influencia de la central termoeléctrica de Tula, Hidalgo, en la calidad del aire regional*.

INSST. (2023). *Evaluación de riesgos en las empresas*. <https://www.insst.es/documents/94886/375219/Qu%C3%A9+es+y+c%C3%B3mo+abordar+la+evaluaci%C3%B3n+de+riesgos+en+las+empresas.pdf/21750083-5724-4588-8dcd-b8760de90a16?t=1686296977310>

Instituto Geográfico Nacional. (2015). *Suelos*. Instituto Geográfico Nacional.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), & Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad CONABIO. (2008). *Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. CONABIO.

Instituto para la Salud Geoambiental. (2022). *Material particulado*. Instituto Para La Salud Geoambiental.

Jaramillo-Antillón, J. (2010). Ecología -Salud y enfermedad. *Acta Médica Costarricense*, 52(1).

Ji, H., Chen, S., Zhang, Y., Chen, H., Guo, P., & Zhao, P. (2018). Comparison of air quality at different altitudes from multi-platform measurements in Beijing. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(14), 10645–10653. <https://doi.org/10.5194/acp-18-10645-2018>

Jiménez, M. (2021). *Frecuencia e impacto en la matriz de riesgos*. Pirani. <https://www.piranirisk.com/es/blog/matriz-de-riesgos-frecuencia-impacto>

Lara Figueroa, H. N., & García Salazar, E. M. (2019). Prevalencia de enfermedades asociadas al uso de agua contaminada en el Valle del Mezquital. *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, 7(21). <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2019.21.69636>

Lara-Viveros, F. M., Ventura-Maza, A., Muhummad, E., Rodríguez-Ortega, A., Vargas-Monter, J., & Landero-Valenzuela, N. (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).

- Lesser-Carrillo, 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(3), 323–336.
- Lillo, J. (2020). Impactos de la minería. *Grupo de Geología*, 1–34.
- Lin, C.-H., & Wen, T.-H. (2022). How Spatial Epidemiology Helps Understand Infectious Human Disease Transmission. *Tropical Medicine and Infectious Disease*, 7(8), 164. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed7080164>
- Lorraine, A., Lopes, B., Ricchetti, K., & Yeatts, K. (2015). *Ecologic Studies*. https://sph.unc.edu/wp-content/uploads/sites/112/2015/07/nciph_ERIC9.pdf
- Luna-Nemecio, J. (2021). Conflictos socioambientales por la defensa del agua en México: un meta-análisis cartográfico conceptual. *Universidad y Sociedad Abierta a Un Diálogo de Saberes Para Alcanzar El Desarrollo Sostenible*, 13(4).
- Manzano-Pérez, J. (1974). Ecología y salud. *Salud Pública de México*, 16(5), 765–770.
- Martínez-Jiménez, E. (2018). *Visualizador web de la incidencia de cáncer en el Valle del Mezquital, México y su relación con la contaminación de industrias cementeras*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Mateos-Díaz, E. (2016). *Emisiones a la atmósfera por consumo de combustóleo y por cambio a gas natural en una central termoeléctrica de interés*. UNAM.
- Medina Gómez, O. S., & Villegas Lara, B. (2019). Homicidios en jóvenes y desigualdades sociales en México, 2017. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 43, 1. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2019.94>
- Méndez-Lozano, M., Judith Rodríguez-Reyes, E., & María Sánchez-Zamorano, L. (2015). *Brucelosis, una zoonosis presente en la población: estudio de series de tiempo en México*.
- Mendoza-Fandiño, J., Rosso-Pinto, M., Tavera-Quiroz, H. C., Coronado-Arango, A., Ríos-Kerguelen, J. R., Anaya-Guzmán, A. A., & Arrieta-López, A. (2021). Análisis de la Fragilidad Ambiental Asociada a la Contaminación Del Recurso Hídrico Como Herramienta Para El Fortalecimiento de la Environmental Fragility Analysis Due to Water Resource Pollution As A Tool For Strengthening Water Governance In The Sinu River Basin. *Prospectiva*, 19(2). <https://doi.org/10.15665/rp.v19i2.2606>
- Mendoza-González, M. Á., Mejía-Reyes, A., & Quintana-Romero, L. (2017). *Deseconomías de aglomeración, contaminación y sus efectos en la salud de la Zona Metropolitana del Valle de México: Un análisis con econometría espacial*. <http://hdl.handle.net/10419/191966>

- Ministerio de Energía y minas. (2019). *Industrias cementeras Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético*. https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGEE/eficiencia%20energetica/publicaciones/guias/12_%20%20guia%20industrias%20cementeras%20DGEE%2006-09-19.pdf
- Molina Arias, M. (2012). Cálculo de la reducción del riesgo y el número necesario de pacientes a tratar. *Pediatría Atención Primaria*, 14(56), 369–372. <https://doi.org/10.4321/S1139-76322012000500014>
- Mondragón Téllez, V. M. (2016). *La Contaminación Industrial en México*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Monge, C. (1978). Ecología y salud. *Boletín de La Oficina Sanitaria Panamericana*, 84(1).
- Moreno-Torres, E. (2017). *Evaluación del impacto potencial en la calidad del aire por SO2 en la zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM), por la contribución de una fuente estacionaria*. Universidad Nacional Autónoma de México .
- Mullner, R. (2024, February 4). *Epidemiology*. Britannica.
- Murillo, J. (2023). *Herramientas y técnicas para la toma de decisiones efectivas en entornos empresariales*. LinkedIn.
- National Geographic. (2023, September 26). *Qué es la salud ambiental y por qué atenderla es vital para el mundo*. National Geographic.
- National Human Genome Research Institute. (2020). *Polymerase Chain Reaction (PCR) Fact Sheet*. National Human Genome Research Institute. <https://www.genome.gov/about-genomics/fact-sheets/Polymerase-Chain-Reaction-Fact-Sheet>
- National Institutes of Health. (2012). *Analysis of Cancer Risks in Populations Near Nuclear Facilities*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13388>
- Navarro Arredondo, A. (2019). Control de la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 34(3), 631–663. <https://doi.org/10.24201/edu.v34i3.1806>
- Navarro-Alvargonzález, A., Fernández-Uría, A., & Doblas-Domínguez, J. (1993). Las aguas subterráneas en España. *Instituto Geológico y Minero de España*.
- Navas de García, A., Reyes-Gil, R., & Galván-Rico, L. (2015). Impactos ambientales asociados con el proceso de producción del concreto. *Enfoque UTE*, 6(4), 67–80. <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>
- NIH. (2011). *What Is Epidemiology?* National Institute on Deafness and Other Communication Disorders. <https://www.nidcd.nih.gov/health/statistics/what-epidemiology>

- NIH. (2023). *La Contaminación del Aire y Su Salud*. National Institute of Environmental Health Sciences.
- NRDC. (2023, January 11). *La contaminación del agua: Todo lo que necesitas saber*. Consejo Para La Defensa de Recursos Naturales.
- OMS. (2023a). *Contaminación atmosférica*. Organización Mundial de La Salud.
- OMS. (2023b, September 13). *Agua para consumo humano*. Organización Mundial de La Salud .
- OMS. (2024). *¿Cómo define la OMS la salud?* Organización Mundial de La Salud.
- ONEXPO. (2023). *¿Cuál es la refinería de Pemex que más refina petróleo crudo?* https://www.onexpo.com.mx/NOTICIAS/CUAL-ES-LA-REFINERIA-DE-PEMEX-QUE-MAS-REFINA-PETRO_dvCGn/#:~:text=Salina%20Cruz%20es%20la%20refiner%C3%ADa,la%20ubicada%20en%20Tula%2C%20Hidalgo.
- OPS. (2018a). *Calidad del aire*. Organización Mundial de La Salud.
- OPS. (2018b). *Contaminación del aire ambiental exterior y en la vivienda*. Organización Panamericana de La Salud.
- OPS. (2022). *Determinantes Ambientales de Salud*. Organización Panamericana de La Salud.
- OPS. (2023a). *Calidad del Aire*. Organización Panamericana de La Salud.
- OPS. (2023b). *Promoción de la salud*. <https://www.paho.org/es/temas/promocion-salud>
- Oyarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 26(1). <https://doi.org/10.4067/S0717-73482010000100004>
- Palacios-Orejuela, I. F. (2018). Evaluación multicriterio para la ubicación de un relleno sanitario en la ciudad de Macas, a través de la ponderación de sus variables con el proceso analítico jerárquico, AHP. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 3(2).
- Paz Morán, V., & Cuero Angulo, P. (2020). Evaluación de la contaminación por plomo de la refinería Esmeraldas, en la sangre de la población de Vuelta Larga. *Horizontes de Enfermería*, 10, 66–75. <https://doi.org/10.32645/13906984.994>
- PEMEX. (2013). *Proceso de generación eléctrica*. PEMEX.
- PEMEX. (2014). *Diccionario de Términos de Pemex Refinación* (R. Montemayor-Seguy & J. M. Willars-Andrade, Eds.). PEMEX.

- Peña-Sánchez, E. Y., & Hernández-Albarrán, L. (2005). Principales padecimientos y enfermedades en preescolares del Valle del Mezquital, Hidalgo. *Estudios de Antropología Biológica*, 7, 257–276.
- Peralta-Rivero, C., Carrasco-Gallegos, B. V., & Leyva-González, L. M. (2017). Análisis del impacto social, económico y ambiental de la industria cementera en el municipio de Huichapan, estado de Hidalgo, México. In B. V. Carrasco-Gallegos (Ed.), *MEGAPROYECTOS URBANOS Y PRODUCTIVOS*. (1st ed., Vol. 1, pp. 25–39). <http://www.uaemex.mx>
- Prieto-García, F., Méndez-Marzo, M. A., Martínez-Pezina, F. H., & Prieto-Méndez, J. (2007). Presencia de metales pesados en cultivos. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 3(2), 100–110.
- Reconociendo México. (2019, February 26). *El Valle del Mezquital*. Reconociendo México.
- Reglamento de la ley minera. (2014). *Reglamento de la ley minera*. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LMin.pdf
- Relatives. (2009). Introducción: vigilancia y monitoreo. In *Monitoreo de áreas, especies y poblaciones para evaluar la efectividad de las acciones de manejo y conservación* (pp. 357–378).
- Requena, A., Quintanilla, R., Bolarín, J., Bastida, A., & Zuñiga, J. (2020). *Difusión y dispersión de contaminantes*. Universidad de Murcia.
- Romero-Placeres, M., Olite, F., & Álvarez-Toste, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(2).
- Romo, D. (2016). Refinación de petróleo en México y perspectiva de la Reforma Energética. *Problemas Del Desarrollo*, 47(187).
- Romo-Gómez, C., Camacho-López, C., Otazo-Sánchez, E. M., & Marmolejo-Santillán, Y. (2019). Emisiones de GEI del corredor industrial Tula – Apaxco. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 7(13), 12–16. <https://doi.org/10.29057/icbi.v7i13.3443>
- Rosas Ávila, J., García Romero, A., López García, J., & Manzo Delgado, L. de L. (2015). Análisis multicriterio para la delimitación de una región árida del centro de México. *Acta Universitaria*, 25(4), 11–25. <https://doi.org/10.15174/au.2015.772>
- Salas-Bacalla, J. (2021). *Modelo jerárquico para optimizar la localización de una planta industrial*. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/17081/Salas_bj.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sarmiento, R., Hernández, L. J., Medina, E. K., Rodríguez, N., & Reyes, J. (2015). Respiratory symptoms associated with air pollution in five localities of Bogotá,

2008-2011, a dynamic cohort study. *Biomedica*, 35(3), 167–176.
<https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2445>

- Secretaría de Economía. (2023a). *Apaxco*. Secretaría de Economía.
- Secretaría de Economía. (2023b). *Atitalaquia*. Secretaría de Economía.
- Secretaría de Economía. (2023c). *Atotonilco de Tula*. Secretaría de Economía.
- Secretaría de economía. (2023). *Industrias* . Secretaría de Economía.
- Secretaría de Economía. (2023d). *Tula de Allende*. Secretaría de Economía.
- Secretaría de Salud. (2015a). *Conoce la calidad del aire*. Secretaría de Salud.
- Secretaría de Salud. (2015b). Normas Oficiales Mexicanas. *Secretaría de Salud*.
- Secretaría de Salud. (2015c, August 24). *¿Qué es la neumoconiosis?* Secretaría de Salud.
- Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). *¿Qué es la contaminación del aire?* Secretaría Del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- SEGOB. (2016). *Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de las aguas nacionales subterráneas del acuífero Valle del Mezquital, clave 1310, en el estado de Hidalgo, región hidrológico-administrativa aguas del Valle de México*.
- Segoviano-Murillo, S. I. (2006). *Análisis de la refinería Miguel Hidalgo de Tula, Hidalgo, utilizando petroplan*. Universidad Nacional Autónoma de México .
- SEMARNAT. (2012). *Grupos principales de suelos en México*. SEMARNAT.
- SEMARNAT. (2015). *Informe de la situación del medio ambiente en México*.
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
- SEMARNAT. (2018, June 16). *Fuentes de Contaminación Atmosférica*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT. (2020). *Dirección General de Estadística e Información Ambiental*.
- SEMARNAT. (2021a). *Partículas suspendidas PM10 y PM2.5 dañan salud y medio ambiente*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
<https://www.gob.mx/semarnat/articulos/particulas-suspendidas-pm10-y-pm2-5-danan-salud-y-medio-ambiente>
- SEMARNAT. (2021b). *Partículas suspendidas PM10 y PM2.5 dañan salud y medio ambiente*. SEMARNAT.
- SEMARNAT. (2021c, November 1). *Reducir nuestra huella ecológica, el mayor desafío de sociedades e individuos*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

- SENER. (2017). *Balance Nacional de Energía*.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2015). *Cartografía Geológica de la República Mexicana escala 1:250,000*. Servicio Geológico Mexicano.
- SGM. (2018). *Diciembre 2018 Panorama Minero del Estado de Hidalgo Coordinación Regional*.
https://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/panoramas/HIDALGO_dic2018.pdf
- Shi, L., Zhu, Q., Wang, Y., Hao, H., Zhang, H., Schwartz, J., Amini, H., van Donkelaar, A., Martin, R. V., Steenland, K., Sarnat, J. A., Caudle, W. M., Ma, T., Li, H., Chang, H. H., Liu, J. Z., Wingo, T., Mao, X., Russell, A. G., ... Liu, P. (2023). Incident dementia and long-term exposure to constituents of fine particle air pollution: A national cohort study in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(1).
<https://doi.org/10.1073/pnas.2211282119>
- Sosa, G., Vega, E., González-Avalos, E., Mora, V., & López-Veneroni, D. (2013). Air Pollutant Characterization in Tula Industrial Corridor, Central Mexico, during the MILAGRO Study. *BioMed Research International*, 2013, 1–13.
<https://doi.org/10.1155/2013/521728>
- Stevenson, J. (2023). *Cáncer de mesotelioma*. Meshotelioma.
- Suárez-Tamayo, S., & Molina-Esquivel, E. (2014). El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3).
- Szumilas, M. (2010). Explaining Odds Ratios. *J Can Acad Child Adolesc Psychiatry*, 19(3).
- Tobón, W. (2013). Análisis multicriterio. *CONABIO*, 2–15.
<https://www.recibio.net/wp-content/uploads/2012/11/AnalisisMulticritierio-Wolke.pdf>
- UAEH. (2023). *Río Tula, uno de los desagües más importantes de la zona centro de México*. Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo.
- Universidad Autónoma de México. (2023). *Regiones de emergencia ambiental reportaron mayor impacto por la pandemia*.
- Vargas Marcos, F. (2005). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79, 117–127.
- Vásquez, B., & Corrales, S. (2017). Industria del Cemento en México: Análisis de sus Determinantes. *Problemas Del Desarrollo*, 48(1).
- Ventura-Cortes, C. N. (2019). Cementeras: La falsedad del desarrollo territorial, reducción de bienes ambientales y la violencia de los derechos fundamentales de las mujeres. *Mujeres Ambientalistas de México*.

Wang, Q., & Yang, Z. (2016). Industrial water pollution, water environment treatment, and health risks in China. *Environmental Pollution*, 218, 358–365. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.07.011>

9. ANEXOS

Anexo 1. Procesamiento de imágenes de superficie de PM_{2.5}

Por último, se descargó la información de materia particulada (PM_{2.5} µg/m³) de la página oficial de la Universidad de Washington del Grupo de Análisis de Composición Atmosférica (ACAG por sus siglas en inglés), la información se encuentra a nivel global, con una temporalidad anual y mensual de 1998 a 2021 y una resolución espacial de 0.01° × 0.01° Tabla 9.1

Tabla 9.1 Información de imágenes de superficie de PM_{2.5}

Producto	Unidades	Formato	Cobertura	Resolución espacial	Temporalidad
Surface	ug/m3	NetCDF	Global	0.01°	× Anual y
PM_{2.5}		*.nc		0.01°	mensual 1998-2021

Para importar los archivos de tipo .nc dentro del SIG TerrSet se utilizó la herramienta GDAL, se utilizaron los archivos de forma anual. Posteriormente, se aplicó la herramienta transpose en el Macro Modeler para invertir las imágenes.

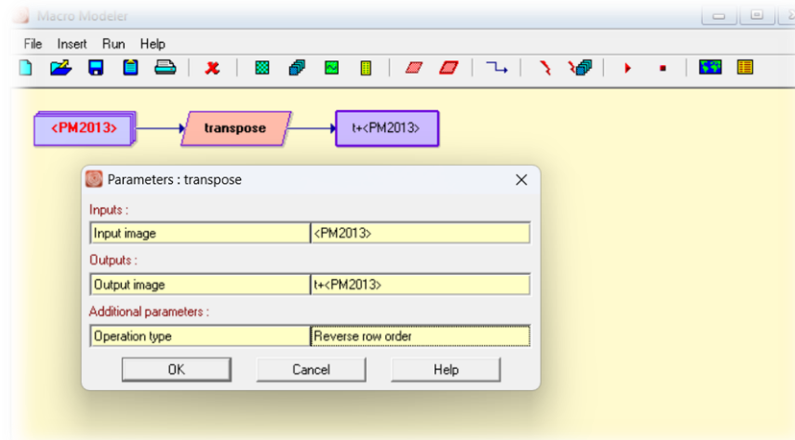


Figura 9.1 Herramienta Transpose

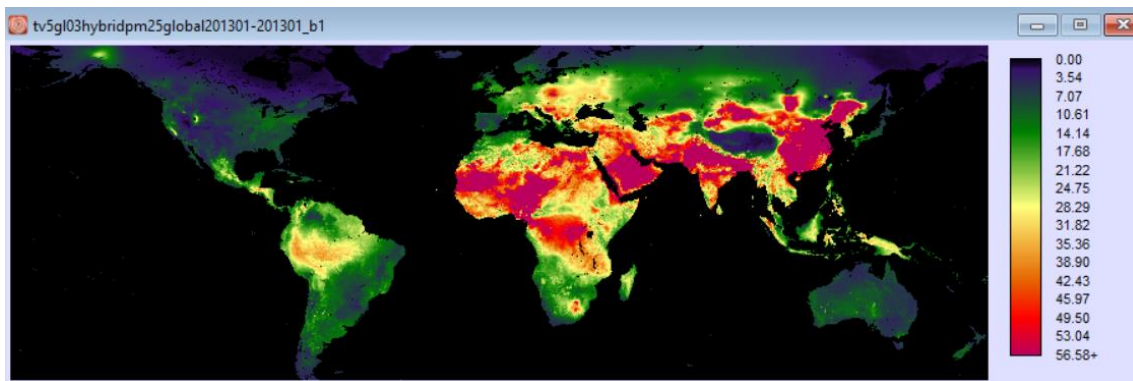


Figura 9.2 Resultado de herramienta transpose

Para referenciar las imágenes se corrigió el sistema de referencia y las coordenadas mínimas y máximas (figura 9.3) de las imágenes utilizando la herramienta METAUPDATE, con la finalidad de ajustar la información a la zona de estudio.

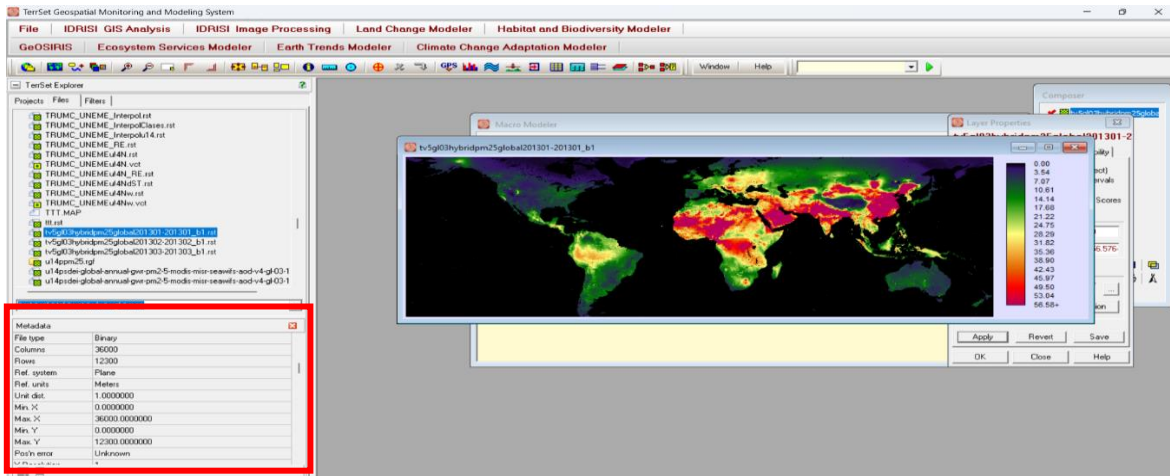


Figura 9.3 Metadatos iniciales

Se creó un grupo ráster para modificar los metadatos a un grupo de imágenes. Las modificaciones que se llevaron a cabo en los metadatos fueron en las coordenadas Figura 9.4

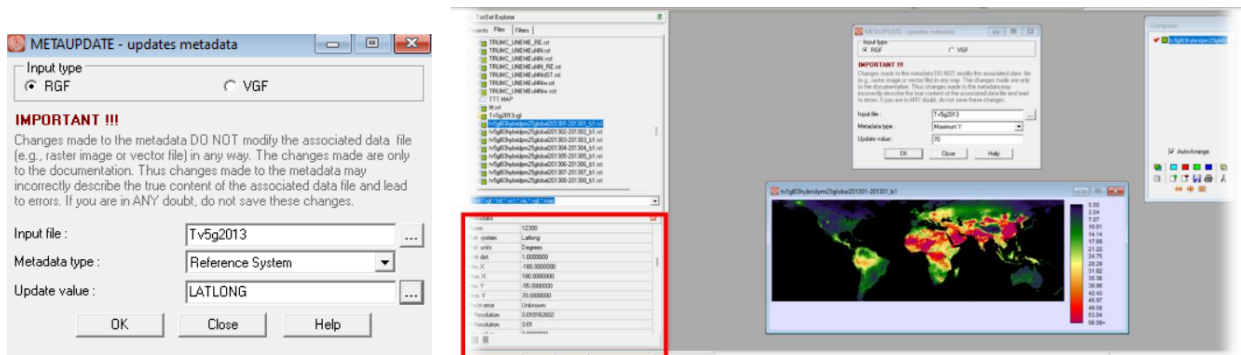


Figura 9.4 Resultado de la modificación en los metadatos

Para recortar la información a nivel nacional, se utilizó el módulo WINDOW desde el raster group modificado, al obtener la información se realizó un análisis temporal a nivel mensual (Figura 9.5)

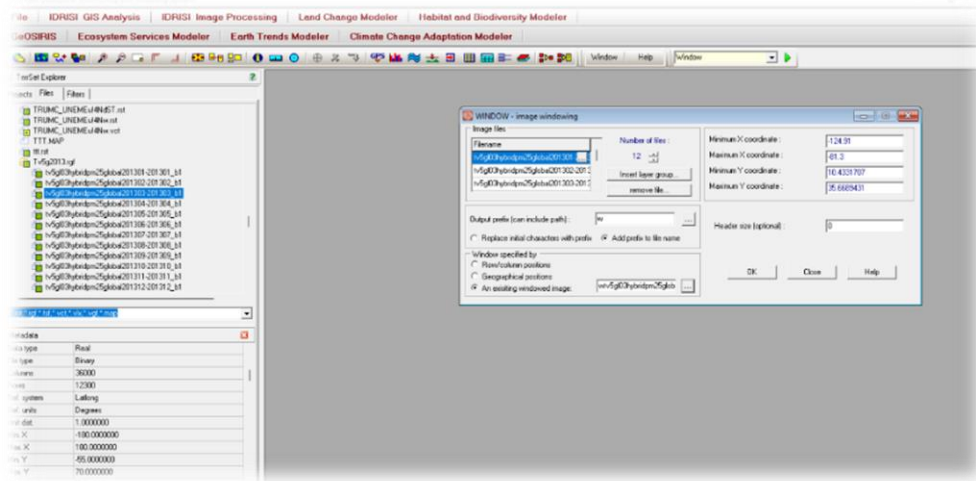


Figura 9.5 Módulo WINDOW

Para calcular el promedio la concentración promedio de 1998 a 2021 se utilizó el módulo Macro Modeler (Figura 9.6)

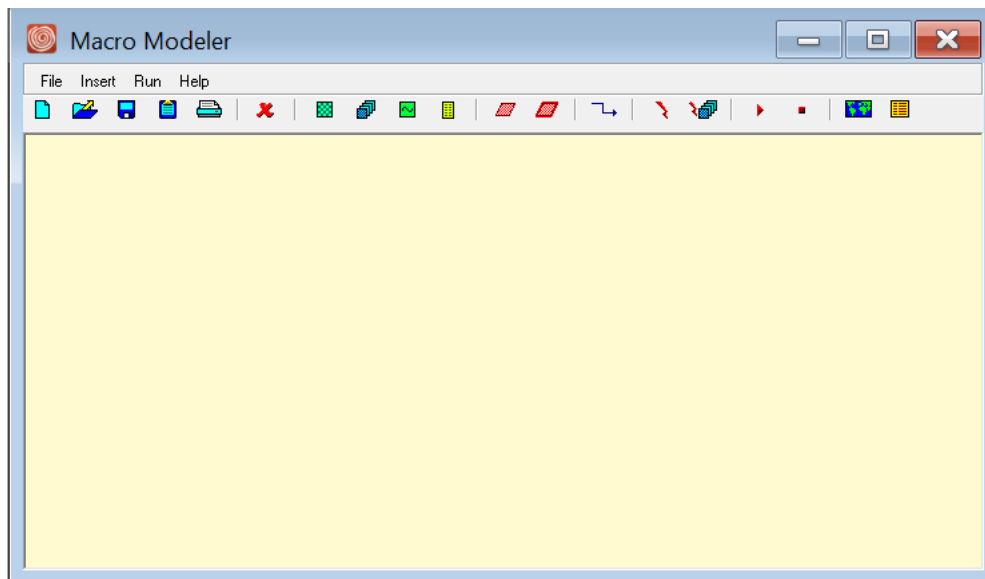


Figura 9.6 Módulo Macro Modeler

En este módulo se agregó el grupo ráster de la materia particulada de 1998-2021, posteriormente se realizó una suma de los valores de las

concentraciones de materia particulada 2.5 y se utilizó la herramienta scalar (Figura 9.7) con la que se dividió la suma de las concentraciones entre los 23 años de los que se tienen información (Figura 9.8).

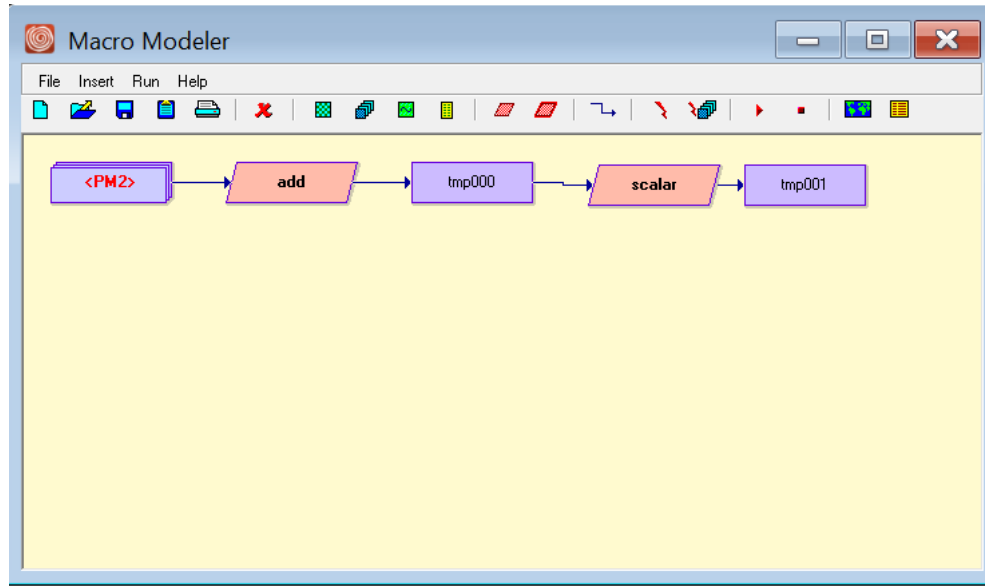


Figura 9.7 Herramienta scalar dentro del macro modeler

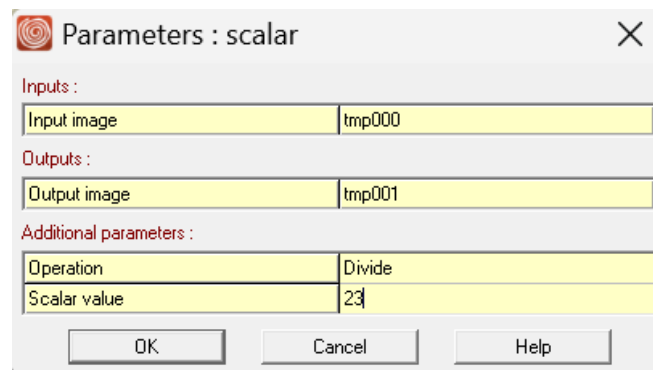


Figura 9.8 Parámetros de la herramienta scalar

La imagen resultante contiene los valores promedios de materia particulada 2.5 para el periodo.

Anexo 2. Sectores económicos por municipio

Tula de Allende, Atotonilco de Tula, Atitalaquia y Apaxco tienen una amplia actividad económica, en la que se desempeña la población que vive dentro y alrededor de estos municipios.

Tabla 9.2 Sectores económicos de Tula de Allende

Sectores económicos de Tula de Allende									
Actividad	% de pob. activa	Actividad	% de pob. activa	Actividad	% de pob. activa	Actividad	% de pob. activa	Actividad	% de pob. activa
Trabajadores de apoyo de actividades agrícolas	7.27	Payasos, mimos, cirqueros	0.051	Cerrajeros, afiladores y pulidores de herramientas	0.12	Operadores de máquinas en la elaboración de alimentos, aceites	0.068	Decoradores de interiores, jardines u diversos materiales (tazas, llaveros)	0.056
Trabajadores de apoyo a la construcción	4.07	Enfermeras especialistas	0.047	Zapateros artesanales	0.1	Ensambladores y montadores de partes eléctricas y electrónicas	0.051	Ingenieros civiles y de construcción	0.052
Trabajadores domésticos	3.61	Ingenieros industriales	0.046	Supervisores de artesanos y trabajadores en la elaboración	0.096	Operadores de máquinas para la elaboración y ensamble	0.049	Pedagogos, orientadores, educativos y otros especialistas	0.051
Preparadores y vendedores ambulantes de alimentos	2.19	Supervisores de mecánicos y técnicos en mantenimiento	0.046	Artesanos y confecciones de productos textiles	0.086	Operadores de máquinas pulidoras galvanizadas y recubridoras de metal	0.044	Otros funcionarios, directores y jefes	0.043

Vendedores ambulantes de Artículos diversos (excluyendo los de venta de alimentos)	2.14	Auxiliares y técnicos industriales y químicos	0.045	Trabajadores en la elaboración de productos a base de frutas y verduras	0.085	Operadores de máquinas para la elaboración de productos de madera	0.037	Jueces de juzgado, directores y gerentes en servicios legales y procuración de justicia	0.015
Barrenderos y trabajadores de limpieza (excepto en hoteles)	1.53	Animadores y organizadores de eventos	0.041	Instaladores de material aislante de impermeabilización	0.076	Supervisores de conductores de transporte y de maquinaria móvil	0.026	Otros directores, funcionarios, gerentes, coordinadores	0.028
Trabajadores de apoyo en la elaboración, reparación y mantenimiento	1.15	Especialistas en trabajo social	0.04	Trabajadores en la extracción de cantera, arcilla, arena, piedra y grava	0.065	Operadores de máquinas para la elaboración de productos	0.026	Directores y gerentes en producción minera, petrolera y gas	0.025
Ayudantes en la preparación de alimentos	1	Supervisores de técnicos eléctricos, en electrónica y de equipos	0.039	Impresiones, linotipistas, fotograbadores y encuadernados	0.061	Operadores de máquinas y equipos para la extracción y beneficio de minas	0.025	Coordinadores y jefes de área en servicios de vigilancia y seguridad	0.025
Trabajadores de apoyo en la industria de alimentos, bebidas y productos de trabajo	0.96	Profesores en educación física y deporte	0.039	Trabajadores en la elaboración de productos lácteos	0.05	Operadores de máquinas en la elaboración y celulosa, papel	0.015	Coordinadores y jefes de área en servicios contables, financieros, banca y seguros	0.016
Trabajadores de apoyo en Actividades Ganaderas	0.88	Supervisores e inspectores educativos	0.037	Supervisores de trabajadores en la elaboración y procesamiento	0.048	Operadores de máquinas en el tratamiento de cuero, piel	0.014	Supervisores de trabajadores en la extracción, albañiles y en acabados	0.19
Trabajadores de apoyo en la industria textil y del zapato	0.77	Técnicos en seguridad en el trabajo e higiene	0.036	Artesanos y trabajadores en la elaboración de productos de papel	0.047	Operadores de máquinas	0.013	Trabajadores en la elaboración de productos a base de azúcar, chocolate	0.17
Cargadores	0.6	Investigadores y especialistas en matemáticas,	0.036	Trabajadores en la elaboración de sustancias y	0.036	Otros operadores de instalaciones y maquinaria fija industrial	0.011	Trabajadores en la elaboración y reparación de productos de hule	0.13

		estadística y actuaria		compuestos químicos					
Lavadores de Vehículos en establecimiento	0.28	Auxiliares y asistentes dentales	0.035	Otros trabajadores artesanales, no clasificados anteriormente	0.032	Operadores de máquinas de elaboración de bebidas alcohólicas	0.011	Artesanos de productos de bejuco, vara, palma, carrizo y mimbre	0.13
Lavaderos en Establecimientos	0.23	Auxiliares y técnicos en veterinaria, pesca y forestación	0.035	Pintores y barnizadores de madera	0.3	Operadores de máquinas y equipos para la captación de bombeo	0.01	Ensambladores y montadores de herramientas, maquinaria	0.11
Trabajadores en apoyo en actividades Silvícolas y forestales	0.23	Técnicos y asistentes farmacéuticos	0.034	Trabajadores del vidrio y similares	0.027	Otros operadores de maquinaria industrial, ensambladores y choferes	0.025	Chofers en casas particulares	0.11
Repartidores de Mensajería (a pie y en bicicleta)	0.22	Fotógrafos	0.029	Patronistas de productos textiles	0.026			Operadores de máquinas que cortan, perforan, doblan, troquelan	0.095
Trabajadores de apoyo en la industria química, petroquímica y plásticos	0.17	Instructores en idiomas extranjeros	0.028	Moldeadores, torneros y troqueladoras	0.025	Taqueros y preparadores de comida rápida, antojitos, pizzas	1.6	Otros operadores de maquinaria industrial, ensambladores y conductores	0.086
Trabajadores en apoyo en la industria eléctrica, electrónica y comunicaciones	0.17	Auxiliares y técnicos en pedagogía y en educación	0.028	Tapiceros	0.025	Fonderos, vendedores y comerciantes de cocina	1.22	Ingenieros químicos	0.07
Trabajadore de apoyo en la industria de la cerámica, vidrio y similares	0.17	Técnicos de prótesis médicas y dentales	0.028	Instaladores de pisos, azulejos, mosaicos y baldosas	0.018	Meseros	0.96	Técnicos eléctricos	0.066
Trabajadores de apoyo en la industria de la	0.16	Auxiliares y técnicos mineros,	0.025	Otros trabajadores artesanales	0.013	Cuidadores de niños, personas	0.53	Trabajadores en instalación y reparación de	0.062

madera, papel y cartón		metalúrgicos y petroleros				con discapacidad y ancianos		equipos electrónicos	
Recamaristas y Camaristas	0.16	Instructores y capacitadores en oficios y para el trabajo	0.023	Joyereros, orfebres y pulidores de metal	0.011	Vigilantes y guardias en establecimientos	0.47	Diseñadores de moda y vestuario	0.061
Planchadores y Tintoreros en establecimientos	0.14	Periodistas y redactores	0.021			Peluqueros, barberos, estilistas y peinadores	0.42	Presidentes y directores generales en instituciones y empresas privadas	0.054
Clasificadores de desechos	0.14	Auxiliares hospitalarios y de medicina	0.02	Profesores de enseñanza primaria	1.41	Cocineros	0.37	Directores y gerentes en servicios de transporte	0.049
Supervisores en limpieza, amas de llaves, mayordomos y en estacionamientos	0.09	Entrenadores deportivos y directores técnicos	0.02	Auxiliares en administración, mercadotecnia, comercialización	1.01	Jardineros en casas particulares	0.3	Presidentes y autoridades municipales	0.046
Recolectores de basura y material reciclable	0.085	Curanderos, hierberos y hueseros	0.02	Profesores de enseñanza secundaria	0.98	Policías y agentes de tránsito	0.29	Coordinadores y jefes de área en servicios de salud, protección civil y medio ambiente	0.043
Trabajadores de apoyo que realizan actividades agrícolas y ganaderas	0.074	Asesores y analistas en finanzas	0.015	Mecánicos en mantenimiento y reparación de vehículos de motor	0.94	Jardineros en establecimientos	0.26	Coordinadores y jefes de área en informática	0.07
Vendedores ambulantes de periódicos y lotería	0.068	Farmacólogos	0.015	Médicos generales y familiares	0.77	Maquillistas, manicuristas, pedicuristas y tatuadores	0.25	Coordinadores y jefes de área en servicios legales, jueces calificadores y fiscales	0.063
Cuidadores y acomodadores de autos en estacionamientos	0.061	Administradores de bases de datos y redes de computadora	0.015	Abogados	0.75	Bañeros y masajistas	0.11	Directores y gerentes en servicios contables,	0.061

								financieros, banca y seguros	
Ayudantes de Jardineros	0.055	Monjas y predicadores	0.014	Electricistas y linieros	0.66	Cantineros	0.091	Coordinadores y jefes de área en generación y provisión de energía eléctrica y agua	0.056
Empacadores de objetos y mercancías	0.05	Traductores e intérpretes	0.012	Profesores de enseñanza preescolar	0.59	Trabajadores en Servicios funerarios	0.071	Técnicos en mantenimiento y reparación de maquinaria	0.076
Limpiadores de calzado	0.049	Ingenieros en minas, metalurgia y petróleo	0.011	Auxiliares en contabilidad, economía, finanzas y agentes de bolsa	0.46	Supervisores en la preparación y servicios de alimentos y bebidas	0.06	Otros especialistas no clasificados anteriormente	0.076
Ayudantes de conductores de transporte terrestre con motor	0.044	Ingenieros eléctricos	0.01	Psicólogos	0.38	Entrenadores de animales	0.054	Técnicos en aparatos de diagnóstico, tratamiento médico, podólogos	0.075
Recolectores de leña y acarreadores de agua	0.032	Auxiliares en servicios jurídicos	0.01	Mecánicos en mantenimiento y reparación de maquinaria	0.38	Trabajadores de la fuerza armada terrestre	0.045	Ingenieros electrónicos	0.072
Otros trabajadores en actividades elementales y de apoyo	0.027	Otros profesionistas y técnicos	0.12	Profesores universitarios y de enseñanza superior	0.36	Otros trabajadores en servicios personales y vigilancia	0.019	Operadores de máquinas para fabricar tejidos de punto, telas y alfombras	0.35
Mozos de hotel y restaurante	0.016			Médicos especiales	0.36	Cuidadores de niños, personas con discapacidad y ancianos	0.015	Conductores de maquinaria móvil para el movimiento de mercancías	0.27
Carpinteros, ebanistas y cepilladoras en la elaboración de productos de madera	0.56	Trabajos en el cultivo de maíz y/o frijol	3.55	Profesores de preparatoria y equivalentes	0.36	Escultores	0.087	Conductores de maquinaria móvil para la construcción y minería	0.17

Empleados de ventas despachadores y dependientes en comercios	6.01	Trabajadores en la cría de caprinos y ovinos	1.01	Desarrolladores y de software y multimedia	0.32	Trabajadores de apoyo en actividades administrativas diversas	1.3	Operadores de máquina de lavado, blanqueo, teñido, estampado, afelpado	0.13
Comerciantes en establecimientos	5.4	Trabajadores en la cría de ganado bovino	1	Contadores y auditores	0.32	Recepcionistas y trabajadores que brindan información (de forma personal)	0.47	Tejedores de fibras	0.23
Encargados y supervisores de ventas de productos y servicios	0.57	Trabajadores en otros cultivos agrícolas	0.45	Enfermeras (Técnicas)	0.27	Encargados y trabajadores en control de almacén y bodega	0.44	Trabajadores en la elaboración de bebidas alcohólicas y no alcohólicas	0.21
Agentes y representantes de ventas y consignatarios	0.54	Trabajadores que combinan actividades agrícolas con ganaderas	0.34	Técnicos en la instalación y reparación de redes, equipos	0.23	Cajeros, taquilleros y receptores de apuestas	0.43	Trabajadores de elaboración de productos de cemento, cal, yeso, azulejo	0.2
Vendedores por catálogo	0.5	Trabajadores en el cultivo de hortalizas y verduras	0.31	Músicos	0.22	Secretarias	0.43	Pintores de brocha gorda	0.19
Trabajadores en el alquiler de bienes muebles (loza, películas, video)	0.43	Trabajadores en el cultivo frutal	0.26	Dibujantes y diseñadores artísticos, ilustradores y grabadores	0.21	Cobradores, Pagadores y prestamistas	0.35	Coordinadores y jefes de área en servicios de transporte	0.099
Choferes vendedores	0.21	Trabajadores en la cría de porcinos	0.18	Arquitectos, planificadores urbanos y del transporte	0.18	Trabajadores en archivo y correspondencia	0.25	Directores y gerentes en producción manufacturera	0.089
Anaquejeros, acomodadores y seleccionadores de mercancías	0.16	Trabajadores en la cría avícola	0.14	Auxiliares en enfermería y paramédicos	0.16	Supervisores de secretarias, capturistas, cajeros	0.15	Coordinadores y jefes en área en centros de enseñanza y capacitación	0.071

Agentes de seguros y servicios financieros (Ejecutivos de cuenta)	0.15	Trabajadores en viveros e invernaderos	0.12	Instructores en estudios y capacitación artística	0.16	Capturistas de datos	0.11	Ingenieros en comunicaciones y telecomunicaciones	0.08
Demostradores y promotores	0.09	Trabajadores en actividad de acuicultura	0.12	Técnicos en instalación y reparación de equipos electrónicos, telecomunicaciones	0.14	Trabajadores que brindan información por teléfono	0.059	Especialistas y consultores en mercadotecnia, publicidad	0.077
Agentes de bienes raíces	0.086	Cortadores de leña	0.073	Auxiliares en ciencias sociales y humanistas	0.12	Telefonistas y telegrafistas	0.056	Diseñadores Gráficos	0.077
Trabajadores en el alquiler inmobiliario (casas, terrenos, etc.)	0.015	Taladores, trocadores y cortadores de árboles y similares	0.065	Auxiliares técnicos en ciencias biológicas, químicas y del medio ambiente	0.12	Trabajadores en agencias de viajes	0.015	Conductores de motocicleta	0.52
Otros comerciantes, empleados en ventas y agentes de ventas	0.01	Trabajadores en actividades de beneficio de productos pecuarios	0.054	Valuadores, subastadores y rematadores	0.11	Plomeros, fontaneros e instaladores de tubería	0.55	Supervisores de operadores de maquinaria industrial	0.45
Conductores de camiones, camionetas y automóviles de carga	1.47	Operadores de maquinaria, agropecuaria y forestal	0.05	Técnicos de laboratorios Médicos	0.11	Coordinadores y jefes de área en museos, cines, deportivos y servicios culturales	0.12	Operadores de máquinas y equipos de hilar y bobinar fibras textiles naturales	0.4
Trabajadores en la elaboración de pan, tortilla repostería y otros productos	2.39	Trabajadores en la cría de equinos	0.044	Administradores y especialistas en recursos humanos en sistemas de gestión	0.11	Directores y gerentes de restaurantes y hoteles	0.22	Soldadores y oxicortantes	0.33
albañiles, mamposteros y afines	2.35	Trabajadores en actividades de beneficio de productos agrícolas	0.028	Veterinarios y zootecnistas	0.1	Coordinadores y jefes de área en administración, recursos humanos	0.22	Alfareros y trabajadores ceramistas	0.31

Sastres y modistos, costureras y confeccionadoras de prendas de vestir	1.76	Trabajadores en el cultivo de flores	0.025	Trabajadores en reparación en equipos electromecánicos	0.096	Directores y gerentes en centros de enseñanza y capacitación	0.19	Hojalateros, chaperos, latoneros, cobreros y pintores de metales	0.3
Trabajadores en la elaboración de productos de carne, pescado	1.08	Trabajadores en la apicultura	0.025	Auxiliares Técnicos en construcción y arquitectura	0.092	Coordinadores y jefes de área en construcción, reparación	0.17	Directores y gerentes en construcción, reparación y mantenimiento	0.099
Herreros, balcones, aluminadores y forjadores	0.73			Ingenieros mecánicos	0.09	Directores y gerentes de ventas, comercialización y alquiler	0.13	Fumigadores y controladores de plagas	0.08
Bordadores y destiladores	0.62	Conductores de autobuses, camiones, camionetas, taxis y automóviles	1.48	Dibujantes técnicos	0.088	Directores y gerentes en administración, recursos humanos y mercadotecnia	0.13	Operadores de máquinas de costura, bordado y de corte para la confección	1.31

Tabla 9.3 Sectores económicos de Atitalaquia

Sectores económicos de Atitalaquia									
Actividad	% de pob. activa	Actividad	% de pob. activa	Actividad	% de pob. activa	Actividad	% de pob. activa	Actividad	% de pob. activa
Trabajadores de apoyo en actividades agrícolas	7.27	Soldadores y oxicortadores	0.33	Valuadores, subastadores y rematadores	0.11	Auxiliares en ciencias sociales y humanistas	0.12	Meseros	0.96
Trabajadores de apoyo en la construcción	4.07	Alfareros y trabajadores ceramistas	0.31	Técnicos de laboratorios médicos	0.11	Ingenieros en minas, metalurgia y petróleo	0.011	cuidadores de niños, personas con discapacidad	0.53

								y ancianos en casas	
Trabajadores domésticos	3.61	Hojalateros, chaperos, latoneros, cobreros y pintores de metales	0.3	Administradores y especialistas en Recursos Humanos y Sistemas de Gestión	0.11	Ingenieros eléctricos	0.01	Vigilantes y guardias en establecimientos	0.47
Preparadores y vendedores ambulantes de alimentos	2.19	Tejedores de fibras	0.23	Veterinarios y zootecnistas	0.1	Auxiliares en servicios jurídicos	0.01	Peluqueros, barberos, estilistas y peinadores	0.42
Vendedores ambulantes de artículos diversos	2.14	Trabajadores en la elaboración de bebidas alcohólicas y no alcohólicas	0.21	Trabajadores en reparación de equipos electromecánicos	0.096	Otros profesionistas y técnicos	0.12	Cocineros	0.37
Barrenderos y trabajadores de limpieza (excepto hoteles)	1.53	Trabajadores en la elaboración de productos de cemento, cal, yeso, azulejo	0.2	Auxiliares y técnicos en construcción y arquitectura	0.092	Trabajadores en el cultivo de maíz y/o frijol	3.55	Jardineros en casas particulares	0.3
Trabajadores de apoyo en la elaboración, reparación y mantenimiento	1.15	Pintores de brocha gorda	0.19	Ingenieros mecánicos	0.09	Trabajadores en la cría de caprinos y ovinos	1.01	Policías y agentes de tránsito	0.29
Ayudantes en la preparación de alimentos	1	Supervisores de trabajadores en la extracción, albañiles y en acabados de la...	0.19	Dibujantes técnicos	0.088	Trabajadores en la cría de ganado bovino	1	Jardineros en establecimientos	0.26
Trabajadores de apoyo en la industria, bebidas y productos de tabaco	0.96	Trabajadores en la elaboración de productos a base de azúcar, chocolate	0.17	Escultores	0.087	Trabajadores en otros cultivos agrícolas	0.45	Maquillistas, manicuristas, pedicuristas y tatuadores	0.25
Trabajo de apoyo en actividades ganaderas	0.88	Trabajadores en la elaboración y	0.13	Fumigadores y controladores de plagas	0.08	Trabajadores que combinan actividades	0.34	Bañeros y masajistas	0.11

		reparación de productos de hule				agrícolas con ganaderas			
Trabajadores de apoyo en la industria textil y del zapato textil	0.77	Artesanos de productos de bejuco, vara, palma, carrizo y mimbre	0.13	Ingenieros en comunicaciones y telecomunicaciones	0.08	Trabajadores en el cultivo de hortalizas y verduras	0.31	Cantineros	0.091
Cargadores	0.6	Cerrajeros, afiladores y pulidores de herramientas	0.12	Especialistas y consultores en mercadotecnia, publicidad	0.077	Trabajadores en el cultivo de frutales	0.26	Trabajadores en servicios funerarios	0.071
Lavadores de vehículos en establecimientos	0.28	Zapateros artesanales	0.1	Diseñadores gráficos	0.077	Trabajadores en la cría de porcinos	0.18	Supervisores en la preparación y servicio de alimentos y bebidas	0.06
Lavaderos en establecimientos	0.23	Supervisores de artesanos y trabajadores en la elaboración de	0.096	Técnicos en mantenimiento y reparación de maquinaria	0.076	Trabajadores en la cría avícola	0.14	Entrenadores de animales y ocupaciones relacionadas con el cuidado de mascotas	0.054
Trabajadores de apoyo en actividades silvícolas y forestales	0.23	Artesanos y confeccionadores de productos textiles	0.086	Otros especialistas no clasificados anteriormente	0.076	Trabajadores en actividades de acuacultura	0.12	Trabajadores de la fuerza armada terrestre	0.045
Repartidores de mensajería (a pie y bicicleta) y mandaderos	0.22	Trabajadores en la elaboración de productos a base de frutas y verduras	0.085	Técnicos en aparatos de diagnóstico, tratamiento médico, podólogos	0.075	Trabajadores en viveros e invernaderos	0.12	Cuidadores de niños y personas con discapacidad	0.015
Trabajadores de apoyo en la industria química, petroquímica y plásticos	0.17	Instaladores de materia aislante, de impermeabilización, vidrio y otros	0.076	Ingenieros electrónicos	0.072	Cortadores de leña	0.073	Otros trabajadores en servicios personales y vigilancia	0.019
Trabajadores de apoyo en la industria	0.17	Trabajadores en la extracción de cantera, arcilla,	0.065	Ingenieros químicos	0.07	Taladores, trocadores,	0.065	Trabajadores de apoyo en actividades	1.3

eléctrica, electrónica y comunicaciones		arena, piedra y grava				cortadores de árboles y similares		administrativas diversas	
Trabajadores de apoyo en la industria de la cerámica, vidrio y similares	0.17	Impresores, linotipistas, fotograbadores y encuadernadores	0.061	Técnicos eléctricos	0.066	Trabajadores en actividades de beneficio de productos pecuarios	0.054	Recepcionistas y trabajadores que brindan información (de forma personal)	0.47
Trabajadores de apoyo en la industria de la madera, papel y cartón	0.16	Trabajadores en la elaboración de productos lácteos	0.05	Trabajadores en instalación y reparación de equipos electrónicos	0.062	Operadores de maquinaria agropecuaria y forestal	0.05	Encargados y trabajadores en control de almacén y bodega	0.44
Recamaristas y camaristas	0.16	Supervisores de trabajadores en la elaboración y procesamiento de	0.048	Diseñadores de moda y vestuario	0.061	Trabajadores en la cría de equinos	0.044	Cajeros, taquilleros y receptores de apuestas	0.43
Planchadores y tintoreros en establecimientos	0.14	Artesanos y trabajadores en la elaboración de productos de papel	0.047	Decoradores de interiores, jardines y diversos materiales (tazas, llaveros)	0.056	Trabajadores en actividades de beneficio de productos agrícolas	0.028	Secretarías	0.43
Clasificadores de desechos	0.14	Trabajadores en la elaboración de sustancias y compuestos químicos	0.036	Ingenieros civiles y de la construcción	0.052	Trabajadores en cultivo de flores	0.025	Cobradores, pagadores y prestamistas	0.35
Supervisores en limpieza, amas de llaves, mayordomos y en establecimientos	0.09	Otros trabajadores artesanales, no clasificados anteriormente	0.032	Pedagogos, orientadores educativos y otros especialistas	0.051	Trabajadores en la apicultura	0.025	Trabajadores en archivo y correspondencia	0.25
Recolectores de basura y material reciclable	0.085	Pintores y barnizadores de madera	0.03	Payasos, mimos y cirqueros	0.051	Conductores de autobuses, camiones, camionetas, taxis y automóviles	1.48	Supervisores de secretarios, capturistas, cajeros y trabajadores	0.15
Trabajadores de apoyo que realizan	0.074	Trabajadores del vidrio y similares	0.027	Enfermeras especialistas	0.047	Conductores de camiones, camionetas y	1.47	Capturistas de datos	0.11

actividades agrícolas y ganaderas						automóviles de carga			
Vendedores ambulantes de periódicos y lotería	0.068	Patronistas de productos textiles	0.026	Ingenieros industriales	0.046	Operadores de máquinas de costura, bordado y de corte para confección	1.31	Trabajadores que brindan información por teléfono (centro de llamadas)	0.059
Cuidadores y acomodadores de autos en estacionamientos	0.061	Instaladores de pisos, azulejos, mosaicos y baldosas	0.018	Supervisores de mecánicos y técnicos en mantenimiento y reparación de equipo	0.046	Conductores de motocicleta	0.52	Telefonistas y telegrafistas	0.056
Ayudantes de jardineros	0.055	Moldeadores, torneros y troqueladoras	0.025	Auxiliares técnicos industriales y químicos	0.045	Supervisores de operadores de maquinaria industrial	0.45	Trabajadores en agencias de viajes	0.015
Empacadores de objetos y mercancías	0.05	Tapiceros	0.025	Animadores y organizadores de eventos	0.041	Operadores de máquinas y equipos de hilar y bobinar fibras textiles naturales	0.4	Otros trabajadores auxiliares en actividades administrativas	0.02
Limpiadores de calzado	0.049	Joyereros, orfebres, plateros y pulidores de metal	0.011	Especialistas en trabajo social	0.04	Operadores de máquinas para fabricar tejidos de punto, telas y alfombras	0.35	Directores y gerentes de restaurantes y hoteles	0.22
Ayudantes de conductores de transporte terrestre con motor	0.044	Otros trabajadores artesanales	0.013	Supervisores de técnicos eléctricos, en electrónica y de equipos	0.039	Conductores de maquinaria móvil para el movimiento de mercancías	0.27	Coordinadores y jefes de área en administración, recursos humanos	0.22
Recolectores de leña y acarreadores de agua	0.032	Profesores de enseñanza primaria	1.41	Profesores en educación física y deporte	0.039	Conductores de maquinaria móvil para la construcción y minería	0.17	Directores y gerentes en centros de enseñanza y capacitación	0.19
Otros trabajadores en actividades	0.027	Auxiliares en administración,	1.01	Supervisores e inspectores educativos	0.37	Operadores de máquinas de lavado, blanqueo,	0.13	Coordinadores y jefes de área en	0.17

elementales y de apoyo		mercadotecnia, comercialización				teñido, estampado, afelpado		construcción, reparación	
Mozos de hotel y restaurante	0.016	Profesores de enseñanza secundaria	0.98	Técnicos en seguridad en el trabajo e higiene	0.036	Ensambladores y montadores de herramientas, maquinaria, equipos	0.11	Directores y gerentes de ventas, comercialización y alquiler	0.13
Empleados de ventas, despachadores y dependientes en comercios	6.01	Mantenimiento y reparación de vehículos de motor	0.94	Investigadores y especialistas en matemáticas, estadística y actuaría	0.036	Otros operadores de maquinaria industrial, ensambladores y conductores	0.086	Directores y gerentes en administración, recursos humanos y mercadotecnia	0.13
Comerciantes en establecimientos	5.4	Médicos generales y familiares	0.77	Auxiliares y asistentes dentales	0.035	Operadores de máquinas en la elaboración de alimentos, aceites	0.068	Coordinadores y jefes de área en museos, cines, deportivos y servicios culturales	0.12
Encargados y supervisores de ventas de productos y de servicios	0.54	Abogados	0.75	Auxiliares y técnicos en veterinaria, pesca y forestación	0.035	Ensambladores y montadores de partes eléctricas y electrónicas	0.051	Directores y gerentes en construcción, reparación y mantenimiento	0.099
Agentes y representantes de ventas y consignatarios	0.54	Electricistas y linieros	0.66	Técnicos y asistentes farmacéuticos	0.034	Choferes en casas particulares	0.11	Coordinadores y jefes de área en servicios de transporte	0.099
Vendedores por catálogo	0.5	Profesores de enseñanza preescolar	0.59	Fotógrafos	0.029	Operadores de máquinas que cortan, perforan, doblan, troquelan, sueldan	0.095	Directores y gerentes en producción manufacturera	0.089
Trabajadores en el alquiler de bienes muebles (loza, películas, video)	0.43	Auxiliares en contabilidad, economía, finanzas y agentes de bolsa	0.46	Instructores en idiomas extranjeros	0.028	Operadores de máquinas para la elaboración y ensamble	0.049	Coordinadores y jefes de área en centros de enseñanza y capacitación	0.071
Choferes vendedores	0.21	Psicólogos	0.38	Auxiliares y técnicos en	0.028	Operadores de máquinas pulidoras,	0.044	Coordinadores y jefes de área en informática	0.07

				pedagogía y en educación		galvanizadoras y recubridoras de metal			
Anaquejeros, acomodadores y seleccionadores de mercancías	0.16	Mecánicos en mantenimiento y reparación de maquinaria	0.38	Técnicos de prótesis médicas y dentales	0.028	Operadores de máquinas para la elaboración de productos de madera	0.037	Coordinadores y jefes de área en servicios legales, jueces calificadores y fiscales	0.063
Agentes de seguros y servicios financieros (ejecutivos de cuenta)	0.15	Profesores universitarios y de enseñanza superior	0.36	Auxiliares y técnicos mineros, metalúrgicos y petroleros	0.025	Supervisores de conductores de transporte y de maquinaria móvil	0.026	Directores y gerentes en servicios contables, financieros, banca y seguros	0.061
Demostradores y promotores	0.09	Médicos especialistas	0.36	Instructores y capacitadores en oficios y para el trabajo	0.023	Operadores de máquinas para la elaboración de productos	0.026	Coordinadores y jefes de área en generación y provisión de energía eléctrica y agua	0.056
Agentes de bienes raíces	0.086	Profesores de preparatoria y equivalentes	0.36	Periodistas y redactores	0.021	Operadores de máquinas y equipos para la extracción y beneficio en minas	0.025	Presidentes y directores generales en instituciones y empresas privadas	0.054
Trabajadores en el alquiler inmobiliario (casas, terrenos, etc.)	0.015	Desarrolladores y analistas de software y multimedia	0.32	Auxiliares hospitalarios y de medicina	0.02	Operadores de máquinas en la elaboración de celulosa, papel	0.015	Directores y gerentes en servicios de transporte	0.049
Trabajadores en la elaboración de pan, tortilla y repostería, y otros productos	2.39	Contadores y auditores	0.32	Entrenadores deportivos y directores técnicos	0.02	Operadores de máquinas en el tratamiento del cuerpo, piel y elaboración	0.014	Presidentes y autoridades municipales	0.046
Albañiles, mamposteros y afines	2.35	Enfermeras (Técnicas)	0.27	Curanderos, hierberos y hueseros	0.02	Operadores de máquinas en la elaboración de productos	0.013	Otros directores, funcionarios, gerentes, coordinadores	0.028

Sastres y modistos, costureras y confeccionadores de prendas de vestir	1.76	Técnicos en la instalación y reparación de redes, equipos y en sistema	0.23	Asesores y analistas en finanzas	0.015	Otros operadores de instalaciones y maquinaria fija industrial	0.011	Directores y gerentes en producción minera, petrolera y gas	0.025
Trabajadores en la elaboración de productos de carne, pescados y sus...	1.08	Músicos	0.22	Farmacólogos	0.015	Operadores de máquinas en la elaboración de bebidas alcohólicas	0.011	Coordinadores y jefes en área en servicios de vigilancia y seguridad	0.025
Herreros, balconeros, aluminadores y forjadores	0.73	Dibujantes y diseñadores artísticos, ilustradores y grabadores	0.21	Administradores de bases de datos y redes de computadora	0.015	Operadores de máquinas y equipos para la captación, bombeo y distribución	0.01	Coordinadores y jefes de área en servicio de salud, protección civil y medio ambiente	0.043
Bordadores y deshiladores	0.62	Arquitectos, planificadores urbanos y del transporte	0.18	Monjas y predicadores	0.014	Otros operadores de maquinaria industrial, ensambladores, choferes	0.025	Coordinadores y jefes de área en servicios contables, financieros, banca y seguros	0.016
Carpinteros, ebanistas y cepilladoras en la elaboración de productos de madera	0.56	Auxiliares en enfermería y paramédicos	0.16	Técnicos en instalación y reparación de equipos electrónicos, telecomunicaciones	0.14	Taqueros y preparadores de comida rápida, antojitos, pizza	1.6	Jueces de juzgado, directores y gerentes en servicios legales y procuración de justicia	0.015
Plomeros, fontaneros e instaladores de tubería	0.55	Instructores en estudios y capacitación artística	0.16	Auxiliares y técnicos en ciencias biológicas, químicas y del medio ambiente	0.12	Fonderos, vendedores y comerciantes de comida	1.22	Otros funcionarios, directores y jefes	0.043

Tabla 9.4 Sectores económicos de Apaxco

Sectores económicos de Apaxco

Trabajadores domésticos	4.43	Ensambladores y montadores de herramientas, maquinarias, equipos	0.39	Cerrajeros, afiladores y pulidores de herramientas	0.029	Supervisores de técnicos eléctricos, en electrónica y de equipos en...	0.048	Trabajadores en servicios funerarios	0.025
Trabajadores de Apoyo en la Construcción	3.08	Supervisores de operadores de maquinaria industrial	0.31	Techadores (colocadores de palapas)	0.023	Veterinarios y zootecnistas	0.047	Astrólogos, adivinadores y afines	0.018
Vendedores Ambulantes de Artículos Diversos	2.57	Conductores de maquinaria móvil para el movimiento de mercancías	0.27	Otros trabajadores artesanales	0.018	Técnicos en mantenimiento y reparación de vehículos de motor	0.046	Cocineros domésticos	0.016
Barrenderos y trabajadores de limpieza (excepto hoteles)	1.83	Operadores de máquinas en la elaboración de alimentos, aceites	0.27	Auxiliares en administración, mercadotecnia, comercialización	1.18	Instructores en idiomas extranjeros	0.042	Supervisores encargados de trabajadores en cuidados personales	0.016
Preparadores y vendedores ambulantes de alimentos	1.66	Chofers en casas particulares	0.21	Mecánicos en mantenimiento y reparación de vehículos de motor	1.07	Mecánicos en instalación, mantenimiento y reparación de equipos	0.037	Trabajadores de apoyo en actividades administrativas diversas	2.35
Trabajadores de apoyo en actividades agrícolas	1.09	Operadores de máquinas en la elaboración de vidrio y productos de vidrio	0.18	Profesores de enseñanza primaria	1.01	Locutores de radio, televisión y otros medios de comunicación	0.036	Encargados y trabajadores en control de almacén y bodega	1.48
Cargadores	0.92	Ensambladores y montadores de partes eléctricas y electrónicas	0.15	Desarrolladores y analistas de software y multimedia	0.94	Cantantes	0.034	Secretarias	0.86
Trabajadores de apoyo en la elaboración y mantenimiento	0.89	Operadores de máquinas para la elaboración de productos	0.15	Contadores y auditores	0.87	Auxiliares y técnicos en construcción y arquitectura	0.032	Cajeros, taquilleros y receptores de apuestas	0.72
Ayudantes en la preparación de alimentos	0.84	Operadores de máquinas para fabricar tejidos de punto, telas y alfombras	0.14	Abogados	0.78	Deportistas	0.031	Recepcionistas y trabajadores que brindan información (de forma personal)	0.63

Trabajadores de apoyo en la industria de alimentos, bebidas y productos de tabaco	0.71	Operadores de máquinas para la elaboración de productos químicos	0.12	Auxiliares en contabilidad, economía, finanzas y agentes de bolsas	0.72	Biólogos y especialistas en ciencias del mar y oceanógrafos	0.031	Trabajadores que brindan información por teléfono (centro de llamadas)	0.32
Recolectores de basura y material reciclable	0.43	Operadores de máquinas en la elaboración de bebidas alcohólicas	0.11	Profesores de enseñanza secundaria	0.68	Mecánicos en mantenimiento y reparación de instrumentos de...	0.03	Capturista de datos	0.32
Trabajadores de apoyo en la industria química, petroquímica y plásticos	0.41	Operadores de máquinas para la elaboración de productos a base de	0.1	Profesores de preparatoria y equivalentes	0.53	Auxiliares y asistentes dentales	0.036	Supervisores de secretarías, capturistas, cajeros y trabajadores	0.23
Trabajadores de apoyo en la industria textil y del zapato	0.28	Supervisores de conductores de transporte y maquinaria móvil	0.098	Electricistas y linieros	0.51	Controladores de tráfico de otros transportes (terrestre, ferroviario y marítimo)	0.036	Cobradores, pagadores y prestamistas	0.19
Trabajadores de apoyo en la industria de la madera, papel y cartón	0.26	Operadores de máquinas para la impresión y encuadernación	0.087	Profesores universitarios y de enseñanza superior	0.44	Investigadores y especialistas en matemáticas, estadística y actuaria	0.034	Trabajadores en archivo y correspondencia	0.17
Lavadores de vehículos en establecimientos	0.23	Operadores de máquinas en la elaboración de celulosa, papel	0.079	Enfermeras (técnicas)	0.39	Agrónomos	0.034	Supervisores de trabajadores que brindan y manejan información	0.12
Trabajadores de apoyo en la industria de la cerámica, vidrio y similares	0.2	Supervisores en procesos de ensamblado y montaje de maquinaria	0.079	Profesores en educación física y deporte	0.35	Auxiliares y técnicos en veterinaria, pesca y forestación	0.034	Telefonistas y telegrafistas	0.11
Ocupaciones no especificadas	0.17	Operadores de máquinas de lavado, blanqueo,	0.069	Músicos	0.34	Sacerdotes, pastores y otros teólogos	0.029	Guías de turismo en museos, casinos, parques,	0.05

		teñido, estampado, afelpado						cines y otros centros recreativos	
Trabajadores de apoyo a la realización de espectáculos, deportes y en parques	0.17	Conductores de maquinaria móvil para la construcción y minería	0.067	Profesores de enseñanza preescolar	0.33	Técnico en operaciones de equipos de radio	0.028	Checadores y revisores de transporte	0.059
Mozos de hotel y restaurante	0.13	Operadores de hornos metalúrgicos, coladores y laminadores	0.058	Administradores y especialistas en recursos humanos y sistemas de gestión	0.33	Ingenieros mecánicos	0.027	Encuestadores	0.023
Clasificadores de desechos	0.13	Operadores de máquinas en la elaboración de cemento, cal, yeso	0.055	Técnicos en instalación y reparación de equipos electrónicos, telecomunicaciones	0.31	Técnicos de prótesis médicas y dentales	0.026	Taquígrafos, mecanógrafos y similares	0.021
Trabajadores de apoyo en la industria eléctrica, electrónica y comunicaciones	0.12	Operadores de máquinas en la elaboración de productos	0.051	Ingenieros civiles y de la construcción	0.28	Auxiliares en servicios jurídicos	0.026	Trabajadores en agencias de viajes	0.017
Ayudantes de conductores de transporte terrestre con motor	0.15	Operadores de máquinas pulidoras, galvanizadoras y recubridoras de metal	0.04	Trabajadores en instalación y reparación de equipos electrónicos	0.26	Bailarines y coreógrafos	0.024	Coordinadores y jefes de área de administración, recursos humanos	0.55
Empacadores de objetos y mercancías	0.12	Operadores de máquinas y equipos de hilar y bobinar fibras textiles naturales	0.048	Psicólogos	0.26	Auxiliares y técnicos en física, matemáticas, estadística y actuaría	0.22	Directores y gerentes de ventas, comercialización y alquiler	0.53
Otros trabajadores en actividades	0.092	Operadores de máquinas para el tratamiento de agua	0.036	Arquitectos, planificadores urbanos y del transporte	0.26	Árbitros y jueces deportivos	0.022	Directores y gerentes en administración,	0.25

elementales y de apoyo								recursos humanos y mercadotecnia	
Trabajadores de apoyo en plomería e instalación de tuberías	0.084	Operadores de máquinas y equipos para la extracción y beneficio en minas	0.017	Instructores y capacitadores en oficios para el trabajo	0.25	Investigadores y especialistas en sociología y desarrollo social	0.021	Directores y gerentes en producción manufacturera	0.18
Trabajadores de apoyo en actividades ganaderas	0.072	Conductores de transporte en vías férreas (tren, metro y tren ligero)	0.015	Técnicos en la instalación y reparación de redes, equipos y en sistema	0.25	Auxiliares y técnicos industriales y químicos	0.021	Presidentes y directores generales en instituciones y empresas privadas	0.14
Repartidores de mensajería	0.13	Operadores de máquinas para la elaboración de productos de madera	0.014	Médicos generales y familiares	0.25	Ingenieros electrónicos	0.02	Directores y gerentes en centros de enseñanza y capacitación	0.13
Lavaderos en establecimientos	0.11	Operadores de máquinas y equipos para la captación, bombeo y distribución	0.013	Auxiliares y técnicos en pedagogía y en educación	0.24	Dibujantes técnicos	0.02	Directores y gerentes de restaurantes y hoteles	0.12
Lavaderos y planchadores domésticos	0.13	Otros operadores de maquinaria industrial, ensambladores, choferes	0.019	Mecánicos en mantenimiento y reparación de maquinaria	0.2	Técnicos dietistas y nutriólogos	0.019	Directores y gerentes en servicios contables, financieros, banca y seguros	0.11
Repartidores de mercancías	0.093	Albañiles, mamposteros y afines	2.69	Diseñadores gráficos	0.19	Traductores e intérpretes	0.09	Directores y productores artísticos de cine, teatro y afines	0.11
Supervisores en limpieza, amas de llaves, mayordomos y en estacionamientos	0.057	Sastres y modistos, costureras y confeccionadores de prendas de vestir	1.19	Médicos especialistas	0.19	Animadores y organizadores de eventos	0.019	Coordinadores y jefes de área en producción manufacturera	0.094
Conductores de vehículos de	0.03	Trabajadores en la elaboración de pan,	1.16	Auxiliares en enfermería y paramédicos	0.19	Diseñadores de moda y vestuario	0.018	Coordinadores y jefes de área en	0.086

transporte en bicicleta		tortilla, repostería y otros productos						construcción y reparación	
Ayudantes de jardineros	0.022	Trabajadores en la elaboración de productos de carne, pescado	0.69	Dibujantes y diseñadores artísticos, ilustradores y grabadores	0.18	Ingenieros en minas, metalurgia y petróleo	0.018	Directores y gerentes en construcción, reparación y mantenimiento	0.073
Cuidadores y acomodadores de autos en estacionamientos	0.045	Herreros, balconeros, aluminadores y forjadores	0.6	Auxiliares en ciencias sociales y humanistas	0.18	Técnicos en medicina alternativa	0.017	Coordinadores y jefes de área en servicios contables, financieros, banca y seguros	0.068
Recamaristas y camaristas	0.02	Hojalateros, chaperos, latoneros, cobreros y pintores de metales	0.44	Químicos	0.16	Otras ocupaciones de mecánicos y técnicos en el mantenimiento y reparación de equipo	0.017	Directores y gerentes en informática	0.06
Limpiadores de calzado	0.017	Carpintero, ebanistas y cepilladores en la elaboración de productos de madera	0.42	Especialistas y consultores en mercadotecnia y publicidad	0.15	Investigadores y especialistas en ciencias políticas y administración pública	0.016	Coordinadores y jefes de área en servicios legales, jueces calificadores y fiscales	0.059
Trabajadores de apoyo que realizan actividades agrícolas y ganaderas	0.032	Plomeros, fontaneros e instaladores de tubería	0.36	Fotógrafos	0.14	Fumigadores y controladores de plagas	0.016	Coordinadores y jefes de área en producción minera, petrolera y gas	0.047
Trabajadores de apoyo en la minería	0.019	Soldadores y oxicortadores	0.29	Pedagogos, orientadores educativos y otros especialistas en educación	0.14	Otros especialistas no clasificados anteriormente	0.016	Coordinadores y jefes de área en servicios de transporte	0.043
Vendedores ambulantes de periódicos y lotería	0.015	Supervisores de trabajadores en la extracción, albañiles y en acabados	0.26	Técnicos eléctricos	0.14	Controladores de tráfico aéreo	0.014	Coordinadores y jefes de área de ventas, comercialización y alquiler	0.036

Otros trabajadores en actividades elementales y de apoyo	0.0055	Bordadores y deshiladores	0.26	Técnicos en aparatos de diagnóstico, tratamiento médico, podólogos	0.12	Otros profesionistas y técnicos	0.051	Coordinadores y jefes de área en informática	0.033
Empleados de ventas, despachadores y dependientes en comercios	7.36	Impresores, linotipistas, fotograbadores y encuadernadores	0.26	Trabajadores en reparación de equipos electromecánicos	0.12	Vigilantes y guardias en establecimientos	1.93	Coordinadores y jefes de área en centros de enseñanza y capacitación	0.027
Comerciantes en establecimientos	5.94	Pintores de brocha gorda	0.24	Asesores y analistas en finanzas	11	Taqueros y preparadores de comida rápida, antojitos, pizzas	1.73	Directores y gerentes en servicios funerarios y otros servicios	0.022
Vendedores por catálogos	0.78	Trabajadores en la elaboración de productos a base de azúcar, chocolate	0.2	Entrenadores deportivos y directores técnicos	0.11	Meseros	0.87	Coordinadores y jefes de área en comunicación y telecomunicaciones	0.022
Agentes y representantes de ventas y consignatarios	0.46	Trabajadores en la elaboración y reparación de productos de hule	0.2	Auxiliares hospitalarios y de medicina	0.1	Policías y agentes de tránsito	0.85	Directores y gerentes de museos, cines y otros establecimientos deportivos y culturales	0.021
Agentes de seguros y servicios financieros (ejecutivos de cuenta)	0.42	Alfareros y trabajadores ceramistas	0.19	Oficiales del ministerio público y detectives	0.1	Fonderos, vendedores y comerciantes de comida	0.75	Coordinadores y jefes de área de centros de desarrollo tecnológico	0.032
Encargados y supervisores de ventas de productos y de servicios	0.35	Tapiceros	0.18	Técnicos en la instalación, reparación y mantenimiento de equipos	0.099	Peluqueros, barberos, estilistas y peinadores	0.69	Coordinadores y jefes de área en servicios de vigilancia y seguridad	0.031
Choferes vendedores	0.26	Yeseros, escayolistas y otros	0.13	Técnico en mantenimiento y	0.096	Cocineros	0.52	Coordinadores y jefes de área en servicios de salud,	0.019

		recubridores de techos y paredes		reparación de maquinaria				protección civil y medio ambiente	
Demostradores y promotores	0.26	Artesanos y trabajadores en la elaboración de productos de papel	0.11	Periodistas y redactores	0.086	Maquillistas, manicuristas, pedicuristas y tatuadores	0.41	Coordinadores y jefes de área en actividades artísticas, de cine, teatro y afines	0.018
Anaquejeros, acomodadores y seleccionadores de mercancía	0.19	Trabajadores en la elaboración de bebidas alcohólicas y no alcohólicas	0.094	Tramitadores aduanales	0.085	Cuidadores de niños, personas con discapacidad y ancianos en casas	0.31	Coordinadores y jefes de área en servicios funerarios y otros servicios	0.018
Vendedores por teléfono	0.18	Instaladores de material aislante, de impermeabilización, vidrio y otros	0.086	Ingenieros industriales	0.083	Supervisores en la preparación y servicio de alimentos y bebidas	0.26	Coordinadores y jefes de área de restaurantes y hoteles	0.016
Trabajadores en el alquiler de bienes muebles (loza, películas, video juegos, etc.)	0.15	Artesanos y confeccionadores de productos textiles	0.074	Técnicos de laboratorios médicos	0.078	Jardineros en establecimientos	0.25	Directores de organizaciones agrarias	0.011
Otros comerciantes, empleados en ventas y agentes en ventas en establecimientos	0.13	Zapateros artesanales	0.069	Auxiliares y técnicos en ciencias biológicas, químicas y del medio ambiente	0.077	Jardineros en casas particulares	0.17	Otros funcionarios, directores y jefes	0.022
Agentes de bienes raíces	0.093	Trabajadores en la elaboración de productos a base de frutas y verduras	0.068	Auxiliares y técnicos de ingeniería de audio, sonido e iluminación	0.072	Entrenadores de animales y ocupaciones relacionadas con el...	0.12	Trabajadores en el cultivo de maíz y/o frijol	1.14
Edecanes	0.028	Trabajadores en la elaboración de sustancias y compuestos químicos	0.06	Técnicos en seguridad en el trabajo e higiene	0.071	Supervisores en servicios de protección y vigilancia	0.12	Trabajadores en el cultivo de flores	0.41

Agentes de bienes raíces	0.093	Instaladores de pisos, azulejos, mosaicos y baldosas	0.059	Instructores en y capacitación comercial y administrativa	0.062	Trabajadores de la fuerza armada terrestre	0.085	Trabajadores que combinan actividades agrícolas con ganaderas	0.29
Conductores de autobuses, camiones, taxis y automóviles	2.7	Moldeadores, torneros y troqueladores	0.051	Diseñadores industriales	0.059	Cuidadores de niños, personas con discapacidad y ancianos en otros lugares	0.069	Trabajadores en el cultivo de hortalizas y verduras	0.23
Conductores de camiones, camionetas y automóviles de carga	2.5	Montadores de estructuras metálicas	0.049	Pintores	0.059	Bañeros y masajistas	0.06	Trabajadores en la cría de caprinos y ovinos	0.083
Conductores de motocicleta	0.79	Otros trabajadores artesanales, no clasificados anteriormente	0.047	Supervisores e inspectores educativos	0.059	Vigilantes y porteros en casas particulares	0.046	Trabajadores en la cría de ganado bovino	0.061
Operadores de máquinas para la elaboración y ensamble	0.68	Trabajadores en la elaboración de productos de cemento, cal, yeso, azulejo	0.046	Ingenieros eléctricos	0.056	Bomberos	0.038	Trabajadores en la cría de equinos	0.05
Operadores de máquinas de costura, bordado y de corte para confección	0.55	Tejedores de fibras	0.033	Auxiliares técnicos y topógrafos, hidrología y geología	0.054	Trabajadores de la fuerza armada marítima	0.027	Trabajadores en la cría avícola	0.039
Operadores de máquinas que cortan, perforan, doblan, troquelan, sueldan	0.42	Trabajadores en la elaboración de productos lácteos	0.03	Auxiliares técnicos y equipos de grabación y reproducción de video	0.053	Cantineros	0.037	Trabajadores en el cultivo de frutales	0.031
Otros trabajadores en actividades agrícolas, ganaderas,	0.0083								

forestales, caza y pesca	
--------------------------	--

Tabla 9.5 Sectores económicos de Atotonilco

Sectores económicos de Atotonilco										
Trabajadores de apoyo en actividades agrícolas	7.27	Plomeros, fontaneros e instaladores de tubería	0.55	Técnicos de laboratorios médicos	0.11	Ingenieros eléctricos	0.01	Cuidadores de niños, personas con discapacidad y ancianos en casas	0.53	
Trabajadores de apoyo en la construcción	4.07	Soldadores y oxicortadores	0.33	Administradores y especialistas en recursos humanos y sistemas de gestión	0.11	Auxiliares en servicios jurídicos	0.01	Vigilantes y guardias en establecimientos	0.47	
Trabajadores domésticos	3.61	Alfareros y trabajadores ceramistas	0.31	Veterinarios y zootecnistas	0.1	Otros profesionistas y técnicos	0.12	Peluqueros, barberos, estilistas y peinadores	0.42	
Preparadores y vendedores ambulantes de alimentos	2.19	Hojalateros, chaperos, latoneros, cobreros y pintores de metales	0.3	Trabajadores en reparación de equipos electromecánicos	0.096	Trabajadores en el cultivo de maíz o frijol	3.55	Cocineros	0.37	
Vendedores ambulantes de artículos diversos	2.14	Tejedores de fibras	0.23	Auxiliares técnicos en construcción y arquitectura	0.092	Trabajadores en la cría de caprinos y ovinos	1.01	Jardineros en casas particulares	0.3	
Barrenderos y trabajadores de limpieza (excepto hoteles)	1.53	Trabajadores en la elaboración de bebidas alcohólicas y no alcohólicas	0.21	Ingenieros mecánicos	0.09	Trabajadores en la cría de ganado bovino	1	Policías y agentes de tránsito	0.29	
Trabajadores de apoyo en la elaboración, reparación y mantenimiento	1.15	Trabajadores en la elaboración de productos de cemento, cal, yeso, azulejo	0.2	Dibujantes técnicos	0.088	Trabajadores en otros cultivos agrícolas	0.45	Jardineros en establecimientos	0.26	

Ayudantes en la preparación de alimentos	1	Pintores de brocha gorda	0.19	Escultores	0.087	Trabajadores que combinan actividades agrícolas con ganaderas	0.34	Maquillistas, manicuristas, y pedicuristas y tatuadores	0.25
Trabajadores de apoyo en la industria de alimentos, bebidas y productos de tabaco	0.96	Supervisores de trabajadores en la extracción, albañiles y en acabados	0.19	Fumigadores y controladores de plagas	0.08	Trabajadores en el cultivo de hortalizas y verduras	0.31	Bañeros y masajistas	0.11
Trabajadores de apoyo en actividades ganaderas	0.88	Trabajadores en la elaboración de productos a base de azúcar, chocolate	0.17	Ingenieros en comunicaciones y telecomunicaciones	0.08	Trabajadores en el cultivo de frutales	0.26	Cantineros	0.091
Trabajadores de apoyo en la industria textil y del zapato	0.77	Trabajadores en la elaboración y reparación de hule	0.13	Especialistas y consultores en mercadotecnia, publicidad	0.077	Trabajadores en la cría de porcinos	0.18	Trabajadores en servicios funerarios	0.071
Cargadores	0.6	Artesanos de productos de bejuco, vara, palma, carrizo y mimbre	0.13	Diseñadores gráficos	0.077	Trabajadores en la cría avícola	0.14	Supervisores en la preparación y servicio de alimentos y bebidas	0.06
Lavadores de vehículos en establecimientos	0.28	Cerrajeros, afiladores y pulidores de herramientas	0.12	Técnicos en mantenimiento y reparación de maquinaria	0.076	Trabajadores en viveros e invernaderos	0.12	Entrenadores de animales y ocupaciones relacionadas	0.054
Lavaderos en establecimientos	0.23	Zapateros artesanales	0.1	Otros especialistas no clasificados anteriormente	0.076	Trabajadores en actividades de acuacultura	0.12	Trabajadores de la fuerza armada terrestre	0.045
Trabajadores de apoyo en actividades silvícolas y forestales	0.23	Supervisores de artesanos y trabajadores en la elaboración de	0.096	Técnicos en aparatos de diagnóstico, tratamiento médico, podólogos	0.075	Cortadores de leña	0.073	Otros trabajadores en servicios personales y vigilancia	0.019
Repartidores de mensajería (a pie y en bicicleta) y mandados	0.22	Artesanos y confeccionadores de productos textiles	0.086	Ingenieros electrónicos	0.072	Taladores, trocadores, cortadores de	0.065	Cuidadores de niños, personas con discapacidad y ancianos	0.015

						árboles y similares			
Trabajadores de apoyo en la industria petroquímica, química y plásticos	0.17	Trabajadores en la elaboración de productos a base de frutas y verduras	0.085	Ingenieros químicos	0.07	Trabajadores en actividades de beneficio de productos pecuarios	0.054	Trabajadores de apoyo en actividades administrativas diversas	1.3
Trabajadores de apoyo en la industria eléctrica, electrónica y comunicaciones	0.17	Instaladores de material aislante, de impermeabilización, vidrio y otros	0.076	Técnicos eléctricos	0.066	Operadores de maquinaria agropecuaria y forestal	0.05	Recepcionistas y trabajadores que brindan información (de forma personal)	0.47
Trabajadores de apoyo en la industria de la cerámica, vidrio y similares	0.17	Trabajadores en la extracción de cantera, arcilla, arena, piedra y grava	0.065	Trabajadores en instalación y reparación de equipos electrónicos	0.062	Trabajadores en la cría de equinos	0.044	Encargados y trabajadores en control de almacén y bodega	0.44
Trabajadores en la industria de la madera, papel y cartón	0.16	Impresores, linotipistas, fotograbadores y encuadernadores	0.061	Diseñadores de moda y vestuario	0.061	Trabajadores en actividades de beneficio de productos agrícolas	0.028	Cajeros, taquilleros y receptores de apuestas	0.43
Recamaristas y camaristas	0.16	Trabajadores en la elaboración de productos lácteos	0.05	Decoradores de interiores, jardines y diversos materiales (tazas, llaveros)	0.056	Trabajadores en el cultivo de flores	0.025	Secretarias	0.43
Planchadores y tintoreros en establecimientos	0.14	Supervisores de trabajadores en la elaboración y procesamiento	0.048	Ingenieros civiles y de la construcción	0.052	Trabajadores en la apicultura	0.025	Cobradores, pagadores y prestamistas	0.35
Clasificadores de desechos	0.14	Artesanos y trabajadores en la elaboración de productos de papel	0.047	Pedagogos, orientadores educativos y otros especialistas	0.051	Conductores de autobuses, camiones, camionetas, taxis y automóviles	1.48	Trabajadores en archivo y correspondencia	0.25
Supervisores en limpieza, amas de llaves, mayordomos y en estacionamientos	0.09	Trabajadores en la elaboración de sustancias y compuestos químicos	0.036	Payasos, mimos y cirqueros	0.051	Conductores de camiones, camionetas y automóviles de carga	1.47	Supervisores de secretarias, capturistas, cajeros y trabajadores	0.15

Recolectores de basura y material reciclable	0.085	Otros trabajadores artesanales, no clasificados anteriormente	0.032	Enfermeras especialistas	0.047	Operadores de máquinas de costura, bordado y de corte para confección	1.31	Capturista de datos	0.11
Trabajadores de apoyo que realizan actividades agrícolas y ganaderas	0.074	Pintores y barnizadores de madera	0.03	Ingenieros industriales	0.046	Conductores de motocicleta	0.52	Trabajadores que brindan información por teléfono (centro de llamadas)	0.059
Vendedores ambulantes de periódicos y lotería	0.068	Trabajadores del vidrio y similares	0.027	Supervisores de mecánicos y técnicos en mantenimiento y reparación de equipo	0.046	Supervisores de operadores de maquinaria industrial	0.45	Telefonistas y telegrafistas	0.056
Cuidadores y acomodadores de autos en estacionamientos	0.061	Patronistas de productos textiles	0.026	Auxiliares y técnicos industriales y químicos	0.045	Operadores de máquinas y equipos de hilar y bobinar fibras textiles naturales	0.4	Trabajadores en agencia de viajes	0.015
Ayudantes de jardineros	0.055	Instaladores de pisos, azulejos, mosaicos y baldosas	0.018	Animadores y organizadores de eventos	0.041	Operadores de máquinas para fabricar tejidos de punto, telas y alfombras	0.35	Otros trabajadores auxiliares en actividades administrativas	0.02
Empacadores de objetos y mercancías	0.05	Moldeadores, torneros y troqueladores	0.025	Especialistas en trabajo social	0.04	Conductores de maquinaria móvil para el movimiento de mercancías	0.27	Directores y gerentes de restaurantes y hoteles	0.22
Limpiadores de calzado	0.049	Tapiceros	0.025	Supervisores de técnicos eléctricos, en electrónica y de equipos	0.039	Conductores de maquinaria móvil para la construcción y minería	0.17	Coordinadores y jefes de área en administración, recursos humanos	0.22
Ayudantes de conductores de transporte terrestre con motor	0.044	Otros trabajadores artesanales	0.013	Profesores en educación física y deporte	0.039	Operadores de máquinas de lavado, blanqueo, teñido,	0.13	Directores y gerentes en centros de enseñanza y capacitación	0.19

						estampado, afelpado			
Recolectores de leña y acarreadores de agua	0.032	Joyeros, orfebres, plateros y pulidores de metal	0.011	Supervisores e inspectores educativos	0.037	Ensambladores y montadores de herramientas maquinaria, equipos	0.11	Coordinadores y jefes de área en construcción, reparación	0.17
Otros trabajadores en actividades elementales y de apoyo	0.027	Profesores de enseñanza primaria	1.41	Técnicos en seguridad en el trabajo e higiene	0.036	Choferes en casas particulares	0.11	Directores y gerentes de ventas, comercialización y alquiler	0.13
Mozos de hotel y restaurante	0.016	Auxiliares en administración, mercadotecnia, comercialización	1.01	Investigadores y especialistas en matemáticas, estadística y actuaría	0.036	Operadores de máquinas que cortan, perforan, doblan, troquelan, sueldan	0.095	Directores y gerentes en administración, recursos humanos y mercadotecnia	0.13
Empleados de ventas, despachadores y dependientes en comercios	6.01	Profesores de enseñanza secundaria	0.98	Auxiliares y asistentes dentales	0.035	Otros operadores de maquinaria industrial, ensambladores y conductores	0.086	Coordinadores y jefes de área en museos, cines, deportivos y servicios culturales	0.12
Comerciantes en establecimientos	5.4	Mecánicos en mantenimiento y reparación de vehículos de motor	0.949	Auxiliares y técnicos en veterinaria, pesca y forestación	0.035	Operadores de máquinas en la elaboración de alimentos, aceites	0.068	Directores y gerentes en construcción, reparación y mantenimiento	0.099
Encargados y supervisores de ventas de productos y servicios	0.57	Médicos generales y familiares	0.77	Técnicos asistentes farmacéuticos	0.034	Ensambladores y montadores de partes eléctricas y electrónicas	0.051	Coordinadores y jefes de área en servicios de transporte	0.099
Agentes representantes de ventas y consignatarios	0.54	Abogados	0.75	Fotógrafos	0.029	Operadores de máquinas para la elaboración de ensamble	0.049	Directores y gerentes en producción manufacturera	0.089
Vendedores por catálogo	0.5	Electricistas y linieros	0.66	Instructores en idiomas extranjeros	0.028	Operadores de máquinas pulidoras, galvanizadoras y	0.044	Coordinadores y jefes de área en centros de enseñanza y capacitación	0.071

						recubridoras de metal			
Trabajadores en el alquiler de bienes muebles (loza, películas)	0.43	Profesores de enseñanza preescolar	0.59	Auxiliares y técnicos en pedagogía y en educación	0.028	Operadores de máquinas para la elaboración de productos de madera	0.037	Coordinadores y jefes de área en informática	0.07
Choferes vendedores	0.21	Auxiliares en contabilidad, economía, finanzas y agentes de bolsa	0.46	Técnicos de prótesis médicas y dentales	0.028	Supervisores de conductores de transporte y de maquinaria móvil	0.026	Coordinadores y jefes de área en servicios legales, jueces calificadores y fiscales	0.063
Anaquejeros, acomodadores y seleccionadores de mercancías	0.16	Psicólogos	0.38	Auxiliares y técnicos mineros, metalúrgicos y petroleros	0.025	Operadores de máquinas para la elaboración de productos	0.026	Directores y gerentes en servicios contables, financieros, banca y seguros	0.061
Agentes de seguros y servicios financieros (ejecutivos de cuenta)	0.15	Mecánicos en mantenimiento y reparación de maquinaria	0.38	Instructores y capacitadores en oficios y para el trabajo	0.023	Operadores de máquinas y equipos para la extracción y beneficio de minas	0.025	Coordinadores y jefes de áreas en generación y provisión de energía eléctrica y agua	0.056
Demostradores y promotores	0.09	Profesores universitarios y de enseñanza superior	0.36	Periodistas y redactores	0.021	Operadores de máquinas en la elaboración de celulosa, papel	0.015	Presidentes y directores generales en instituciones y empresas privadas	0.054
Agentes de bienes raíces	0.086	Médicos especialistas	0.36	Auxiliares hospitalarios y de medicina	0.02	Operadores de máquinas en el tratamiento del cuero, piel	0.014	Directores y gerentes en servicios de transporte	0.049
Trabajadores en el alquiler inmobiliario (casa, terrenos, etc.)	0.015	Profesores de preparatoria y equivalentes	0.36	Entrenadores y directores técnicos	0.02	Operadores de máquinas en la elaboración de productos	0.013	Presidentes y autoridades municipales	0.046
Otros comerciantes, empleados en ventas y agentes de ventas	0.01	Desarrolladores y analistas de software y multimedia	0.32	Curanderos, hierberos y hueseros	0.02	Otros operadores de instalaciones y maquinaria fija industrial	0.011	Otros directores, funcionarios, gerentes, coordinadores y jefes	0.028

Trabajadores en la elaboración de pan, tortilla, repostería y otros productos	2.39	Contadores y auditores	0.32	Asesores y analistas en finanzas	0.015	Operadores de máquinas en la elaboración de bebidas alcohólicas	0.011	Directores y gerentes en producción minera, petrolera y gas	0.025
Albañiles, mamposteros y afines	2.35	Enfermeras (técnicas)	0.27	Farmacólogos	0.015	Operadores de máquinas y equipos para la captación, bombeo y distribución	0.01	Coordinadores y jefes de área en servicios de vigilancia y seguridad	0.025
Sastres y modistos, costureras y confeccionadores de prendas de vestir	1.76	Técnicos en instalación y reparación de equipos electrónicos, telecomunicaciones	0.14	Administradores de bases de datos y redes de computadora	0.015	Otros operadores de maquinaria industrial, ensambladores, choferes	0.025	Coordinadores y jefes de área en servicios de salud, protección civil y medio ambiente	0.043
Trabajadores en la elaboración de productos de carne, pescado 0	1.08	Auxiliares en ciencias sociales y humanistas	0.12	Monjas y predicadores	0.014	Taqueros y preparadores de comida rápida, antojitos, pizza	1.6	Coordinadores y jefes de área en servicios contables, financieros, banca y seguros	0.016
Herreros, balconeros, aluminadores y forjadores	0.73	Auxiliares y técnicos en ciencias biológicas, químicas y del medio ambiente	0.12	Traductores e intérpretes	0.012	Fonderos, vendedores y comerciantes de comida	1.22	Jueces de juzgado, directores y gerentes en servicios legales y procuración de justicia	0.015
Bordadores y deshiladores	0.62	Valuadores, subastadores y rematadores	0.11	Ingenieros en minas, metalurgia y petróleo	0.011	Meseros	0.96	Otros funcionarios, directores y jefes	0.043
Carpinteros, ebanistas y cepilladores en la elaboración de productos de madera	0.56								