

## CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN EL VALLE DEL MEZQUITAL Y SU ASOCIACIÓN CON EL CÁNCER, ESTUDIO DE CASO, MÉXICO

Joel Rodríguez-Zúñiga<sup>1\*</sup>, Ollín Tonatiuh Rodríguez-Bravo<sup>2</sup>, Horacio Bautista-Santos<sup>1</sup>,  
Juan Sebastián Rodríguez-Bravo<sup>3</sup>, Salvador Sampayo-Maldonado<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca. Desviación Lindero Tametate S/N Colonia La Morita, Tantoyuca, Veracruz, México, 92101.

<sup>2</sup>Instituto Politécnico Nacional/Dirección de Prospectiva e Inteligencia Tecnológica. Av. Wlifrído Massieu S/N Zacatenco, Alcaldía Gustavo A. Madero. Cd de México, México. 07700.

<sup>3</sup>Colegio de Postgraduados. Carretera Federal México-Texcoco, Montecillo, Texcoco de Mora, Edo de México, México, 56264. (juan\_seb.ing@hotmail.com). <https://orcid.org/0000-0001-8525-9510>

<sup>4</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacal. Avenida de los Barrios Número 1, Los Reyes Ixtacla, Estado de Mexico, Mexico, 54090.

\*Autor de correspondencia: rodrizujoel@gmail.com.

### RESUMEN

Los pobladores de la zona agrícola del Valle del Mezquital, son afectados ambientalmente por la presencia de aguas residuales y fuentes fijas de contaminación (FFC), generadoras de gases efecto invernadero (GEI). Es necesario evidenciar y tomar medidas preventivas, debido a diversas enfermedades crónicas degenerativas como el cáncer, causadas por dichos factores. El objetivo de este trabajo, fue analizar la asociación y percepción que se tiene de las aguas residuales y de FFC, como contaminantes que causan diversos tipos de cáncer. En la región de estudio, dos comunidades con diferencias en cuanto a un entorno propicio, presencia o cercanía de aguas residuales y de FFC, fueron comparadas: San Bartolo Doxey (SBD) y Santa María Macuá (SMM). En estos poblados, se analizaron los usos del suelo y de la ubicación geográfica de FFC. También se diseñó, validó y aplicó una encuesta con un cuestionario estructurado sobre variables sociales, ambientales y tipos de cáncer acontecido en las familias. En SBD, 83.2% del suelo agrícola, es regado por aguas residuales (SMM ninguno) y se ubica más cerca de las fuentes contaminantes (9.3 km aprox.) que SMM (22.0 km aprox.). SBD en comparación con SMM, tiene excedente de 72%, 16%, 79% y 90% de los tipos de cáncer cérvico uterino, mama, pulmón y otros respectivamente; asimismo, en las últimas cuatro generaciones, tiene un excedente de 63% más de tipos de cáncer en sus diferentes formas. Hay cierta relación y percepción sobre la contaminación por aguas residuales y del aire, con la incidencia en el cáncer. Los más comunes y que hay antecedentes que se relacionan con la contaminación, son de pulmón y mama.

**Palabras clave:** aguas residuales, cáncer, contaminación ambiental, gases efecto invernadero.

### INTRODUCCIÓN

El Valle del Mezquital (VdM), es una de las diez regiones geográficas que conforman el estado de Hidalgo en México, se caracteriza por el desarrollo de la agricultura con base al uso de agua residual (Martínez, 2018). La contaminación de aire, suelo y agua, por aguas residuales y de la industria hasta la fecha, se agudizó a mediados de los años setenta, con las descargas de las aguas negras e industriales del Valle de México, de las construcciones de la

**Citation:** Rodríguez-Zúñiga J, Rodríguez-Bravo OT, Bautista-Santos H, Rodríguez-Bravo JS, Sampayo-Maldonado S. 2026. Contaminación ambiental en el Valle del Mezquital y su asociación con el cáncer, estudio de caso, México. Agricultura, Sociedad y Desarrollo <https://doi.org/10.22231/asyd.v23i2.1798>

**Editor in Chief:**  
Dr. Benito Ramírez Valverde

Received: July 21, 2025.  
Approved: September 2, 2025.

**Estimated publication date:**  
March 25, 2026.

This work is licensed  
under a Creative Commons  
Attribution-Non- Commercial  
4.0 International license.



refinería Miguel Hidalgo y de la central termoeléctrica (SEMARNAT, 2020). El parque industrial Tula-Tepeji, lo conforman los municipios de Atitalaquia, Mixquiahuala, Tula de Allende, Atotonilco de Tula, Tlaxcoapan, Tepeji del Río de Ocampo y Tlahuelilpan. Desde la década de los 60, se establecieron diversas industrias y en la actualidad, son de las más importantes en México. Entre ellas, la central termoeléctrica de ciclo combinado en Tula de Allende de la Comisión Federal de Electricidad, las cementeras Fortaleza, Cemex, Cruz Azul y Tolteca, la refinería Miguel Hidalgo de Petróleos Mexicanos (PEMEX) y la industria química de apoyo a refinados (Conagua, 2013; Martínez, 2018; Guerrero y López, 2020).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), ha catalogado a estas industrias, como las fuentes generadoras de los principales gases de efecto invernadero (GEI), cuyo aporte deriva el fenómeno del cambio climático. Los efectos secundarios del CC, afectan de forma directa o indirecta a la salud humano. Asimismo, en el estado de Hidalgo, se ha comprobado que algunos GEI, son detonantes de enfermedades cancerígenas (Cuadros 2017).

Los pobladores del VdM, adolecen diariamente los estragos de la contaminación de agua y atmosférica principalmente. Esta, se manifiesta a través de olores intensos y penetrantes, similares al azufre y al plástico quemado, ardor en ojos e irritación de vías respiratorias altas y la constante molestia en la población y de sus animales domésticos por la picadura del mosquito del género *Culex*, mismo que se reproduce mayormente, en los cuerpos las aguas negras. Por otro lado, a mediano y largo plazo, la contaminación hace sus estragos en enfermedades crónico degenerativas y en cáncer en sus diferentes formas. Las descargas de aguas residuales de las industrias arriba señaladas, más aquellas provenientes de la Zona Metropolitana del Valle de México, inundan los suelos agrícolas del VdM y contaminan los mantos freáticos (por bacterias coliformes, arsénico, fluoruros y plomo, en concentraciones que superan el límite máximo permisible) (Lesser *et al.* 2018).

En ese sentido, los estudios de comunidades con diversos grados de contaminación en la zona y su relación con el cáncer, en una línea de tiempo generacional (abuelos, padre, hijos y nietos) o décadas de contaminación, abonarán a evidenciar la magnitud del problema. La presente investigación, es la primera en estimar la relación del cáncer, con respecto a la contaminación por aguas residuales y del aire, en la cercanía del municipio de Tula. Ésta aportará, junto con otros estudios realizados en la región, para soportar políticas públicas que se traduzcan, por un lado, en acciones concretas para prevenir diversos tipos de cáncer en los pobladores del VdM y, por otro lado, acciones congruentes y paralelas al reciente decreto, por parte del Poder Ejecutivo Federal (2024), el cual declara zona de restauración ecológica, el área de influencia de la presa Endho. De este modo, este trabajo tuvo como objetivo, analizar la asociación y

percepción que se tiene de las aguas residuales y de FFC, como contaminantes que causan diversos tipos de cáncer. Lo anterior, bajo la hipótesis de que, la contaminación de suelo, agua y aire, provocada por las aguas residuales y generación de algunos GEI por FFC, tiene relación con la incidencia en diversos tipos de cáncer en la región de estudio.

### MARCO TEÓRICO

Según la OMS (2024a), el cáncer, es un término amplio utilizado para designar a un conjunto de enfermedades que, pueden originarse en casi cualquier órgano o tejido del cuerpo, cuando células anormales crecen de forma descontrolada. Las neoplasias más comunes son: mama, pulmón, colorrectal, próstata, estómago e hígado. Aunque existe una carga genética en su expresión, la contaminación del aire y del agua, procedente de vertederos industriales y la exposición a los pesticidas utilizados en la agricultura, están íntimamente relacionados con un riesgo mayor de padecer algunos tipos de cáncer (Cuadros, 2017; OMS, 2024b).

Se ha documentado que, las aguas residuales con desechos orgánicos e industriales, agroquímicos y metales, han contribuido a un proceso de acumulación de contaminantes en suelo y en aguas superficiales y mantos freáticos con potencial ecotóxico; asimismo, hay una alta relación de este tipo de aguas, con incidencia de cáncer de mama y afectación endócrina (Cajuste *et al.* 1991; Evangeleu *et al.* 2016; Du Plessis *et al.* 2023). Estudios de contaminación y su relación con el cáncer en la región, son los de Prieto *et al.* (2015), referente a concentración de metales por aguas residuales de Cd, Cr, Pb en sangre, orina, uñas y cabellos, y los de Martínez (2018), sobre la incidencia de cáncer y su vínculo con la contaminación de industrias cementeras; también de Guerrero y López (2020), relacionado a la probabilidad del incremento del número de caso de cáncer, por la alta concentración de gases de efecto invernadero, principalmente, por SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.

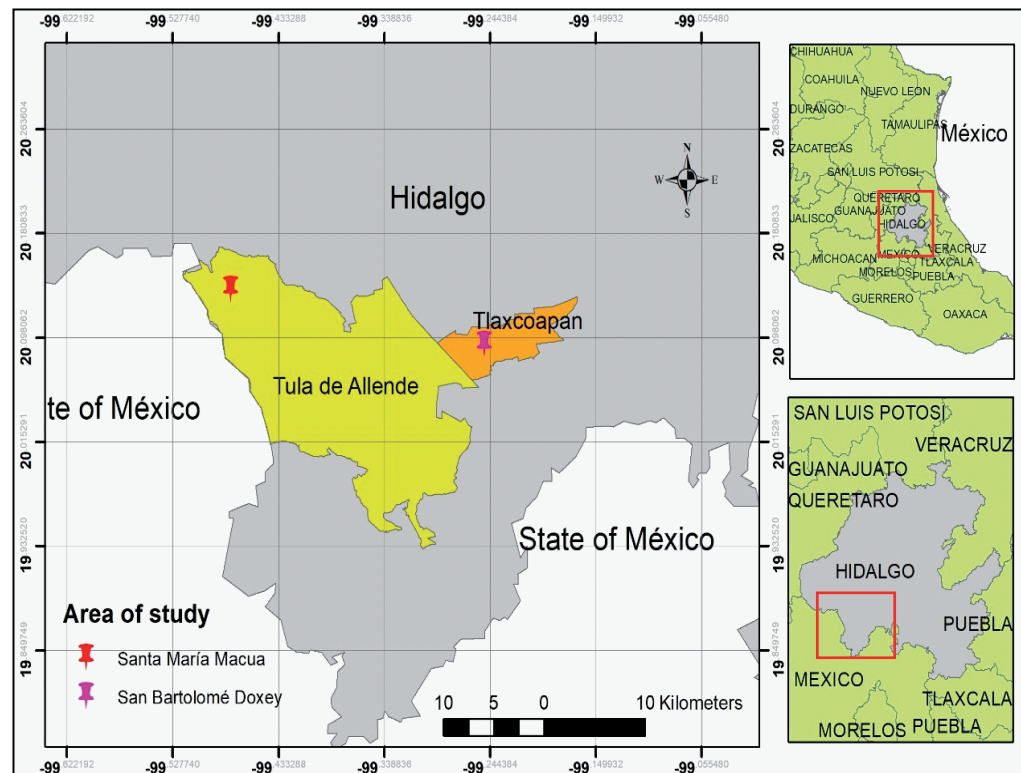
Respecto a la metodología utilizada para recopilar información sobre los tipos de cáncer que padecen o padecieron los familiares (cuatro generaciones) de los encuestados y la percepción de las comunidades sobre el grado de contaminación de su entorno, esta se realizó mediante un cuestionario previamente diseñado, para obtener información sobre el respecto. Como antecedentes de la metodología utilizada, por un lado, están los trabajos de: Rodríguez-Zúñiga *et al.* (2023a): transmisión del conocimiento herbolario y sus beneficios; Rodríguez-Zúñiga *et al.* (2023b), relacionado de la práctica de la partería y uso de plantas medicinales y Rodríguez *et al.* (2025), lactancia materna y medicina tradicional. Todos ellos se llevaron a cabo, en la comunidad mazahua otomí en los estados de Hidalgo y México. Asimismo, la mayoría de los encuestado (tercera generación), tenían en vida a sus padres (segunda generación) y sus abuelos (primera generación) y en caso contrario, conocimiento de las causas

de fallecimiento. En dichos estudios, se pudo construir curvas o funciones sobre el número de plantas medicinales conocidas, porcentaje de nacimientos por partera y periodos de lactancia materna respectivamente. Los tres trabajos de investigación, tomaron como variable indicadora, las cuatro generaciones. Por otro destacan las investigaciones de Estrada *et al.* (2016) y Rosas y García (2023), sobre la percepción de contaminación en la zona de estudio: el primero, sobre el impacto de vivir cerca de canales de agua residuales y el segundo, referente a la calidad ambiental por el uso de agua residual de productores agrícolas, ambos en el Valle del Mezquital, Hidalgo. En los dos trabajos, se logró obtener la apreciación de la comunidad de estar en riesgo su salud, por la cercanía a cuerpos de aguas residuales y producción agrícola de mala calidad. En ese sentido, la percepción, es considerada como deducciones e interpretaciones que los sujetos hacen de manera social y de esta manera, en un acercamiento más objetivo, de cómo las personas determinan su entorno natural (Fernández-Moreno, 2008).

## METODOLOGÍA

La investigación se realizó en la región del Valle del Mezquital (VdM), en el occidente del Estado de Hidalgo. El enfoque de la investigación, fue exploratorio, mediante la comparación de dos comunidades, con diferentes grados de contaminación de su entorno. Las comunidades fueron San Bartolomé Doxey (SBD) y Santa María Macua (SMM), en los municipios de Tlaxcoapan y Tula de Allende respectivamente (Figura 1). Las técnicas de investigación empleadas fueron: observación, encuesta estructurada y entrevistas. En función de los objetivos definidos, con la observación, se pudo identificar la infraestructura urbana (pavimentación de calles, descargas de drenaje en canales de riego), actividad económica (agricultura, sistemas de riego e industria) y medio ambiente que circunda a las comunidades de estudio (vegetación nativa y cuerpos de agua). La encuesta estructurada y entrevistas, permitió obtener datos sobre aspectos sociales, económicos y de salud.

La encuesta, a través de un cuestionario, se validó en campo o comunidades de estudio; se hicieron los ajustes necesarios y se aplicó en forma aleatoria en hogares a personas adultas (madre o padre) con hijos(as). Este, incluyó preguntas cerradas para los datos estadísticos y abiertas para información complementaria, para recabar información cuantitativa (edad, ingreso promedio mensual del jefe de familia, número de hijos etcétera) y cualitativa (ocupación, tipos de caso de cáncer registrados en la familia, percepción del grado de contaminación en general de su comunidad, tipo de agua con que riegan sus parcelas, etcétera). De acuerdo a los tipos de cáncer más comunes reportados por la OMS (2024a), en el cuestionario, se estructuró un conjunto de preguntas para recabar información sobre antecedentes familiares cercanos, que tienen o tuvieron dicha enfermedad con los apartados: para la persona entrevistada



Fuente: elaboración propia.

**Figura 1.** Ubicación de la zona de estudio en los Municipios de Tula de Allende y Tlaxcoapan, en el estado de Hidalgo, México.

(tercera generación: padre o madre), de su progenie (cuarta generación: hijos o hijas), de sus padres (segunda generación: abuelo materno y abuela materna) y de sus abuelos (primera generación: bisabuela materna, bisabuela paterna, bisabuelo materno y bisabuelo paterno). El trabajo de campo, fue realizado en los meses de noviembre-diciembre de 2024 y enero de 2025. La base de datos previamente creada en Microsoft Excel, fue analizada con el paquete informático IBM SPSS Statistics (V.25.0, edición de 64 bits), utilizando la técnica univariada (ANOVA) y la técnica multivariada (MANOVA). Lo anterior, a efecto de analizar la distribución normal de datos ( $p > 0.05$ ) y diferencias significativas entre ambas comunidades ( $p > 0.05$ ) (Infante y Zarate, 2012).

Para cada población, se aplicó una encuesta estructurada, mediante un muestreo aleatorio simple sin reemplazo a jefes(as) de familia, de acuerdo con el número total de hogares de la población de ambas comunidades, según último censo de población y vivienda del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (2020a). Para ello, se utilizó la fórmula de Infante y Zárate (2012) (Ecuación 1). El nivel de confianza fue 95% y un rango de error 5%. El total de cuestionarios aplicados, fueron de 122 para SBD y 146 para SMM,

lo que representó 188% y 241% más respectivamente de acuerdo a  $n$  calculada (SBD:  $n=65$ ; SMM:  $n=61$ ).

$$n = \frac{NZ_{\alpha/2}^2 pq}{(N-1)d^2 + Z_{\alpha/2}^2 pq} \quad (1)$$

donde  $n$ : tamaño de la muestra;  $N$ : tamaño de la población ( $N_1$  (Comunidad SMM = 647 hogares;  $N_2$  (Comunidad de SBD=1885 hogares);  $Z_{2\alpha/2}$ : valor de tablas de distribución  $Z$  ( $Z_{2\alpha/2}=2.6896$ );  $p$ : proporción de la población con una característica binomial,  $q=1-p$  ( $pq=0.25$ );  $d_2$ : error absoluto máximo deseado (fijado como una fracción de  $p$ ) (10%) ( $d_2=0.01$ ).

Establecidos los parámetros antes señalados, este trabajo de investigación, comprendió tres etapas:

1. Análisis sobre el uso del suelo y principales fuentes contaminantes fijas. A efecto de estudiar el entorno natural de los dos casos de estudio (tierras de uso agrícola de riego permanente con aguas residuales o de temporal, vegetación natural, fuentes de contaminación como cementeras o refinera), se utilizó el conjunto vectorial de la carta de uso de la tierra y vegetación serie VII de sus ejidos (año 2013), reclasificándose para cada caso en uso agrícola, asentamientos humanos y tipo de vegetación (2021). Asimismo, para cada comunidad en un radio de 32 km, se identificaron los puntos o fuentes fijos de contaminación (FFC) atmosférica y de cuerpos de aguas residuales más cercanas de la zona, de acuerdo al Gobierno del Estado de Hidalgo (2016). Para ello, se midió la distancia en línea recta entre los centros de las comunidades y de las FFC. La elaboración de mapas y análisis de datos, se realizó con el programa ArcGis® 9-ArcMap TM Versión 9.2.
2. Incidencia de cáncer generacional. Con el diseño de preguntas sobre casos de cáncer en cuatro generaciones en la familia de los encuestados (abuelos, padres, hijos y nietos), se construyeron dos curvas comparativas o funciones (% de casos de cáncer con respecto a generaciones) de las comunidades de San Bartolomé Doxey (SBD) ( $f(i)$ ) y de Santa María Macua (SMM) ( $f(g)$ ). Lo anterior, a fin de conocer el excedente o el grado de incidencia de tipos de cáncer en esas generaciones (Ecuación (2)).

$$\% \Delta_{dic} = \int_a^b (f(i) - f(g)) dx \quad (2)$$

donde  $\% \Delta_{dic}$ : % de diferencia de incidencias de cáncer;  $f(i)$ : función % de incidencia de cáncer, con respecto generaciones de la comunidad SBD;  $f(g)$ : función % de incidencia de cáncer, con respecto generaciones de la comunidad SMM.

3. Depuración de la información complementaria y percepción. Se realizó un tamiz de datos, a efecto de obtener información relevante, tales como: conocer el grado de pobreza, las prácticas agrícolas alimenticias de traspatio y de percepción (sobre contaminación de la comunidad, cáncer más frecuente y relación cáncer-contaminación). El conjunto de variables, se analizó estadísticamente para determinar diferencias significativas entre ambas comunidades. La información abonó a la discusión de resultados, principalmente, un mayor acercamiento a la comprensión de la relación contaminación respecto a la incidencia de cáncer.

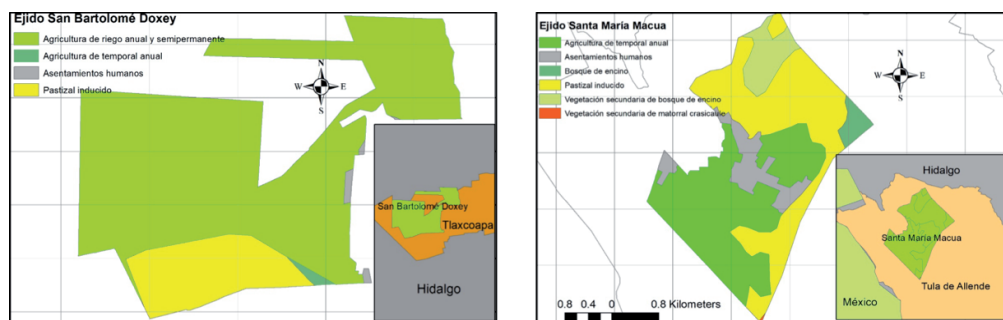
## RESULTADOS

### Análisis del uso del suelo y fuentes contaminantes fijas

La Figura 2 y Cuadro 1, muestran en forma gráfica, la distribución y resumen respectivamente, de uso del suelo; asimismo, la distancia de las principales fuentes de contaminación. Se destaca lo siguiente: 1) en SBD, 83.26% de los suelos agrícolas, son regados con agua anual (o de temporal) y semipermanente (temporal y de riego constante con aguas residuales) y sólo 0.56%, destinado a la práctica de la agricultura de temporal. Caso contrario de SMM, 45.9% a la agricultura de temporal y nada de parcelas de riego anual y semipermanente; y 2) SMM, aún tiene remanentes de vegetación típica de la zona del VdM, esto es, vegetación secundaria de encino y matorral crasicaule. Por último, a excepción de la Presa Endho (3.0 km más próxima a SMM en comparación a SBD), SBD ésta más cerca de las fuentes contaminantes que SMM, en promedio, a 9.3 km (ds 3.329) y a 22.0 km (ds 7.74) de las FC, respectivamente.

### Incidencia de cáncer generacional

La Figura 3, muestra la incidencia de cáncer en cuatro generaciones (bisabuelos, abuelos, padres e hijos(as)) y sus variantes más comunes de la enfermedad. El inciso a) señala que: 1) hay diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre



Fuente: elaboración propia.

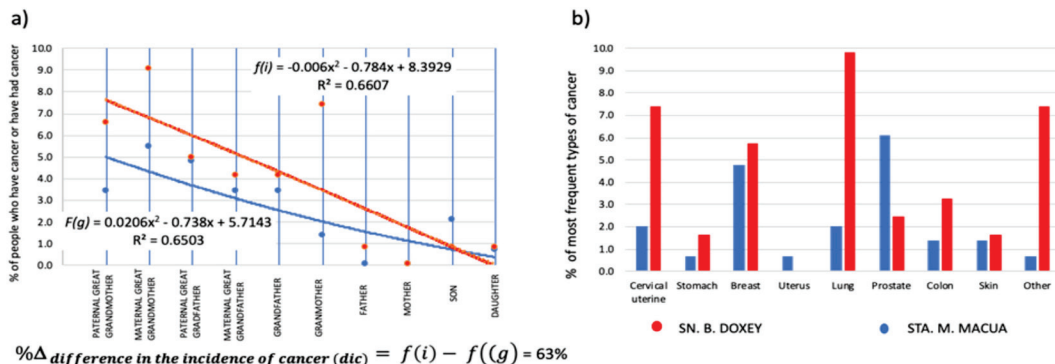
**Figura 2.** Mapa de uso del suelo de los ejidos Santa María Macua y San Bartolomé Doxey, estado de Hidalgo.

**Cuadro 1.** Superficie del uso del suelo en los ejidos de SB Doxey y SM Macua y distancias de las principales fuentes contaminantes.

Descripción	San Bartolomé Doxey		Santa María Macua	
	Superficie(ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)
Termoeléctrica	5.1		22.5	
Refinería	6.5		22.6	
Cementera Cruz Azul	8.5		16.0	
Cementera Fortaleza	10.5		33.5	
Cementera Tolteca	12.5		18.1	
Cemex	8.0		30.1	
Presa Endho	14.5		11.5	
Agricultura de riego anual y semipermanente	630.807453	83.26		
Agricultura de temporal annual	4.209304	0.56	406.324867	41.95
Asentamientos humanos	5.040684	0.67	88.953154	9.18
Pastizal inducido	117.616972	15.52	378.957637	39.12
Vegetación secundaria de bosque de encino			68.394844	7.06
Vegetación secundaria de matorral crasicuale			0.509042	0.05
<b>Total</b>	<b>757.674413</b>	<b>100</b>	<b>968.603144</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia.

ambas curvas. La función de SB Doxey ( $f(i)$  en rojo), se ubica por encima de la de SM Macua ( $f(g)$  en azul) y es, en términos porcentuales, (diferencia de las áreas bajo la curva, (ver Ecuación 2) 63% más de casos de cáncer; 2) en la comunidad de SB Doxey, los eventos mayores (42%), se registran en bisabuela materna (23%) y abuela (19%); y 3) por género, en SB Doxey,



Fuente: elaboración propia.

**Figura 3.** Incidencia de Cáncer generacional en las comunidades de S. B. Doxey y S. M. Macua.

61% son en mujeres y en SM Macua 45%. El inciso b), muestra en forma gráfica, los tipos de cáncer más comunes registrados en cuatro generaciones. Para SB Doxey, 78%, corresponden a los casos de pulmón, cérvico uterino, otros y mama (29, 19, 19 y 15% respectivamente) y en SM Macua, 75% son de próstata, mama, cérvico uterino y pulmón (31, 24, 10 y 10% respectivamente); y hay una gran diferencia en los registros de otros tipos de cáncer en SB Doxey (7%), con respecto a SM Macua (0.7%). Por último, SBD en comparación con SMM, tiene en términos porcentuales, excedentes de casos de cáncer cérvico uterino, mama, pulmón y otros, estos es 72, 16, 79 y 90% más respectivamente.

### Depuración de la información complementaria

El Cuadro 2, resume algunas de las principales variables del estudio. Hay diferencias significativas ( $p>0.05$ ) en los ingresos promedio de los jefes de familia y en general (considerando todas las variables), entre ambas comunidades ( $p>0.05$ ). Los ingresos promedio de SMM, son 15% menos y más homogéneos, en comparación a los de SBD (desviaciones estándar: 2,691 y 4,423 respectivamente). En cuanto a prácticas de cultivo de traspatio y percepción ambiental

**Cuadro 2.** Variables sociales y ambientales.

Variables		Sn. B. Doxey	Sta. M. Macua
Ingreso promedio mensual del jefe de familia (promedio/desv. est.)		6,462/4,423	4,854/2,691
Huertos familiares o de traspatio para consumo doméstico (n/%)	Sí	27/22	79/54
	No	95/78	67/46
Tipo de agua con la que riegan los huertos familiares o de traspatio	Uso doméstico	2/7	77/98
	Negra	24/84	1/1
	Ambas	1/9	1/1
Percepción del grado de contaminación en su comunidad (n/%)	Muy alto	34/28	15/10
	Alto	56/46	54/37
	Bajo	1/1	16/11
	Regular	31/25	61/42
Antecedentes familiares que tienen o hayan padecido cáncer (n/%)	Sí	36/29	34/23
	No	87/71	113/77
Percepción de cáncer más frecuente en su comunidad (n/%)	Cérvico uterino	14/ 14	12/10
	Estómago	3/3	0/0
	Mama	59/59	63/53
	Matriz	0/0	0/0
	Pulmón	12/12	5/4
	Próstata	4/4	24/20
	Recto o colon	2/2	0/0
	Piel	2/2	3/3
	Otros	5/5	11/9

**Cuadro 2.** Continuación.

Variables		Sn. B. Doxey	Sta. M. Macua
Percepción de contraer cáncer por contaminación en su comunidad (n/%)	Muy alto	18/15	10/7
	Alto	52/43	60/41
	medio	41/34	53/36
	Bajo	11/9	23/16

Fuente: elaboración propia.

en SMM y SBD: 1) en el primer caso, hay una mayor cultura en esta práctica (32% más) y casi el total de ellos (98%), utilizan agua de uso doméstico; los pocos huertos familiares en SBD, 84% son regados con aguas residuales y los restantes, casi en la misma proporción, con agua de uso doméstico (7%) y mixto (9%); 2) en ese mismo orden de comunidades, en la primera, hay una mayor percepción de contaminación en su comunidad: 75% considera que la contaminación es de alta (46%) a muy alta (28%), en comparación al 53% que considera que esta en la escala de baja (11%) a regular (42%). A propósito de los tópicos de cáncer y percepción sobre la enfermedad en SBD y SMM y en ese orden: en ambos casos, 23% en promedio, hay antecedentes familiares con cáncer, siendo 6% más, para la primera comunidad; las dos regiones perciben que, más de 50% de los casos de cáncer en sus comunidades, es el de mama (59 y 53.4% respectivamente); y 9% más de la comunidad de SBD, en comparación con SMM, consideran que pueden contraer cáncer por contaminación en su comunidad.

## DISCUSIÓN

El análisis del uso del suelo, sustenta las respuestas de los encuestados sobre el tipo de agua con que riegan sus huertos y en general, los cultivos; la comunidad de SBD, se encuentra inmersa en un sistema de riego agrícola con aguas residuales (núcleo agrario I, Tlaxcoapan, del distrito de riego 003 con 95% de parcelas ejidales regadas con aguas residuales) (INEGI, 2006), provenientes del Valle del Mezquital (83.26% de agricultura de riego anual y semipermanente), que beneficia a parcelas con alta productividad (maíz: 15 toneladas por hectárea *versus* 2.8 en SMM) pero con niveles de contaminación considerables (SIAP, 2021; Domínguez-Narváez *et al.* 2023). La comunidad de SMM, es mejor con respecto a SBD, en cuanto a algunas prácticas sanas y un medio ambiente propicio o menos impactado por las FFC. Esto obedece a que, es común que las poblaciones rurales, practiquen el cultivo extensivo y el de traspatio de forma semiorgánica; asimismo, tengan una percepción de un medio ambiente más sano, con respecto aquellas zonas urbanas (Bautista-Santos *et al.* 2025); y también, se ubica en la parte alta de la cuenca y mas retirado de las FC, con respecto a SBD. Esta propiedad geográfica, le permite no ser afectada sustan-

cialmente, por su cercanía relativa a la Presa Endho y estar libre de aguas residuales. Además, cuenta con parcelas de cultivo regadas con agua de temporal (41.9% de agricultura de temporal-anual) y con vestigios de vegetación natural propias de valle del mezquital.

La percepción de la población de SBD, sobre la contaminación de alta a muy alta (74%), es el resultado del riego de las parcelas con aguas servidas y sus aerosoles en el aire, así como la cercanía al sur con las principales FFC. (Cajuste *et al.* 1991). Esta apreciación y el análisis, coincide con los datos del Gobierno del Estado de Hidalgo (2016), al ubicar a esta comunidad, en una de las zonas más contaminados del VdM. Es importante señalar que, ambas comunidades, concuerdan en que, las principales causas de riesgo de propiciar cáncer, es por contaminación de aire (41%) y del agua (35%), lo cual, relacionan con las aguas residuales en la presa Endho, refinería y termoeléctrica, principalmente. El comportamiento negativo de las curvas sobre el porcentaje de casos de cáncer con respecto a las generaciones (Figura 3), se debe a que, la tasa (nuevos casos) de incidencia de esta enfermedad, aumenta con la edad (NCI, 2024). En SBD, el excedente de esta enfermedad, se da mayormente en mujeres que, en hombres, lo cual, no coincide con la media nacional: 48.5 y 51.5% en mujeres y hombres respectivamente (INEGI, 2024), caso contrario al de SMM y muy parecido a la media nacional; esto se debe, al número de acontecimientos de cáncer de mama y cérvico uterino en bisabuela materna y abuela. Y en términos generales, por encima de SMM en los casos de cérvico uterino, mama, pulmón y otros. Estos últimos tres casos, son relevantes y su relación con la contaminación, puede deberse a que: cáncer de mama: Zhang *et al.* (2013), mencionan que este tipo de cáncer, suele estar asociada a factores de riesgo ambientales. La contaminación por aguas residuales, es una fuente potencial de exposición a carcinógenos mamarios, los cuales, llegan al cuerpo humano por aerosoles y cultivos contaminados; de la misma manera, se han detectado disolventes orgánicos y otros contaminantes, que a menudo, se encuentran en las aguas residuales, en la leche materna y varios tejidos, incluidos los tejidos mamarios y adiposo (Du Plessis *et al.* 2023); cáncer de pulmón: este resultado, es quizá el más relevante del presente trabajo (principal cáncer de la comunidad de SBD y 79% más en comparación a SMM). A reserva de hacer estudios complementarios (actividades en talleres o empleos de alto riesgo, aerosol de aguas negras, etcétera), este trabajo, abona a que, una de las causas principales, son las partículas en suspensión, producto de la actividad industrial muy cercana a la zona. Existe evidencia de esta relación en el trabajo de Clofent *et al.* (2021), sobre aire contaminado y en la investigación realizada en la zona por Guerrero y López (2019), sobre efecto de los gases industriales (también llamados gases de efecto invernadero), producto de la combustión de hidrocarburos, principalmente, de fuentes de contaminación como cementeras, la refinería y de la industria termoeléctrica. Asimismo, éstos autores, señalan que 31% del

cáncer de pulmón, son atribuidos a factores ambientales y que, la región de Tula, es la de mayor probabilidad de riesgo de cáncer de pulmón en todo el VdM, por dichos factores; y otros tipos de cáncer: hay una gran diferencia de este registro, con respecto a SMM (linfomas, leucemias y tumores o neoplasias en la cabeza), de 6.3% más. Esta investigación, considera que es consecuencia de los contaminantes de aguas residuales y cercanía a las fuentes de expulsión de partículas suspendidas; de ese modo, hay una mayor relación de agentes externos, que a factores genéticos heredados en la expresión de otros tipos de cáncer. Es importante resaltar que, a excepción del cérvico uterino, los tipos de cáncer relacionados con la contaminación y más comunes en ambas comunidades (pulmón y mama), guardan el orden de importancia reportado por la OMS (OMS, 2024; Cajuste *et al.* 1991)

El cáncer, es una enfermedad multifactorial y existen elementos asociados con el desarrollo de sus diferentes expresiones. Esto es, más allá de la carga genética, son los hábitos de una alimentación inadecuada, sobrepeso, obesidad y falta de actividad física; entre menos saludable se encuentre la persona, es mayor el riesgo de neoplasias (SS, 2023). Sin embargo, también los factores ambientales inciden en gran medida, a explicar la carga global de las enfermedades en regiones con alta contaminación (Guerrero-López, 2022).

En cuanto a la apreciación de las personas entrevistadas (10% mayor en SBD, con respecto a SMM, en la escala muy alto a alto), de relacionar el grado de contaminación ambiental con el cáncer, coincide con otros estudios realizados en la zona y lugares contaminados (Du Plessis *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2013; Guerrero-López, 2022). También esta estimación, se relaciona con los registros familiares sobre la incidencia de cáncer en las cuatro generaciones (59% más en SBD respecto SMM) (Figura 3). Asimismo, esta apreciación de la contaminación del entorno de las comunidades y la relación con los acontecimientos de los diversos tipos de neoplasias, se debe considerar que la percepción, deriva en deducciones e interpretaciones que las comunidades estudiadas, hacen de manera conjunta de su entorno y de esta manera, se hace un acercamiento objetivo de la calidad del medio ambiente y sus consecuencias, en este caso, diversas expresiones de la enfermedad.

Los estudios del uso del suelo, cercanía de FFC, los estadísticos y la percepción de los encuestados, abonan al entendimiento sobre la relación contaminación y cáncer en la región de estudio. En ese sentido, la comunidad más contaminada, es SBD y en ella, los tipos de cáncer más comunes relacionados con la contaminación, son los de pulmón y mama. Independientemente de hacer estudios complementarios sobre la relación de cáncer y la contaminación en la región VdM (otros estudios de caso, carga genética, tipo de alimentación, estudios histológicos, registros de casos por un acceso mayor al número de centros de salud como el ISSSTE o IMSS, etcétera), los resultados de este estudio, revelan que hay una alta incidencia de la contaminación con

las neoplasias en todas las variables comparativas. Es pertinente señalar que, diversos estudios en la zona, han alertado sobre niveles de contaminantes en el suelo y agua (arsénico, cadmio, plomo y pesticidas) que dañan a la salud. Lo anterior, producto de las aguas residuales y actividad industrial, afectando los cultivos, zooplancton, peces y con ellos la cadena trófica en humanos. De igual modo, concentraciones de partículas suspendidas en el aire, relacionadas con enfermedades crónicas degenerativas en vías respiratorias (Evangelou *et al.*, 2016; Rubio-Franchini *et al.*, 2016; Lesser *et al.*, 2018).

Es importante señalar que, el promedio de antecedentes familiares con cáncer en los dos estudios de caso, está por encima de la población reportado por la OMS (2024b), esto es, 20% de la población desarrolla cáncer a lo largo de la vida, lo anterior si se equipara con la línea de tiempo generacional de este estudio, siendo un poco mayor (6% más) en la comunidad de SBD, debido a los datos antes expuestos. Sin embargo, esta información, habría que corroborarla a través de otros estudios de caso, con un análisis de muestras probabilística en personas adultas, dividida en clases de edad e incidencia de cáncer. También habría que considerar algunos otros aspectos, por ejemplo, a nivel mundial, la enfermedad en todas sus modalidades, se ha incrementado, lo cual puede deberse a que la esperanza de vida ha aumentado y mejorado la detección de estos padecimientos, por los avances tecnológicos que facilitan el diagnóstico (OMS, 2024a). Además, se ha estimado que los factores ambientales, explican la carga global de las enfermedades de cáncer. En ese sentido la Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias (AETS) (2007), señala que, 19% de todos los casos, son atribuibles a un entorno insano ambientalmente.

En cuanto a ingresos, de acuerdo con el CONEVAL (2024), las comunidades de SBD y SMM, están por encima de la línea de pobreza por ingreso (\$3,139.08, canasta alimenticia y no alimenticia): 205% SBD y 154% SMM; sin embargo, muy por debajo del umbral para salir de la pobreza (\$12,556.32), esto es 51.5 y 38.6% menos, respectivamente. De acuerdo al INEGI (2020b), por la cantidad de población en SBD (7,999 personas), esta es considerada como semirural, en comparación a la comunidad rural de SMM (2,337 personas). Es por ello que, la comunidad de SBD, tiene mejores ingresos debido a fuentes de trabajo mejor remunerado, que diversifica con actividades de empleo industrial y de campo propias de las comunidades semirurales (Bautista-Santos *et al.* 2025). En forma general, los ingresos coinciden con algunos estudios realizados en otras regiones rurales pobres del país, principalmente, en la zona mazahua-otomí en los estados de México e Hidalgo y comunidades forestales en Veracruz (Rodríguez *et al.* 2024; Bautista-Santos *et al.* 2025). Esta variable es importante, ya que el vínculo entre las enfermedades de alto costo como el cáncer y la situación de pobreza, se traduce en una iniquidad y exclusión que padece esta región del VDM y que limitan el acceso a los servicios de salud de calidad. En términos de costo-beneficio (tierras de riego con aguas residuales muy productivas, con

respecto sus efectos a la salud), tendría que valorarse a corto y mediano plazo. Este estudio, puede ser un antecedente para profundizar el conocimiento de la problemática sobre la contaminación y sus efectos a la salud pública en la zona. En ese sentido, se recomienda que, en la zona, se lleven a cabo diversas acciones que atiendan este problema de salud pública, a corto plazo, políticas públicas de prevención y detección temprana, principalmente de cáncer de mama y pulmón; a mediano y largo plazo, actividades y obras que vayan alineadas a la declaratoria como Zona de Restauración Ecológica. Por ejemplo, la construcción o destino de espacios en centros de salud pública de tercer nivel, para la atención de cáncer; además, el diseño de estudios económicos sobre erogación y compensación justa de quién contamina y quién se perjudica, respectivamente. Esto último, no sólo por el problema de pobreza que aqueja a la población, sino por aquello que atenta contra lo más preciado que es la vida: cáncer por contaminación. Y que, en futuras investigaciones, se utilice la misma metodología, recomendando el monitoreo en más comunidades, tanto en la cuenca alta, como baja del río Tula. La contaminación ambiental del Valle del Mezquital se agudizó a mediados de los años setentas. En este contexto de línea del tiempo y un ambiente desfavorable, habría que estudiar la curva de porcentos de casos de cáncer, con respecto a generaciones, la cual, desde un punto de vista hipotético, la pendiente tendería a cero. Lo anterior, debido a que las generaciones estudiadas, corresponden a los periodos de menor contaminación (décadas de los sesentas y setentas) y de mayor contaminación en la zona (últimas cuatro décadas) y en ese sentido una, mayor incidencia de cáncer en sus diferentes formas en edades tempranas. Por último, esta investigación, sugiere que la prevención y diagnóstico tempranos, son estrategias prometedoras y de bajo costo para el control del cáncer en la región de estudio. Sobre todo, acciones preventivas y de detección temprana de cáncer de pulmón y mama.

### CONCLUSIONES

En la región de estudio, existe una tendencia y una percepción de las personas que, las aguas residuales y fuentes fijas de contaminación, son causales de diversos tipos de cáncer. Esta tendencia, es posible analizarla al comparar, dos comunidades con diferentes grados de contaminación, a través del registro de antecedentes de diversos tipos de cáncer en las últimas cuatro generaciones, fuentes fijas de contaminación y percepción de las personas de la contaminación con el cáncer.

San Bartolomé Doxey (SBD), usa aguas residuales para sus cultivos (83.26% de tierras agrícolas) y más cerca de las principales fuentes fijas de contaminación (9.3 en promedio). En Santa María Macuá (SMM), todos sus cultivos son de temporal y de cuerpos de agua dulce; asimismo, más retirada de esas fuentes contaminantes (aproximadamente a 22 km). Esto supone una mayor contaminación de agua, suelo y aire en SBD.

En ambas comunidades, existen diferencias significativas en cuanto a incidencia de cáncer en cuatro generaciones por lo que, la comunidad con mayor contaminación, tiene 59% más de registro familiar de dicha enfermedad. Este excedente (63%), se debe a los casos de cáncer cérvico uterino, pulmón, mama y otros (linfomas, leucemias y tumores o neoplasias). Estos últimos tres, podrían estar relacionados con la contaminación de agua negras o residuales y de algunas partículas suspendidas de gases de efecto invernadero.

Por la cercanía de la comunidad de SBD de las fuentes contaminantes como cementeras, termoeléctrica y refinería, estos factores ambientales, podrían incidir mayormente, en el cáncer de pulmón.

La apreciación de los encuestados sobre los tipos de cáncer más frecuentes y grado de contaminación, fortalecen los resultados tanto del uso de suelo, como en los estadísticos: la comunidad más afectada es SBD y en ella, los tipos de cáncer más comunes y de los cuales, existen antecedentes de su relación de contaminación, son los de pulmón y mama. Este orden de importancia, es parecido al reportado por los organismos nacionales e internacionales.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo financiero de SECIHTI, a través del proyecto PEE-2025-G-97 "Fortalecimiento del diagnóstico de las sustancias tóxicas prioritarias industriales, agroindustriales y emergentes en compartimentos ecosistémicos y su impacto social y a la salud humana en la cuenca del río Tula, Hidalgo".

#### REFERENCIAS

- AETS (Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias). 2007. Evaluación de impacto en salud y medio ambiente. <https://aprender.entrerios.edu.ar/wp-content/uploads/2020/04/Evaluaci%C3%B3n-de-impacto-en-salud-y-medio-ambiente-1.pdf>.
- Bautista-Santos H, Rodríguez J, Romero Y, Sánchez F, Fernández G. 2025. Agricultural Backyard Production in the Food Security Framework: A Case Study of a Microregion of Chicontepec Veracruz, Mexico. *Agro Productividad*, 18(1). 195-203. <https://doi.org/10.32854/agrop.v18i1.3104>.
- Cajuste LJ, Carrillo RG, Cota EG, Laird RJ. 1991. The distribution of metals from wastewater in the Mexican Valley of Mezquital. *Water, Air, and Soil Pollution*, 57. 763-771. <https://doi.org/10.1007/BF00282940>.
- Clofent D, Culebras M, Loor K, Cruz MJ. 2021. Environmental pollution and lung cancer: The carcinogenic power of the air we breathe. *Archivos de Bronconeumología*, 57(5). 317-318. <https://doi.org/10.1016/j.arbr.2021.03.002>.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2013. Estadísticas del Agua en la Región Hidrológico-Administrativa XIII. Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. Comisión Nacional del Agua (Conagua). [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/624777/Estadisticas\\_Agua\\_RHA\\_XIII\\_Aguas\\_del\\_Valle\\_de\\_M\\_xico\\_Edicion\\_2013.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/624777/Estadisticas_Agua_RHA_XIII_Aguas_del_Valle_de_M_xico_Edicion_2013.pdf).
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). 2024. ¿Qué son las líneas de pobreza por ingresos y pobreza extrema por ingresos?. [https://www.coneval.org.mx/Medicion/Documents/Lineas\\_de\\_Pobreza\\_por\\_Ingresos/Lineas\\_de\\_Pobreza\\_por\\_Ingresos.pdf](https://www.coneval.org.mx/Medicion/Documents/Lineas_de_Pobreza_por_Ingresos/Lineas_de_Pobreza_por_Ingresos.pdf).
- Cuadros TA. 2017. El cambio climático y sus implicaciones en la salud humana. *Ambiente y Desarrollo*, 21(40). 157-171. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd21-40.ccis>.

- Domínguez-Narváez JA, Guevara-Rosales C, Daniel-Ibarra N, Maldonado-Cabrera D. 2023. Impacto del uso de aguas residuales en el Valle del Mezquital. XAHNI Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 6. 1(1). 6-11. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/xahni/article/view/11046>.
- Du Plessis M, Fourier C, Stone W, Engelbrecht AM. 2023. El impacto de los disruptores endocrinos y carcinógenos en las aguas residuales: implicaciones para el cáncer de mama. *Biochimie*, 209. 103-115. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2023.02.006>.
- Estrada R, López MG, Vázquez R, Sánchez V, Ruvalcaba JC. 2016. Conocimiento y percepción respecto al impacto de vivir cerca de canales de aguas residuales. *Journal of Negative & No Positive Results*. 1(4). 142-148. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.2016.1.4.1038>.
- Evangeliou E, Ntritsos G, Chondrogiorgi M, Kavvoura FK, Hernández AF, Ntzani EE, Tzoulaki I. 2016. Exposure to pesticides and diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 91. 60-68. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.02.013>.
- Fernández-Moreno Y. 2008 ¿Por qué estudiar las percepciones ambientales?: Una revisión de la literatura mexicana con énfasis en Áreas Naturales Protegidas. *Espiral. Estudios sobre estado y sociedad*, 15(43). 179-202. <http://espiral.cucsh.udg.mx/index.php/EEES/article/view/1378>.
- Gobierno del Estado de Hidalgo. 2016. Inventario de Emisiones del Estado de Hidalgo. <https://aireysalud.semarnath.gob.mx/descargas/inventario.pdf>.
- Guereo JB, López S. 2020. Gases efecto invernadero como elementos explicativos de los casos de cáncer en el estado de Hidalgo en el 2015. *INEGI. Realidad, Datos y Espacios Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 11(2): 23- 73. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/revista\\_rde/889463856719.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/revista_rde/889463856719.pdf).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2006. Núcleos Agrarios, Tabulados básicos por Municipio. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/Nucleos/tbe\\_hgo.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/Nucleos/tbe_hgo.pdf).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2020a. Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020>.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2020b. Principales resultados por localidad (ITER). Hidalgo. <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/ficha.html?tit=325911&ag=0&f=csv>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2024. Estadísticas a propósito del día mundial contra el cáncer. [https://en.www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2024/EAP\\_CANCER24.pdf](https://en.www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2024/EAP_CANCER24.pdf).
- Infante S, Zárate G. 2012. *Métodos estadísticos: Un enfoque interdisciplinario*, 3 ed. Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas: México.
- Lesser LE, Mora A, Moreau C, Mahlknecht J, Hernández-Antonio A, Ramírez A, Barrios-Piña H. 2018. Survey of 218 organic contaminants in groundwater derived from the world's largest untreated wastewater irrigation system: Mezquital Valley, Mexico. *Chemosphere*, 198. 510-521. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.154>.
- Martínez E. 2018. Autocorrelación entre industrias cementeras y la presencia de cáncer en el Valle del Mezquital, México. *In: Las ciencias sociales y la agenda nacional. Reflexiones y propuestas desde las Ciencias Sociales*. Julio P, Moran JD. Coords. Consejo Mexicano de Ciencias Sociales A.C.: México. <https://www.comesco.com/ciencias-sociales-agenda-nacional/cs/article/view/1048>. pp: 245-255.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2024a. Cáncer: sinópsis. [https://www.who.int/es/health-topics/cancer#tab=tab\\_1](https://www.who.int/es/health-topics/cancer#tab=tab_1).
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2024b. Crece la carga mundial de cáncer en medio de una creciente necesidad de servicios. <https://www.who.int/es/news/item/01-02-2024-global-cancer-burden-growing--amidst-mounting-need-for-services#:~:text=Alrededor%20de%201%20de%20cada,a%20causa%20de%20la%20enfermedad>.
- PEF (Poder Ejecutivo Federal). 2024. Decreto por el cual se declara zona de restauración ecológica el área de influencia de la presa Endhó. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5739811&fecha=26/09/2024#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5739811&fecha=26/09/2024#gsc.tab=0).

- Prieto F, García R, Prieto J, Benítez M. 2015. Impacto en salud por metales: metodología clínico ambiental aplicada en Xochitlán, Valle del Mezquital, México. *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, 16(2). 16-24. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubsaltra/cst-2015/cst152c.pdf>.
- Rodríguez J, Ávila DM, Rodríguez JS, Bautista H. 2024. Consumo de refrescos y diabetes mellitus en una comunidad Mazahua Otomí. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 12(26). 1-13. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2024.26.86237>.
- Rodríguez-Zúñiga J, Marín-Togo MC, González-Guillén MJ. 2023a. Transmisión del conocimiento herbolario y sus beneficios en la comunidad mazahua otomí, Estado de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 20(3). 347-363. <https://doi.org/10.22231/asyd.v20i3.1537>.
- Rodríguez-Zúñiga J, Ávila-Nájera DM, Mora-Garduño LC, Tovar-Martínez R, Bautista-Santos H, Sánchez-Galván F. 2023b. Midwifery and Medicinal Plants in the Mazahua and Otomi Indigenous Group of the State of Mexico. *Social Sciences*, 12(10). 542. <https://doi.org/10.3390/socsci12100542>.
- Rodríguez-Zúñiga J, Rodríguez-Bravo JS, Sánchez-Galván F, Bautista-Santos H, Sampayo-Maldonado S, Tovar-Martínez R, Ibarra-Araujo N, Del Ángel-Piña O. 2025. Breastfeeding, Food Security, and Traditional Medicine in the Mazahua Otomí community, Mexico. *Cattle Practice*. 33(6). 26-40. <https://doi.org/10.59671/SV001>.
- Rosas M, García EM. 2023. Percepción ambiental del uso de agua residual de productores agrícolas del Valle del Mezquital, Hidalgo. *Observatorio Medioambiental*, 26. 181-205. *Observatorio Medioambiental*. <http://dx.doi.org/10.5209/OBMD.93025>.
- Rubio-Franchini I, López-Hernández M, Ramos-Espinosa MG, Rico-Martínez R. 2016. Bioaccumulation of Metals Arsenic, Cadmium, and Lead in Zooplankton and Fishes from the Tula River Watershed, Mexico. *Water Air Soil Pollut*, 27(5). <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2702-1>.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Estadísticas de producción agrícola 2021 y Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.agricultura.gob.mx/agroprograma/>.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2020. Avanza Semarnat en Programa de Restauración Ecológica para la región de Tula-Atitalaquia-Apaxco. <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/avanza-semarnat-en-programa-de-restauracion-ecologica-para-la-region-de-tula-atitalaquia-apaxcostauracion-ecologica-para-la-region-de-tula-atitalaquia-apaxco?idiom=es-MX>.
- SS (Secretaría de Salud). 2023. México registra al año más de 195 mil casos de cáncer: Secretaría de Salud. <https://www.gob.mx/salud/prensa/294-mexico-registra-al-ano-mas-de-195-mil-casos-de-cancer-secretaria-de-salud>.
- Zhang J, Yang JC, Wang RQ, Hou H, Du XM, Fan SK, Liu JS, Dai JL. 2013. Effects of pollution sources and soil properties on distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons and risk assessment. *Science of The Total Environment*, 463-464. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.066>.