

1ER INFORME ESTRATÉGICO

CUENCA DEL ALTO ATOYAC
(TLAXCALA Y PUEBLA):
REGIÓN DE EMERGENCIA
SANITARIA Y AMBIENTAL;
PROBLEMATICA
SOCIOAMBIENTAL
Y RECOMENDACIONES
PARA SU ATENCIÓN INTEGRAL

Versión octubre de 2023



Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías

María Elena Álvarez-Buylla Rocés

Directora general

Andrés Eduardo Triana Moreno

Dirección Adjunta de Investigación Humanística y Científica

Delia Aideé Orozco Hernández

Dirección Adjunta de Desarrollo Tecnológico, Vinculación
e Innovación

Juan Francisco Mora Anaya

Unidad de Administración y Finanzas

José Alejandro Díaz Méndez

Unidad de Articulación Sectorial y Regional

Raymundo Espinoza Hernández

Unidad de Asuntos Jurídicos

Horacio Tonatiuh Chavira Cruz

Coordinación de Comunicación y Cooperación Internacional

María del Carmen García Meneses

Coordinación de Repositorios, Investigación y Prospectiva

Alejandro Espinosa Calderón

Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos
Genéticamente Modificados

Mariana Cárdenas González

Directora de Vinculación y Enlace Nacional e Internacional
Coordinadora del Programa Nacional Estratégico Salud

María de Lourdes González Jiménez

Directora de Redes Horizontales del Conocimiento
e Infraestructura Científica
Coordinadora del Programa Nacional Estratégico Agentes
Tóxicos y Procesos Contaminantes

1^{er} Informe estratégico

Cuenca del Alto Atoyac (Tlaxcala y Puebla):
Región de Emergencia Sanitaria y Ambiental;
Problemática socioambiental y recomendaciones
para su atención integral

Octubre de 2023

Av. Insurgentes Sur 1582,
col. Crédito Constructor,
demarcación territorial Benito Juárez,
C. P. 03940, Ciudad de México
Teléfono: 55 5322 7700
conahcyt.mx



**GOBIERNO DE
MÉXICO**



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

CRÉDITOS TÉCNICOS



PRONACES AGENTES TÓXICOS Y PROCESOS CONTAMINANTES

Comité Ejecutivo

Barreda Marín, Andrés

Coordinador del Pronaces Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes.
Facultad de Economía, UNAM.

- **Escorza Isguerra, Julio César.** Comité Ejecutivo del Pronaces Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes.
- **Gómez Quiroz, Luis Enrique.** División de Ciencias Biológicas y de la Salud, UAM-Iztapalapa.
- **Lara Espinosa, Fabiola.** Investigadora por México, Conahcyt.
- **Ponce Vélez, María Guadalupe.** Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
- **Rendón Lugo, Alina Nashiely.** Investigadora por México, Conahcyt.

Proyectos de Investigación e Incidencia en la CAA

Ecosistema Nacional Informático Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes

Flores Mondragón, Gonzalo Javier

Responsable Técnico del Pronaii. Universidad Pedagógica Nacional, Morelos.

- **De Urioste Castellanos, Santiago Javier.** Asistente de Investigación.
- **Domínguez Jacobo, Víctor.** Asistente de investigación.
- **Enríquez Valencia, Lilia.** Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM.
- **García Tavera, José Luis.** Investigador asociado.
- **González Romo, Karina.** Asistente de investigación.

- **Ortega Elorza, César Eduardo.** Investigador asociado.
- **Osorio González, Leticia M.** Asistente de investigación. †
- **Padilla Galindo, Maralhi Yunuén.** Asistente de investigación.

Pronaii Salud Laboral: Los riesgos ocupacionales y ambientales para la enfermedad renal crónica y los biomarcadores de su diagnóstico precoz, para una mejor prevención y atención en los artesanos adultos en riesgo

Juárez Pérez, Cuauhtémoc Arturo

Responsable técnico del PRONAI. Unidad de Investigación de Salud en el Trabajo, Centro Médico Siglo XXI, IMSS.

- **González Ochoa, Amanda Georgina.** Investigadora asociada.
- **Hernández Téllez, Luz Estela.** Investigadora asociada.
- **Solano Juárez, Albadelia.** Investigadora asociada.
- **Viveros de la Cruz, Nadia Alicia.** Investigadora asociada.

PRONACES AGUA

Comité Ejecutivo

García Barrios, José Raúl

Coordinador del Pronaces Agua. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, UNAM Cuernavaca.

- **Alavez Vargas, Mayrén.** Investigadora por México, Conahcyt.
- **Ávila García, Patricia.** Instituto de Educación Superior, UNAM, Morelia.
- **Carrasco Garduño, Fabiola.** Investigadora asociada.
- **Kloster, Karina.** UACM.
- **Martínez, Jorge.** Investigador independiente.
- **Pérez Denicia, Eduardo.** Investigador por México, Conahcyt.
- **Rosas Landa, Ramos Octavio.** Facultad de Economía, UNAM.
- **Torres Garza, Leticia Myriam.** Centro de Investigación en Materiales Avanzados.
- **Torregrosa y Armentia, María Luisa.** FLACSO.

Proyectos de Investigación e Incidencia en la CAA

Pronaii Reapropiación socioambiental para el manejo integral y comunitario de la Cuenca Atoyac-Zahuapan

Delgado Rodríguez, Alfredo

Responsable técnico del PRONAI. Centro de Investigaciones Disciplinarias sobre el Desarrollo Regional, Universidad Autónoma de Tlaxcala.

- **Flores Valverde, Erasmo.** Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.
- **Navarro González, María Inés J.** Instituto de Ingeniería, UNAM.
- **Valladares Rodríguez, Rita.** Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.

PRONACES SALUD

Crispín Acuña, José

Coordinador del Pronaces Salud. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.

- **Hersch Martínez, Paul.** Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- **Ochoa Chi, Juanita del Pilar.** Universidad Autónoma de la Ciudad de México.
- **Ortiz Gutiérrez, Elizabeth.** Investigadora por México, Conahcyt.
- **Ramírez Landeros, Laura María.** Investigadora por México, Conahcyt.

Proyectos de Investigación e Incidencia en la CAA

Pronaii Leucemia Infantil: 1. Epidemiología y supervivencia de las leucemias agudas en niños de zonas marginadas de México, y 2. Laboratorio de citómica del cáncer infantil

1. **Núñez Enríquez, Juan Carlos.** Responsable técnico del Pronaii. Unidad de Investigación Médica en Epidemiología Clínica. Unidad Médica de Alta Especialidad, Hospital de Pediatría "Dr. Silvestre Frenk Freund" del Centro Médico Nacional SXXI, IMSS.
2. **Pelayo Camacho, Rosana.** Responsable técnica del Pronaii. Titular de la Unidad de Educación e Investigación en Salud, IMSS. Investigadora titular, Laboratorio de Oncoinmunología y Citómica del Cáncer Infantil, Centro de Investigación Biomédica de Oriente IMSS.

- **Alarcón Ruiz, Erika.** Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tamaulipas, México.
- **Allende López, Aldo.** Unidad de Investigación Médica en Epidemiología Clínica, Hospital de Pediatría, CMN Siglo XXI, IMSS.
- **Arriaga Pizano, Lourdes Andrea.** Unidad de Investigación Médica en Inmunoquímica, Hospital de Especialidades, Centro Médico Nacional SXXI, IMSS.
- **Casique Aguirre, Diana.** Investigadora por México, Conahcyt.
- **Duarte Rodríguez, David Aldebarán.** División de Desarrollo de la Investigación en Salud, Coordinación de Investigación en Salud, IMSS.
- **Flores Lujano, Janet.** Unidad de Investigación Médica en Epidemiología Clínica, UMAE Hospital de Pediatría, Centro Médico Nacional SXXI, IMSS.

Pronaii Salud Renal: Estrategias para la prevención, diagnóstico, registro y seguimiento de la enfermedad renal y de sus factores de riesgo socioambientales en poblaciones vulnerables de Tlaxcala

Barbier Olivier, Christophe

Responsable técnico del Pronaii. Departamento de Toxicología, Centro de Investigación y Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional.

- **Aztatzi Aguilar, Octavio Gamaliel.** Departamento de Toxicología, Centro de Investigación y Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional.
- **Bravo Carvajal, Ixtlitzin.** Investigadora asociada.
- **Mejía Arias, Miguel Ángel.** Fundación Franco Mexicana para la Medicina IAP.
- **Ortega Romero, Manolo.** Investigador asociado.
- **Rojas Contreras, Janeth.** Centro de Estudios de Desarrollo Regional y Análisis Económico (CEDRAE), El Colegio de Tlaxcala A.C.
- **Rojas Lima, Elodia.** Investigador asociado.

Pronaii Ciencia de Datos y Salud en la CAA: Análisis espaciotemporal y sociodemográfico de enfermedades crónicas no-transmisibles (ECNT) en la Cuenca del Alto Atoyac y evaluación de las capacidades de atención de acuerdo a los padecimientos detectados: elementos esenciales para la formulación de estrategias de atención-prevención en beneficio de la salud de los habitantes

Pérez Castresana, Gabriela

Responsable técnica del Pronaii. IIMA, Ibero Puebla.

- **Arroyo Ortega, Itzel Fabiola.** Investigadora por México, INECOL.
- **Camacho Sanabria, Raúl.** Investigador asociado.
- **Cecilio Ayala, Erick Alberto.** Centro de Investigación en Matemáticas, A.C.
- **Esquivel Vázquez, Judith.** Centro de Investigación en Matemáticas, A.C.
- **Fernández Uribe, David.** Secretaría de Salud del estado de Puebla.
- **Guerra Castro, Edlin.** UNAM Mérida.
- **Jiménez Ramos, David.** Investigador asociado, Ibero Puebla
- **Martínez Sermeño, Flor de María.** Centro de Investigación en Matemáticas, A.C.
- **Ramos Corona, Alfonso.** Investigador de Tiempo Completo, Facultad de Geografía. UAEMex.
- **Ramos Quiroga, Rogelio.** Centro de Investigación en Matemáticas, A.C.
- **Rodríguez González, Domingo Iván.** Gerencia de Ciencia de Datos e Inteligencia Artificial, CIMAT.
- **Romero Natale, Aline.** Investigadora asociada.
- **Sánchez Bravo, Ivete.** Centro de Investigación en Matemáticas, A.C.
- **Sánchez Porras, Arturo.** Investigador asociado.

**Pronaii Sistema Comunitario de Vigilancia y Moniotro Ambiental:
Creación de un Sistema Comunitario de Vigilancia y Monitoreo Ambiental
para la Depuración Integral del Ambiente en la Cuenca Atoyac-Zahuapan
que garantice los derechos socioculturales, económicos y de salud
de la población residente**

Montero Montoya, Regina

Responsable técnica del Pronaii. Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM.

- **Arellano Aguilar, Omar.** Facultad de Ciencias, UNAM.
- **Cortinas, Cristina.** Fundación Cristina Cortinas.
- **Cuatecontzi Galicia, Fernando.** Centro de Economía Social Julián Garcés.
- **Hernández González, Itzel.** Centro de Economía Social Julián Garcés.
- **López Vargas, Rocío.** Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM.
Investigador asociado.
- **Méndez Serrano, Alejandra.** Centro Fray Julián Garcés, Derechos Humanos
y Desarrollo Local, A.C.
- **Montes de Oca Cruz, Judith.** Centro de Economía Social Julián Garcés.
- **Morton Bermea, Ofelia.** Instituto de Geofísica, UNAM.
- **Muñoz Berruecos, Emilio.** Centro Fray Julián Garcés, Derechos Humanos
y Desarrollo Local, A.C.
- **Pohls Fuentevilla, Federico.** Centro Fray Julián Garcés, Derechos Humanos
y Desarrollo Local, A.C.
- **Santiago Castillo, Reyna.** Centro Fray Julián Garcés, Derechos Humanos
y Desarrollo Local, A.C.
- **Suárez Larios, Karen.** Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM.
- **Yáñez Estrada, Leticia.** Facultad de Medicina, UASLP.
- **Zamora, Jessica.** Facultad de Ciencias, UNAM. Semarnat.

OTRAS CONTRIBUCIONES DEL PRONACES SALUD

- **Galeana Pizaña, Mauricio.** Centro GEO. Responsable Técnico del proyecto Plataforma geoespacial del Sistema agroalimentario y nutrición en México.
- **Palacio Mejía, Lina.** Unidad de Inteligencia en Salud Pública, Instituto Nacional de Salud Pública.



ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
1. SÍNTESIS EJECUTIVA.....	13
2. INTRODUCCIÓN.....	31
2.1 Ubicación geográfica de la Cuenca del Alto Atoyac	33
2.2 Antecedentes de investigaciones científicas en la región de la Cuenca del Alto Atoyac.....	35
2.3 Programas Nacionales Estratégicos en la Cuenca del Alto Atoyac	38
3. EVIDENCIAS DEL DETERIORO SOCIOAMBIENTAL EN LA CUENCA DEL ALTO ATOYAC	39
3.1 Marco socioeconómico y cultural.....	41
3.2 Contexto hidrológico y ambiental de la Cuenca del Alto Atoyac.....	49
3.2.1 La zona núcleo: Cuenca del Alto Atoyac.....	49
3.2.2 El área de influencia de la Cuenca del Alto Atoyac.....	50
3.2.3 Análisis de la situación a partir de los registros oficiales de los contaminantes ambientales en la Cuenca del Alto Atoyac.....	52
3.3 Contexto epidemiológico	59
3.3.1 Enfermedad renal crónica.....	60
3.3.2 Leucemias agudas.....	63
3.3.3 Situación general de salud en la Cuenca del Alto Atoyac	64
3.3.4 Egresos hospitalarios en la Cuenca del Alto Atoyac.....	68
3.4 Valoración crítica de algunas normas e instrumentos ambientales aplicables en la Cuenca del Alto Atoyac.....	69
3.4.1 Normatividad e instrumentos sobre cuerpos de agua.....	69
3.4.2 Normatividad e instrumentos en torno a la contaminación del suelo.....	72
3.4.3 Normatividad e instrumentos en torno a la contaminación del aire.....	73
3.4.4 Registro de emisiones y transferencia de contaminantes.....	74
4. EVIDENCIAS DE LA PROBLEMÁTICA DE SALUD EN LA CUENCA DEL ALTO ATOYAC	77
4.1 Salud renal.....	79
4.1.1 Descripción de la población de estudio	79
4.1.2 Características socioeconómicas de la población participante.....	81
4.1.3 Estado de la salud renal.....	82
4.1.4 Biomarcadores de daño renal temprano.....	82
4.1.5 Caracterización de la exposición en la población participante.....	83

4.1.6	Evaluación de la asociación entre los niveles de exposición a los diferentes agentes tóxicos y el daño a nivel renal	87
4.1.7	Análisis geoespacial de la relación entre las posibles fuentes de exposición y las alteraciones a nivel renal	91
4.2	Leucemia infantil: incidencia, carga de enfermedad, inmunofenotipo en la región y la asociación entre la exposición ambiental y los casos de leucemia en la región	92
4.2.1	Descripción de los indicadores de pobreza.....	92
4.2.2	Municipios de la Cuenca del Alto Atoyac con altas tasas de incidencia por leucemias agudas infantiles.....	93
4.2.3	Mortalidad e incidencia de leucemias agudas en la Cuenca del Alto Atoyac y su área de influencia.....	94
4.2.4	Identificación del riesgo de desarrollar leucemias agudas en subregiones de alta concentración de metales tóxicos y arsénico dentro de la Cuenca del Alto Atoyac.....	95
4.3	Resultados del análisis geoespacial de la problemática de salud y el deterioro ambiental	98
4.3.1	Municipios con elevada mortalidad por enfermedad renal crónica	99
4.3.2	Municipios con elevada mortalidad por leucemias agudas.....	101
4.3.3	Análisis geoespacial de la distribución de los contaminantes y los datos de mortalidad por enfermedad renal crónica y leucemia.....	103
4.4	Sistema comunitario de vigilancia: indicadores tempranos de exposición y de efectos adversos en salud	115
4.4.1	Biomonitoreo: España, Apizaco y Santa Ana Nopalucan.....	116
4.5	Salud laboral	121
5.	ACCIONES PARA LA DEFENSA Y PROMOCIÓN DE LA SALUD CON Y PARA LAS COMUNIDADES EN LA CUENCA DEL ALTO ATOYAC	125
5.1	Registro estatal de enfermos renales.....	127
5.2	Registro de casos incidentes de leucemia infantil en la región de la Cuenca del Alto Atoyac y la zona de influencia	129
5.3	Herramientas para la promoción de la salud y capacitación del personal de salud: enfermedad renal crónica.....	130
5.4	Sistematización de la ruta de atención: Pronaii Leucemia Infantil.....	132
5.5	Tableros de visualización de datos en salud y del sistema agroalimentario en la Cuenca del Alto Atoyac.....	135
5.6	Acciones de promoción de salud con y para las comunidades.....	139
6.	RECOMENDACIONES	143
7.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	155
8.	REFERENCIAS	163
	FIGURAS	175
	TABLAS	181
	SIGLAS Y ACRÓNIMOS	183
	GLOSARIO	185
9.	ANEXOS	193



1. SÍNTESIS EJECUTIVA



1. SÍNTESIS EJECUTIVA

El presente documento tiene como propósito integrar la información humanística, científica y tecnológica, resultado de proyectos rigurosos de investigación e incidencia de los Programas Nacionales Estratégicos (Pronaces) del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) en las agendas de Salud, Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes, y Agua, para sustentar el estado de contaminación de la Cuenca del Alto Atoyac (CAA) y los daños que han provocado en la salud de las personas que habitan las poblaciones asentadas en esta región.

La CAA es una de las 30 regiones del país que identifica el gobierno de México, encabezado por el presidente Andrés Manuel López Obrador, a través del Conahcyt, en estado de emergencia socioambiental y sanitaria (RESAs). Estas regiones presentan fuentes y procesos contaminantes concatenados que han provocado profundas y graves consecuencias en la salud de sus poblaciones. Estas RESAs son una de las herencias más funestas del sistema neoliberal.

En varias de estas regiones, incluida la CAA, las comunidades han demandado durante décadas justicia socioambiental, sin recibir la atención adecuada y suficiente por parte de las autoridades competentes. En algunos casos, el nivel de los daños ambiental y sanitario ha llegado a llamar la atención de comisiones de derechos humanos nacionales e internacionales, de tribunales éticos e inclusive de la Corte Interamericana de Derechos Humanos (CIDH).

Uno de los argumentos reiterados para invisibilizar las justas demandas de las comunidades afectadas en estas RESAs ha sido la falta de evidencia científica de los procesos contaminantes y del deterioro de la salud que se han denunciado.

Este primer informe para la CAA constituye un instrumento que podrá usarse para sustentar científicamente, tanto los programas

de atención de los gobiernos federal, estatal y municipal, como de las acciones y demandas que las comunidades en la CAA tengan a bien llevar a cabo.

Contexto socioambiental de la Cuenca del Alto Atoyac

La CAA es una región de aproximadamente 4,000 km² que abarca 47 municipios de Tlaxcala y 22 de Puebla. Se estima que, en 2023, **viven en esta región el 79.5% (1,133,149 hab.) de la población de Tlaxcala (1,425,604 hab.) y el 42% (2,844,364 hab.) de la población de Puebla (6,780,465 hab.)**. En esta zona nace el río Atoyac, que más adelante se convierte en el río Balsas, para finalmente desembocar en aguas del océano Pacífico.

A lo largo de las últimas décadas, los habitantes de la CAA han atestiguado el **constante incremento de asentamientos industriales** como la llegada de Volkswagen en 1965, la creación del Complejo Petroquímico Independencia en 1969 o la instalación de la empresa Audi en 2016, entre otros que se extienden, principalmente, alrededor del volcán Matlacuéyatl, coloquialmente conocido como la Malinche (**Figura I**).

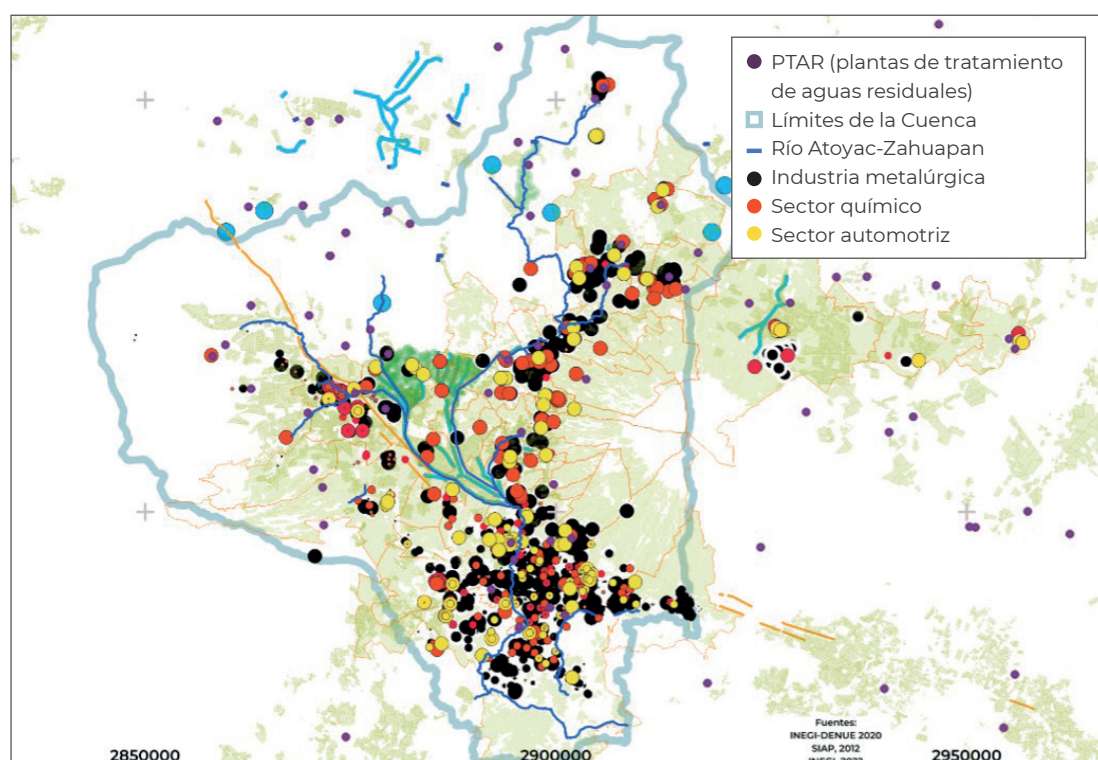


FIGURA I.
Delimitación geográfica de la CAA y geolocalización de los sectores económicos por tipo de actividad y tamaño de la empresa.

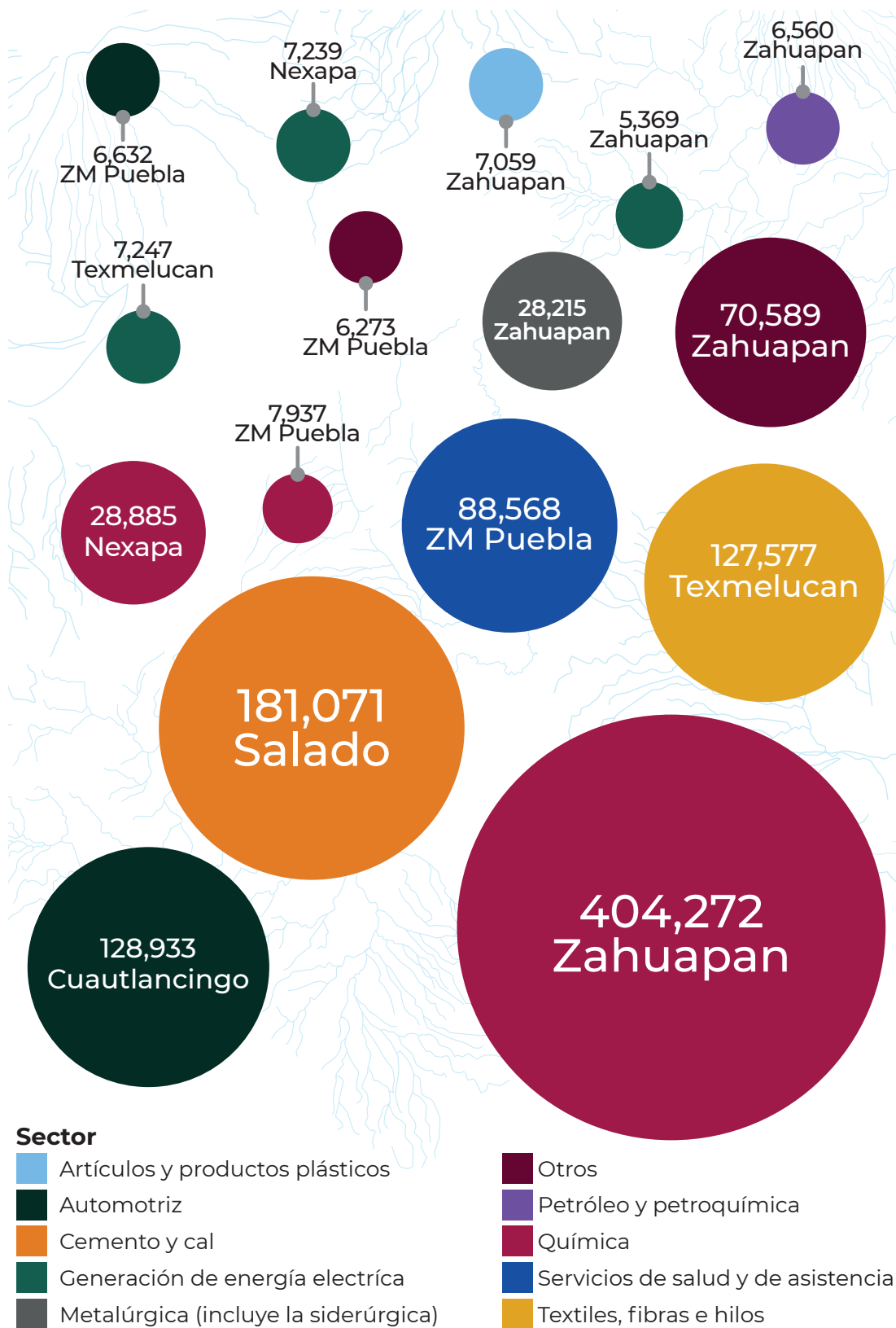
La región presenció un desarrollo económico de aparente prosperidad, pero la organización de procesos mercantiles globales que privilegió la rentabilidad de empresas transnacionales promovió “externalidades” sanitarias, sociales y ambientales de consecuencias graves para las comunidades locales. Lo anterior ha provocado que en esta cuenca se presenten tasas de incidencia, prevalencia y mortalidad de enfermedades prevenibles, mucho mayores a los promedios nacionales. **La evidencia científica presentada en este primer informe demuestra que estas altas tasas son causadas por la exposición a tóxicos y procesos contaminantes de las industrias asentadas en la región.**

Las industrias con mayores emisiones de contaminantes son las del ramo automotriz, eléctrico, químico y textil. Entre los tóxicos más importantes se encuentran: **metales pesados, metaloides, compuestos orgánico-sintéticos, plaguicidas**, entre otros que son vertidos y emitidos al agua, al aire y al suelo.

Según datos del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), la zona con la mayor cantidad de emisiones es la del Zahuapan, subcuenca del río Atoyac localizada en Tlaxcala. En esta subregión se encuentran importantes industrias químicas y otras de diversa índole que, también, son altamente contaminantes (**Figura II**).

En las últimas décadas de desarrollo industrial en la región, se ha dado lugar a un escenario complejo de fuentes, rutas, vías y matrices de exposición, que van desde fuentes puntuales de contaminación identificables en las descargas industriales, municipales y en las emisiones al aire, hasta fuentes difusas originadas en el intenso tráfico de vehículos pesados en la red de carreteras y en las escorrentías que arrastran agroquímicos a lo largo de toda la CAA.

En este primer informe nos centramos en los estudios de dos de las enfermedades con mayor carga asociada a la exposición de los tóxicos y procesos contaminantes imperantes: las enfermedades renales crónicas (ERC), que pueden llegar a ser letales en pacientes cada vez más jóvenes, y las leucemias infantiles y juveniles.

**FIGURA II.**

Análisis de datos del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes de agua, alcantarillado, suelo y aire (sin incluir CO₂, y otros gases de efecto invernadero) en el periodo 2004- 2021.



ENFERMEDAD RENAL CRÓNICA

- ▶ En **todas** las regiones de Tlaxcala que integran la CAA, la **tasa de mortalidad por ERC** en personas de entre 15 y 49 años es 1.2 hasta 4.7 mayor a la media nacional.
- ▶ **Acuamanala de Miguel Hidalgo, Mazatecochco de José María Morelos, San Francisco Tetlanohcan, Teolochohco, Papalotla de Xicohténcatl y Tenancingo**, todos municipios tlaxcaltecas localizados al oriente de la Cuenca, presentan las relaciones más significativas entre tasas elevadas de mortalidad por ERC y los niveles de contaminación más altos por compuestos orgánicos sintéticos detectados en el río (**Figura IIIa**).
- ▶ En el estudio epidemiológico ambiental, que incluyó la participación de 914 personas jóvenes con una edad promedio de 13 años, se identificó que más del **50% de la población está expuesta a agentes altamente tóxicos como: arsénico, malatión, glufosinato, glifosato y picloram**. El 19% de los participantes ya presenta un grado de disfunción renal que representa una prevalencia muy elevada para una población joven, en contraste con el promedio mundial para este grupo etario de alrededor del 1%. A pesar de tratarse de una población sin sintomatología aparente, se encontraron múltiples asociaciones entre la exposición a arsénico, cobre, fluoruro, plomo, vanadio, AMPA, glufosinato, malatión, picloram y el aumento de los niveles de marcadores de daño y disfunción renal. Estas asociaciones indican un daño subclínico renal que **incrementa el riesgo, en esta población, a desarrollar ERC** y sus complicaciones.



LEUCEMIAS AGUDAS

- ▶ **Ocoyucan, Coronango, Juan C. Bonilla, San Pedro Cholula, San Andrés Cholula y Puebla en el estado de Puebla, y Papalotla de Xicohtencatl y Tenancingo en el estado de Tlaxcala**, municipios al sur de la Cuenca, presentan las relaciones más significativas entre tasas elevadas de mortalidad por leucemias agudas en personas de 0 a 19 años y los niveles de contaminación más altos por **metales y arsénico** detectados en el río (**Figura IIIb**).
- ▶ En el estudio de casos y controles en participantes menores de 20 años, se observó que **Tlatlauquitepec, Tlahuapan, San Pedro Cholula, Acajete, Teziutlán, San Martín Texmelucan, Chignahuapan y Amozoc en el estado de Puebla, y Chiautempan y San Pablo del Monte en el estado de Tlaxcala**, son los municipios con la mayor tasa de incidencia de leucemias agudas.
- ▶ Cerca del **41% de los casos de leucemias agudas** en menores de 19 años en los estados de Tlaxcala y Puebla residen en la CAA. El 58% de estas leucemias son de alto riesgo.
- ▶ Además, se observó que el riesgo de desarrollar leucemias agudas se duplica en las poblaciones que viven en la subregión de la CAA con alta exposición potencial a **mezclas de metales y arsénico**, en comparación a aquellas que viven en las subregiones de baja y moderada exposición.



BIOMONITOREOS

- ▶ En **Españita**, más del **50%** de los jóvenes participantes tuvieron valores elevados de **plomo y cromo**.
- ▶ En **Españita y Apizaco**, más del **50%** de las personas participantes tuvieron niveles elevados de **cadmio**.
- ▶ Plomo, cromo y cadmio son metales pesados con efectos tóxicos a nivel renal.
- ▶ En ambos municipios también se identificaron niveles de exposición detectables a **plaguicidas y PCBs**, carcinógenos y disruptores endócrinos confirmados.
- ▶ En la población se observaron, desde edades tempranas, **alteraciones en estos parámetros clínicos**, cuya evolución puede ser negativa si no se atiende de forma oportuna.



RIESGOS LABORALES EN POBLACIÓN ALFARERA

- ▶ En un estudio epidemiológico donde participaron 184 personas alfareras de comunidades en los municipios de **Españita, San Salvador Tzompantepec, San Pablo del Monte y la Trinidad Tenexyecac** se identificó que el **86% de estas personas tienen niveles elevados de exposición al plomo**.
- ▶ Entre los efectos adversos observados en la salud de esta población, posiblemente relacionados con la exposición crónica a plomo y el resto de los contaminantes en la CAA, se identificaron marcadores asociados con **enfermedades cardiovasculares y renales**. El 50% de los participantes presentaron **hiperfiltración**, un proceso que denota riesgo en el desarrollo de ERC.

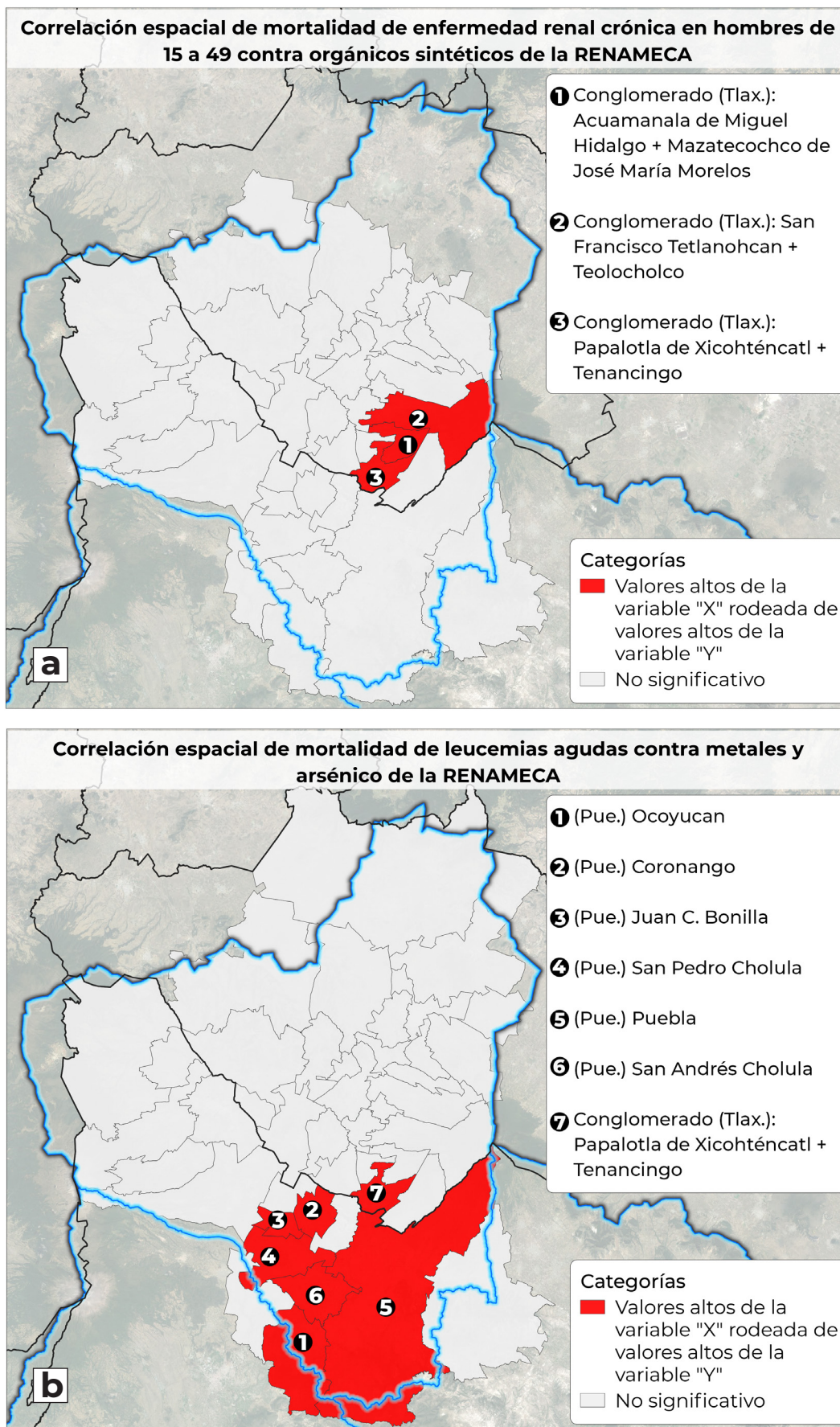


FIGURA III.
 Resultados
 del análisis de
 autocorrelación
 geoespacial en-
 tre indicadores
 de contamina-
 ción detectados
 en el río y las
 tasas de morta-
 lidad por Enfe-
 rmedad Renal
 Crónica (a) y de
 leucemia (b).



NOTAS ADICIONALES DE LOS RESULTADOS

- 1 La identificación de ciertos elementos y compuestos tóxicos en los estudios presentados en el informe, no limita la posibilidad de la presencia y exposición de muchos más que no se evaluaron, pero que, igualmente, representan riesgos a la salud humana.
- 2 La identificación de estas sustancias apunta a la exposición a mezclas, de las cuales se sabe poco en términos toxicológicos, pero que claramente pueden actuar de forma sinérgica para causar enfermedades múltiples.
- 3 Los elementos y compuestos químicos encontrados en la población participante en los distintos estudios son tóxicos. Los efectos adversos en la salud humana son ampliamente conocidos y de carácter sistémico porque pueden causar mortalidad prematura.
- 4 Los contaminantes que causan enfermedad y muerte en la CAA, no solamente se descargan y acumulan en el agua, sino también en el aire y en el suelo, complicando los escenarios de exposición a los que han estado sujetos los pobladores de esta región.
- 5 El análisis crítico realizado a partir de tres bases de datos oficiales: RETC, REAMECA e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), ha brindado información relevante en la reconstrucción de una parte fundamental del escenario cualitativo de exposición que afecta a la CAA. Este análisis, aunado a los datos sobre el incremento de enfermedades en la región, serán muy útiles para ajustar las nuevas políticas públicas y actos de autoridad que garanticen resarcir el daño causado a las poblaciones de la región y evitar que este se perpetúe.

Acciones de incidencia por parte del Conahcyt

Además de las evidencias contundentes resumidas de manera previa, los distintos proyectos de los Pronaces han desarrollan acciones específicas encaminadas a la defensa, promoción y mejora de la salud en las poblaciones de la región:

- **Sistemas de registro de enfermedad:** se desarrolló una plataforma en línea para el registro de ERC y sus determinantes socioambientales, así como una metodología sistematizada de registro poblacional y hospitalario interinstitucional para leucemias. Estos instrumentos están a disposición de las dependencias pertinentes de los tres niveles de gobierno.
- **Acciones de sensibilización y capacitación:** se desarrolló una plataforma en línea de acceso libre donde se ponen a disposición contenidos informativos, recursos multimedia didácticos para todo público, así como cursos para la capacitación del personal de salud desde una visión clínica y bajo la perspectiva comunitaria.
- **Plataformas para la visualización de información:** se desarrollaron tres plataformas que incluyen la disposición de datos y visualización de información en temas de salud, servicios de salud, salud ambiental y sistema agroalimentario en la CAA.

Todos estos contenidos se encuentran disponibles en el repositorio nacional del Pronaces Salud y en el Ecosistema Nacional Informático de Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes a cargo del Conahcyt.

- **Ruta de atención para leucemias:** se desarrolló una estrategia de acción para la vigilancia médica oportuna que asegura el diagnóstico y seguimiento preciso, integral e ininterrumpido para cada caso de sospecha de leucemia infantil.
- **Laboratorio de Citómica del Cáncer Infantil (dentro del Instituto Mexicano del Seguro Social):** este laboratorio ofrece servicios a las poblaciones de la CAA, mediante todas las capacidades para elaborar diagnósticos y pronósticos de última generación, precisos y oportunos, que son

claves para aumentar las probabilidades de supervivencia de los pacientes.

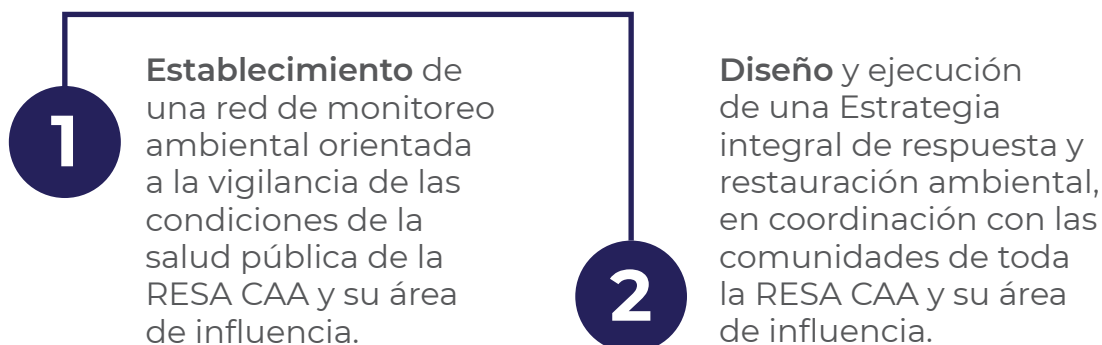
- **Estrategias de comunicación social:** se han creado materiales de difusión en colaboración con habitantes de la CAA, que incluyen infografías sobre los riesgos laborales que se tienen durante la elaboración de productos de cerámica, así como la publicación del libro *Salud ambiental en la CAA: situación, peligros ambientales y acciones para reducir el riesgo de ECNT*.
- **Investigación-acción-participativa:** se llevan a cabo actividades como talleres comunitarios y artes participativas, a fin de involucrar a los habitantes, hacerlos partícipes y reflexionar en conjunto sobre la realidad ambiental y de salud que se vive en la región, así como las oportunidades que se pueden encontrar para disminuir los daños en tanto se genera una acción más contundente por parte de los gobiernos.

Recomendaciones

Si bien las acciones que se desarrollan desde los diferentes proyectos de investigación son relevantes para las poblaciones y para los territorios, aún son insuficientes para atender la grave situación de la CAA.

A continuación, se resume una serie de recomendaciones para la RESA CAA y su zona de influencia:

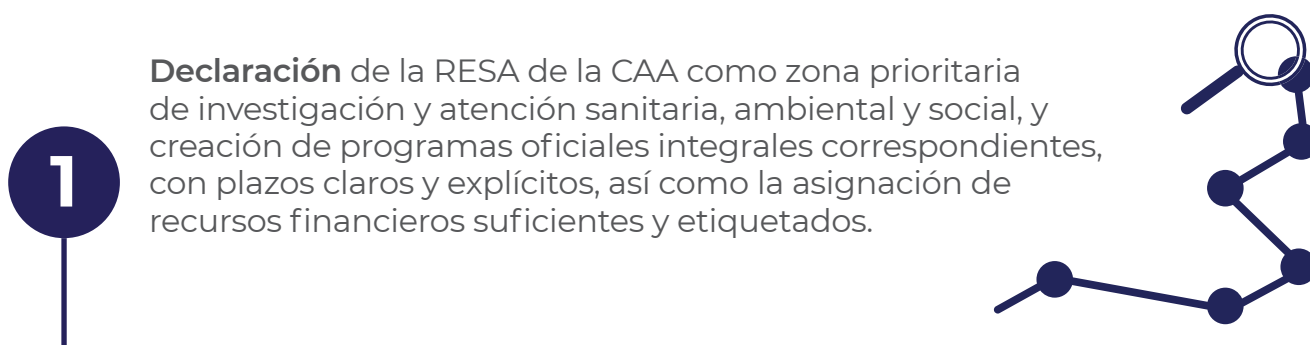
I. MONITOREO Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL



II. ATENCIÓN A LA SALUD

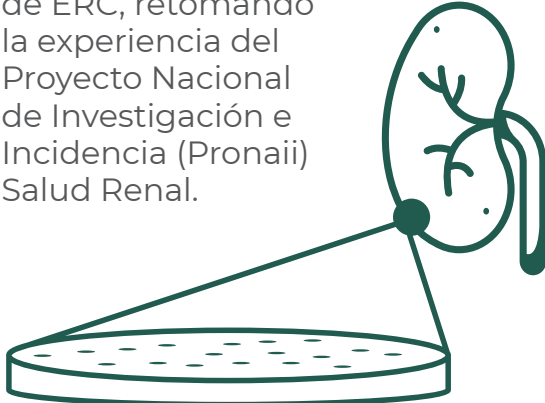


III. LEGISLACIÓN Y POLÍTICA AMBIENTAL



4

Implementación de un programa de tamizaje para la detección temprana de ERC, retomando la experiencia del Proyecto Nacional de Investigación e Incidencia (Pronaii) Salud Renal.



7

Establecimiento de unidades médicas móviles enfocadas en la detección temprana de enfermedades.



5

Elaboración de una metodología compartida para transferir, integrar y desarrollar los registros de base poblacional y hospitalario, derivados de distintas experiencias, incluyendo la de la Secretaría de Salud del gobierno del Estado de Tlaxcala y del Conahcyt en temas de ERC y leucemias.

6

En una metodología, también compartida para la elaboración de los expedientes clínicos, incorporación de indicadores de riesgo desarrollados para las zonas críticas de la RESA CAA en los perfiles pronósticos y en la estratificación diagnóstica en todos los niveles de atención.

2

Reorganización de la política ambiental en materia de agenda gris, regulación industrial y ordenamiento ecológico y territorial.

3

Actualización de la Declaratoria de Clasificación que incluya los contaminantes considerados en la RENAMECA e identificados en la Cuenca en el periodo 2012-2020.

IV. RECOMENDACIÓN DE ACCIONES GENERALES DE FONDO PARA ESTA Y OTRAS RESAS DURANTE EL SIGUIENTE SEXENIO

1

Fortalecimiento y expansión de la iniciativa de la Secretaría de Salud en la CAA hacia otras RESAs, en vista a crear un Programa Nacional Emergente de Atención a la Salud ambiental. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) debe considerar este programa como base de una nueva agenda gris encaminada a la atención de las RESAs.

6

Articulación de un sistema de competencias institucionales (ambientales, hídricas, atmosféricas, sanitarias, etc.) que permita la prevención, diagnóstico, atención apropiada y tratamiento integral del sistema de problemas presentes en las RESAs.

5

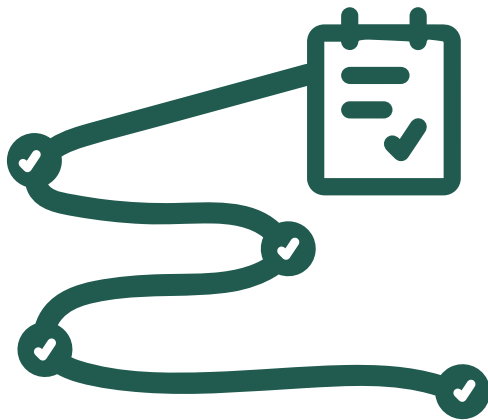
Creación de comisiones específicas de personas científicas, comunidades afectadas y servidores públicos que sean apropiadas para identificar, jerarquizar y atender los problemas de cada RESA.



Finalmente, para garantizar que este esfuerzo logre trascender a una política de planeación adecuada y localizada, la Semarnat, la Secretaría de Salud y el Conahcyt, además de las autoridades estatales y locales correspondientes, deben integrar una estrategia de seguimiento permanente que avance de la mano con las comunidades para incidir, no solo en atender la contingencia de salud pública y ambiental, sino en establecer estrategias y acciones dirigidas a eliminar las causas de fondo, al priorizar la observación, actualización o adecuación de las normas existentes, procurando así la recuperación de la salud humana y ambiental.

2

Elaboración de planes integrales dirigidos a detener los problemas de violencia social y pobreza estructural profundas a la que están sujetas las poblaciones de las RESAs, los activistas y las organizaciones sociales maduras que se enfrentan al problema de la degradación de la salud, la contaminación y la pérdida del ambiente.



3

Visibilización pública y general de las problemáticas, enfatizando entre las personas servidoras que ocupan puestos estratégicos en el gobierno.

4

Conformación de una Comisión Nacional interdisciplinaria de alto nivel, gobernada por expertos sin conflicto de interés, que identifique y determine de manera sistematizada otras RESAs que actualmente existen dentro del país, y contribuya a elaborar las leyes, normas y programas específicos necesarios para la remediación y atención en materia social, de salud y ambiente.







2. INTRODUCCIÓN





2. INTRODUCCIÓN

La Cuenca del Alto Atoyac (CAA) es habitada por alrededor de 3,857,882 personas (INEGI, 2020). Es la cuarta concentración metropolitana más grande del país y alberga un importante número de empresas ligadas a la red de proveeduría automotriz, empresas que liberan sustancias tóxicas al medio ambiente, tanto al agua, suelo y aire. Después de cinco décadas de operación de estos núcleos industriales, la Comisión Nacional del Agua publicó en 2011 una Declaratoria de Clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac, estableciendo metas de calidad del agua para limitar la descarga de contaminantes a la red fluvial.

En colaboración con las organizaciones sociales de la región, durante las dos décadas pasadas se han realizado diversos monitoreos, caracterizaciones y regionalizaciones de las sustancias en el río y en los municipios más contaminados. Estos estudios han servido para delimitar una Región de Emergencia Sanitaria y Ambiental (RESA) Cuenca del Alto Atoyac, que se caracteriza por la confluencia de una alta concentración de actividades industriales, una elevada contaminación en agua y aire, y tasas crecientes de enfermedades crónicas no transmisibles en poblaciones cada vez más jóvenes.

2.1. Ubicación geográfica de la Cuenca del Alto Atoyac

La subcuenca hidrológica del Alto Atoyac abarca un total de 69 municipios, 47 en Tlaxcala y 22 en Puebla (**Anexo A**), es decir, en esta región vive el 79% de la población tlaxcalteca y el 42% de la poblana.

La CAA es la parte más elevada y el nacimiento del río Atoyac, el cual, a su vez, continúa en el río Balsas que desemboca en el océano Pacífico. Esta subcuenca tiene una superficie aproximada de 4,001.66 Km², cuya máxima altitud se encuentra en el volcán Iztaccíhuatl, con 5,230 metros sobre el nivel del mar (msnm), la mínima en 2,016 msnm en la presa Manuel Ávila Camacho, conocida popularmente como Valsequillo, y una altitud promedio de 2,319 msnm. Se ubica entre los paralelos 18° 50' y 19° 45' de latitud norte y los meridianos 97° 55' y 98° 45' de longitud oeste, delimitada por el parteaguas del Popocatepetl, Iztaccíhuatl y Tláloc, al poniente; el Macizo Tlaxcalteca y la sierra de Tlaxco, al norte; la Malinche, al oriente; y la Sierra de Tentzo, al sur (**Figura 1**).

La mayor parte de la superficie está constituida por altiplanicies de origen volcánico y fluvio lacustre que en origen albergaban una extensa superficie de humedales, pero que hoy se encuentran desecados y utilizados como zonas agrícolas. Estos antiguos

humedales constituyen algunos de los suelos más fértiles de la subcuenca. La agricultura es tanto de temporal, auspiciada por las abundantes lluvias en verano, como de regadío, para lo cual se extrae caudal de los ríos Atoyac y Zahuapan, de la presa de Atlanga, así como de algunos pozos y manantiales. Su clima es templado y moderado, sin grandes oscilaciones térmicas, con lluvias en verano y un periodo seco en invierno. Estas características permitieron la introducción de granos y cultivos de zonas templadas a la llegada de los europeos; lo cual, aunado a su cercanía con la Ciudad de México, motivó un asentamiento poblacional intenso, lo que actualmente se aprecia en el gran tamaño de las localidades urbanas de la zona, con su subsecuente desarrollo económico, especialmente industrial.

Sin embargo, la falta de regulación del crecimiento urbano, industrial y agrícola ha agravado la situación en la zona, lo que ha afectado la calidad del agua, del aire y del suelo. El río Atoyac es uno de los ríos más contaminados de México debido a las descargas de aguas residuales no tratadas de más de ocho mil empresas, incluyendo las industrias textil, alimentaria, farmacéutica y automotriz. Esto representa un riesgo para la salud de la población local quienes están expuestos a sufrir enfermedades catastróficas, como la Enfermedad Renal Crónica (ERC) y diferentes tipos de cáncer (Casiano y Bressers, 2015).

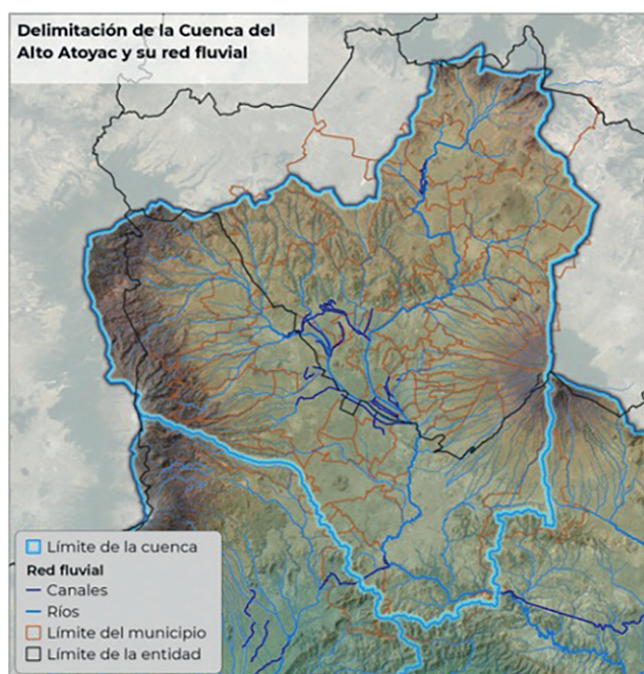


FIGURA 1.

Delimitación de la CAA y su red fluvial en los estados de Puebla y Tlaxcala. Se muestran en azul oscuro las obras hidráulicas de desvío para riego como el Canal Buenos Aires entre el Atoyac y el Zahuapan en el DR 056, en el valle al centro de la Cuenca; el Canal Portezuelo entre el Atoyac y el Nexapa, en el meandro al sur del valle; el Canal Valsequillo entre el Atoyac y El Salado, que inicia en la obra de toma de la presa de Valsequillo; y las derivaciones asociadas a la presa de Atlanga, en el extremo norte.

La CAA forma parte de la cabecera del río Balsas, tiene a la cuarta concentración metropolitana del país y, debido a su estado de contaminación, cuenta con un estudio de clasificación a partir del cual Conagua publica una Declaratoria en 2011 en donde especifica las metas de calidad a cumplir en los plazos de 2011, 2015 y 2030.

2.2 Antecedentes de investigaciones científicas en la región de la Cuenca del Alto Atoyac

A lo largo de las últimas dos décadas, un gran número de investigaciones provenientes de diversas disciplinas científicas tanto de corte biológico como social (**ver Tabla 1**), han recabado evidencia que visibiliza un incremento en la problemática socioambiental, en gran medida debida a un efecto antrópico producto de una industrialización desmedida, lo cual impacta de manera negativa la salud de los habitantes de la CAA. Por ejemplo, los estudios biológicos y medioambientales realizados en la CAA han mostrado una asociación potencial entre la presencia de contaminantes como el plomo y el arsénico en agua y suelo, y una alta incidencia de biomarcadores de daño renal, así como de genotoxicidad y estrés oxidante, los cuales tienen efectos carcinógenos que podrían estar asociados con el reciente incremento en el número de casos de leucemia infantil en la región. En paralelo, diversas publicaciones de corte social se han dedicado a darle voz a grupos y organizaciones civiles locales que luchan por denunciar públicamente el decremento en la calidad de vida de los pobladores producto del deterioro ambiental a lo largo de la CAA.

TABLA 1.
Artículos relevantes sobre factores biológicos, ambientales y sociales asociados la problemática ambiental en la CAA (2000-2023).

I. ARTÍCULOS CIENTÍFICOS (MARCADORES BIOLÓGICOS)				
ÁREA DE ESTUDIO	POBLACIÓN	VARIABLES	PRINCIPALES RESULTADOS	REFERENCIA
Municipios cercanos a los ríos Atoyac y Xochiac, Tlaxcala.	105 sujetos (48 hombres, 57 mujeres), (19-80 años).	Biomarcadores de genotoxicidad (análisis de micronúcleos, puentes nucleoplásmicos, alteraciones de la cromatina).	Incremento de daño genotóxico en las zonas más cercanas a los ríos Atoyac y Xochiac.	Montero et al., 2006.
Estado de Tlaxcala.	49 pacientes con leucemia linfoblástica aguda (4-20 años de edad).	Exposición crónica a sustancias tóxicas en el medio ambiente (p.ej., humo de cigarro).	La exposición de la madre al humo del cigarro durante el embarazo incrementó 12.3 veces más el riesgo de desarrollar leucemia linfoblástica aguda.	Flores-López et al., 2015.

Apizaco, Tlaxcala.	109 niños (5-14 años).	Biomarcadores de daño renal (creatinina, urinálisis, radio microalbúmina/ creatinina).	Los principales factores de riesgo relacionados con la reducción de la tasa de filtración glomerular fueron ser del sexo masculino, participantes de mayor edad y vivir cerca de un río.	Ortega-Romero et al., 2019.
Río Atoyac, Ocoyucan, Puebla.	110 encuestas a hogares para obtener información acerca del abastecimiento de agua y medidas sanitarias.	Concentración de metales pesados (Al, Fe, Cu, Pb, Cd, Zn, Co, Ni y Cr) en muestras de pozos y manantiales.	Mayor riesgo de desarrollar cáncer por exposición oral a Cr. Asimismo, la exposición a Cr y Pb está asociada con un mayor riesgo a la salud.	Pérez-Castresana et al., 2019.
Tepetitla de Lardizabal y Santiago Ixtenco.	Niños (8-13 años) (número de muestra no especificada).	Marcadores de estrés oxidativo y genotoxicidad.	Incremento de reticulocitos micronucleados indicativo de un mayor estrés oxidativo.	Montero-Montoya et al., 2020.
Apizaco, Tlaxcala.	111 niños (5-14 años).	Biomarcadores de daño renal temprano.	Asociación entre cuatro biomarcadores tempranos de daño renal y la concentración de fluoruro, vanadio y arsénico total.	Ortega-Romero et al., 2023.

II. ARTÍCULOS CIENTÍFICOS (FACTORES AMBIENTALES)

ÁREA DE ESTUDIO	MUESTRAS Y VARIABLES	PRINCIPALES RESULTADOS	REFERENCIA
Poblado de Santa Ana Xalmimilulco, Huejotzingo, Puebla.	Presencia de metales (Pb, Ni, Cu, Cr, Zn y As) en muestras de productos lácteos.	Altas concentraciones de Pb y As en leche para producción de queso tipo Oaxaca.	Castro-González et al., 2017.
Área metropolitana del río Atoyac, Puebla.	Muestras de agua del río Atoyac (presa Covadonga, presa Echeverría y el canal de irrigación).	Incremento de la demanda hémica de oxígeno y de la presencia de metales pesados en comparación con datos del 2011. Asimismo, se observó una asociación entre presencia de bacterias coliformes y la condición anóxica del río.	Pérez-Castresana et al., 2018.
Ríos Zahuapan y Atoyac, zona de confluencia, presa Valsequillo.	Concentración de metales y elementos traza en muestras de sedimentos fluviales.	Los principales contaminantes asociados con potenciales efectos negativos en la salud son As, Pb, Cu, Ni y Cr.	Rodríguez-Espinosa et al., 2018.

Subcuenca del Alto Balsas, Tlaxcala y Puebla.	Presencia de metales y arsénico en aguas residuales y suelo.	Altas concentraciones de Pb y Ni en aguas residuales. Altas concentraciones de Cd, Cr, Pb, Ni, Zn, Cu y As en suelos agrícolas de la región.	Castro-González et al., 2019.
Río Texcalac, Tlaxcala.	Muestras de sedimentos y de tierra de uso agrícola cercanas al río Texcalac.	Altas concentraciones de contaminantes orgánicos (p.ej., DDT, bifenilos policlorados).	García-Nieto et al., 2019.
Río Atoyac, Puebla.	Concentración de metales pesados en muestras	Alta concentración de Pb, Hg y Cd se asoció con toxicidad aguda.	Hernández-Ramírez et al., 2019.

III. ARTÍCULOS DE CORTE SOCIAL

IDEAS PRINCIPALES DEL ARTÍCULO	REFERENCIA
El uso de la Herramienta de Evaluación de la Gobernanza ha propiciado un aumento en el porcentaje de aguas residuales tratadas, sin embargo, no se han logrado las metas de calidad del agua establecidas por la Clasificación de Ríos. Con las últimas reformas se ha evidenciado que la disminución de la participación de los niveles de gobierno municipal ha demostrado ser fundamental para mejorar la política de implementación de las plantas de tratamiento de agua al incrementar la participación de actores políticos de otros niveles de gobierno.	Casiano Flores et al., 2016.
Se aborda la lucha que por más de 15 años la "Coordinadora por un Atoyac con Vida" ha llevado a cabo para denunciar los daños a la salud provocados por la industrialización desmedida en la CAA.	Ramírez Varela y López Santos, 2018.
Se describe la creación y puesta en marcha de un conjunto de organizaciones locales frente al riesgo socioambiental por contaminación en la CAA entre las que destacan la Coordinadora por un Atoyac con Vida, la Red de Jóvenes en Defensa de los Pueblos y el Centro Fray Julián Garcés de Derechos Humanos A.C., quienes por más de dos décadas han denunciado públicamente el impacto ambiental que está provocando el desarrollo industrial en la CAA.	Hernández García, 2019.

Nota: Se incluyeron artículos publicados en revistas indexadas.

2.3 Programas Nacionales Estratégicos en la Cuenca del Alto Atoyac

Los Pronaces comprenden 10 agendas temáticas de trabajo en donde se articulan las capacidades científico-técnicas con actores sociales, del sector público o privado, para alcanzar metas a corto, mediano y largo plazo que conduzcan a la solución de problemáticas nacionales que, por su importancia y gravedad, requieren de una atención urgente y de una solución integral, profunda y amplia. Los Pronaces requieren la integración armónica de saberes, puntos de vista y necesidades, con abordajes participativos y colaborativos entre los actores. En cada uno se propone una agenda general para abordar las problemáticas en su complejidad estructural y dinámica, no sólo para comprender sus características múltiples y heterogéneas, sino para sugerir, generar y acompañar la realización de acciones concretas y bien estructuradas que incidan en las causas de estos y en sus dinámicas de reproducción. Su impacto se determina principalmente por acciones enfocadas en la transformación y en la resolución de las problemáticas que son, sin duda, los resultados que mejor representan esta iniciativa.

El Pronaces de Salud se conformó en alianza con la Secretaría de Salud. Se impulsa la vinculación entre grupos académicos y organizaciones sociales que dialogan a través de redes de colaboración para crear espacios, procesos y acciones sinérgicas y novedosas que aportan soluciones a los problemas de salud más apremiantes del país. En la CAA se desarrollan seis Proyectos Nacionales de Investigación e Incidencia (Pronaii) a diferentes niveles, orientados en un modelo de investigación-incidencia, en temas de leucemia, salud renal y ciencia de datos. Con una inversión total de más de

96 millones de pesos y la participación de 65 investigadores y 53 instituciones, además ha contribuido al entendimiento profundo de dichas problemáticas y se trabaja actualmente en la traducción de los procesos de investigación e innovación hacia acciones concretas de incidencia social en materia de salud, con énfasis en su conducción como políticas públicas.

Los cuatro proyectos de investigación en la Cuenca pertenecientes al Pronaces de Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes, tienen una inversión total de 48 millones. En este conjunto de proyectos se están investigando los riesgos ocupacionales y ambientales de diversas zonas en la región. Además, se trabaja con las bases de datos oficiales y los documentos de ordenamiento territorial y planeación económica para regionalizar los núcleos críticos, tanto por la generación de contaminantes, como por su transporte y acumulación. Finalmente, como parte de la evaluación de diferentes instrumentos de gestión de la información y normatividad ambiental, generada por el sector ambiental gubernamental, se realizan una serie de propuestas para su adecuación en la región.

El Pronaces de Agua, cuenta con un Pronaii en esta región, con una inversión total de 14.9 millones y se centra en coadyuvar en la reconstrucción del ciclo socio-natural del agua en la Cuenca Atoyac-Zahuapan, para combatir la devastación socioambiental de la CAA, los daños a la salud de la población y la destrucción de las economías agroecológicas, mediante la reapropiación comunitaria como eje vertebral del manejo socioambiental integral de cuencas.



3. EVIDENCIAS DEL DETERIORO SOCIOAMBIENTAL EN LA CUENCA DEL ALTO ATOYAC



3. EVIDENCIAS DEL DETERIORO SOCIOAMBIENTAL EN LA CUENCA DEL ALTO ATOYAC

3.1 Marco socioeconómico y cultural

La CAA está integrada por las subcuencas de los ríos Atoyac y Zahuapan, y cubre parcialmente los estados de Tlaxcala y Puebla. Los municipios más poblados son Puebla, Amozoc, Cuautlancingo, Huejotzingo, San Andrés Cholula, San Pedro Cholula y San Martín Texmelucan en el estado de Puebla y Apizaco, San Pablo del Monte y Tlaxcala en el estado de Tlaxcala (INEGI, 2020).

Desde la segunda mitad del siglo XVI y hasta finales del siglo XVIII, la ciudad de Puebla adquirió importancia como centro productivo a nivel nacional gracias al desarrollo de la industria textil. Industria pionera en la introducción de procesos mecanizados con la fundación de la fábrica “La Constancia” en 1835 (Ibañez, 2012). Después de la revolución mexicana, la región continuó desarrollándose con el apoyo de los gobiernos federales; un ejemplo es la construcción y apertura de la fundidora de Panzacola en 1937 cerca de la confluencia de los

ríos Atoyac y Zahuapan, dedicada a la producción de motores de todas clases para satisfacer las necesidades de las industrias textil y agrícola de la región (Gamboa y Santibañez, 1994). Asimismo, el sector textil comenzó su proceso de modernización en el primer tercio del siglo XX, con la operación de plantas privadas de producción de electricidad, la importación de maquinaria textil transportada por ferrocarril desde Veracruz y la construcción de telares y refacciones de maquinaria textil en la fundidora de Panzacola (Gutiérrez, 2000).

Desde entonces y hasta el día de hoy, la región se ha caracterizado por un incremento constante en el asentamiento de conglomerados industriales químicos (de pinturas, metalúrgicos y de plásticos), que se extienden alrededor del volcán Matlacuéytl o Malinche, desde Apizaco, Huamantla y Cuapiaxtla en el estado de Tlaxcala y hasta San José Chiapa, al Sur de Puebla (INEGI, 2020).

A) Aspectos sociodemográficos relevantes

La población de la Cuenca es predominantemente joven. Alrededor del 24% tienen entre 1 y 14 años, cerca del 54% entre 15 y 50, y cerca del 21% tiene más de 50. La proporción entre hombres y mujeres no dista mucho, cerca del 52% son mujeres (**Figura 2**). Como se puede observar, la mayor parte de la población se encuentra en edad laboral. (INEGI, 2020)

En los municipios más poblados de la CAA –Puebla, San Andrés Cholula, San Martín Texmelucan, San Pedro Cholula, Cuautlancingo, Amozoc, Huejotzingo, San Pablo del Monte, Tlaxcala y Apizaco– se concentra también el mayor número de habitantes en edad laboral o población económicamente activa (PEA). (**Anexo B, Tabla 1**)

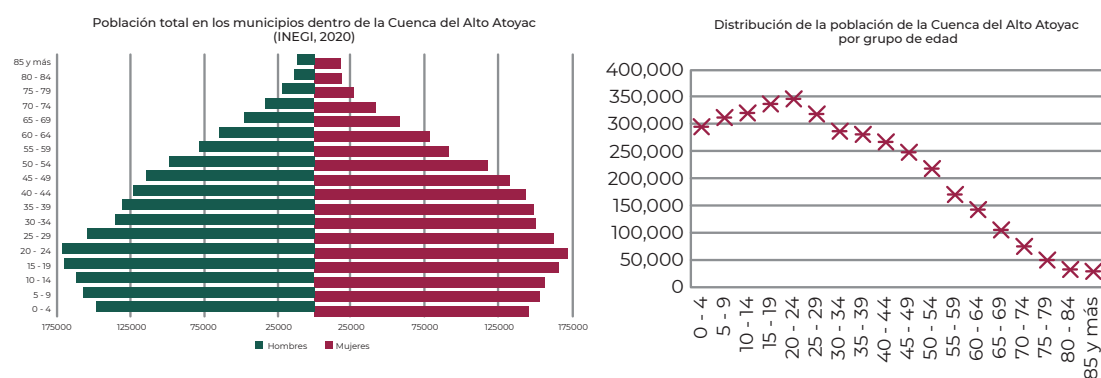


FIGURA 2.

Población total y distribución de la población por grupos de edad en los municipios dentro de la CAA (INEGI, 2020).

Las carencias de la población en términos de acceso a servicios de salud y a otros bienes fundamentales para el bienestar como viviendas de calidad, acceso a la educación o suficiencia de ingresos monetarios se agrupan en la estimación del grado de marginación (Conapo, 2010). A nivel nacional, el estado de Tlaxcala se encuentra entre las entidades con grado medio de marginación. Sin embargo, en los municipios de Quilehtla, Tepeyanco, Teolochoico y San Francisco Tetlanohcan en Tlaxcala y Ocoyucan, Coronango, Juan C. Bonilla, San Andrés Cholula, San Pedro Cholula y Puebla en Puebla, se encuentran 194 colonias en condición de alto grado de marginación. (**Anexo B, Tabla 2**)

Uno de los indicadores socioeconómicos más importantes es el ingreso. Los hogares mexicanos tienen diversas fuentes de ingreso, entre ellas las transferencias del gobierno o de familiares y amigos, la renta de propiedades y los ingresos por trabajo (INEGI, 2020). De acuerdo con estimaciones de INEGI (2022), los ingresos por la realización de “trabajos” en las localidades con más de 2,500 habitantes, son los segundos más bajos del país, con un valor trimestral de 9,539,087 pesos en Tlaxcala y de 48,142,679 en el estado de Puebla. Este valor contrasta con la Ciudad de México con un monto trimestral de 165,658,385 pesos (INEGI, 2022), es decir, las localidades de más de 2,500 habitantes en la Ciudad de México perciben

hasta 18 veces más que las de Tlaxcala. Si bien este indicador no ofrece un dato sobre los ingresos de los hogares en un período trimestral, si da cuenta de las remuneraciones trimestrales a nivel local. En última instancia, da un dato sobre los ingresos por trabajo remunerado en localidades grandes.

Un aspecto importante que determina el grado de marginación y vulnerabilidad de la población es el porcentaje de habitantes no afiliados a servicios de salud, que en la Cuenca se concentra en los municipios de San Matías Tlalancalela (43%), Mazatecochco (41%), San Martín Texmelucan (41%), Ocoyucan (40%), Domingo Arenas (47%), Coronango (40%), Chiautzinco (39%), Santa Apolonia Teacalco (38%) y Huejotzingo (40%). **(Figura 3a)** En municipios como Chiautzinco, San Felipe Teotlancingo, San Salvador el Verde, Calpan y Domingo Arenas, Españita, Hueyotlipan, Atlangatepec y Chiautempan entre el 27 y el 46% de su población labora en actividades de los sectores primario y terciario **(Figura 3b y Figura 3c)**, quienes a menudo carecen de afiliación a servicios de salud como prestación laboral.

Por último, en la cuenca hay también una concentración de hogares con población indígena en los municipios de Puebla, San Pablo del Monte, Contla, San Andrés Cholula y Amozoc. **(Figura 3d)**

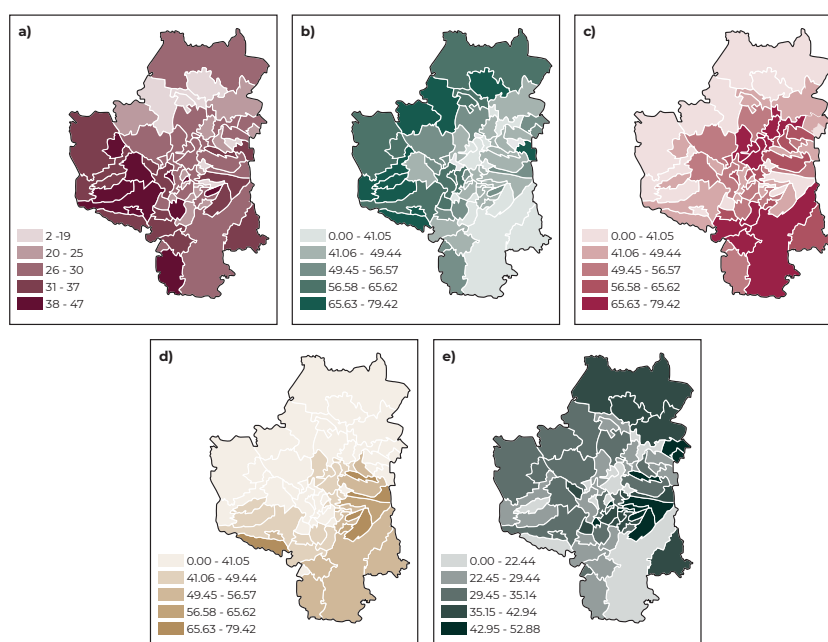


FIGURA 3.

Porcentaje de la población mayor a 12 años de la región de la CAA: a) no afiliada a servicios de salud, b) que labora en sector primario, c) que labora en sector terciario, d) hogares indígenas, e) que labora en sector secundario.

Las colonias con alto grado de marginación se ubican en los municipios predominantemente agrícolas de Juan C. Bonilla, Teolochocho, Coronango, San Andrés y San Pedro Cholula y Santa Cruz Quilehtla.

B) Aspectos productivos más relevantes

La CAA conserva la actividad agrícola que subsiste gracias al abundante caudal de los ríos Atoyac y Zahuapan y sus afluentes y a la infraestructura hidroagrícola como la red de canales y la presa de Atlangatepec, las cuales abastecen al Distrito de Riego 056. Si bien el núcleo agrícola más importante del siglo XX se ubicó en el municipio de Nativitas, Tepeyanco y Xiloxotla, actualmente la producción se encuentra dispersa en 59 municipios de Tlaxcala, entre los que se encuentran Huamantla, Altzayanca, Calpulalpan, Cuapiaxtla, Hueyotlipan, Nanacamilpa, Terrenate, Tetla, Tlaxco, Zitlaltépetl, Sanctorum y Teolocholco (SIAP, 2022). Estas condiciones configuran un escenario que se extiende en el norte de la Cuenca y en las barrancas del volcán Popocatepetl, ello se verifica en “la cantidad de tierras de cultivo, el trajín constante de camionetas o camiones de alfalfa y las tiendas o bodegas donde se surten fertilizantes” (Velasco, 2015). Es de destacar que tanto en municipios temporaleros como de riego, la agricultura se caracteriza por el uso de agroquímicos.

Por otra parte, el estado de Puebla es el segundo productor automotriz más importante del país, el cual está equipado con 10,242 km de carreteras y un aeropuerto internacional, pero destacan en importancia otros sectores productivos como el alimentario, químico y textil. Algunos municipios de la CAA son predominantemente agrícolas mientras otros se caracterizan por la presencia de empresas manufactureras en las que se ocupa parte de la población. El valle del centro se caracteriza por las actividades primarias y alberga el Distrito de Riego 056 Atoyac-Zahuapan, mientras que, en el sur los municipios de San Martín Texmelucan, Huejotzingo, Coronango, Cuautlancingo

y Puebla son predominantemente industriales (**Figura 3e**). En estos últimos, el equipamiento urbano es mayor que en el norte o en el oeste, donde aún abundan barrancas y macizos montañosos (Gobierno del estado de Puebla, 2020).

Si bien la industria textil inició el proceso industrializador de la región durante el siglo XVII orientado al mercado nacional (Paleta, 2017), este sector viró hacia la producción de textiles sintéticos y automotrices a partir de la segunda mitad del siglo pasado. En la actualidad, alrededor de 170 empresas en la Cuenca agrupadas en corredores y parques industriales inicialmente en Puebla y posteriormente en Tlaxcala desde la segunda mitad del siglo XX, son proveedoras de bienes intermedios para la industria automotriz (DENUE, 2021).

Algunos hitos del desarrollo industrial del siglo XX y XXI (**Figura 4**) son el establecimiento de Volkswagen (VW) en 1965 y del Complejo Petroquímico Independencia (CPI) en 1969. Desde entonces, VW ha fungido como líder del sector automotriz exportador mientras el CPI ha sido un importante proveedor de materias primas a las empresas química y automotriz.

En la región de Puebla ha habido dos contextos industriales para el sector automotriz: antes y después de 1992 (Pries, 2000). El primero, se distinguió por la producción de una amplia gama de bienes del sector automotriz, pero sin consolidarse como una economía comparable con la de los países altamente industrializados. El segundo implicó un cambio de modelo de producción que redujo sustancialmente la planta laboral sindicalizada y creó una estructura de aprovisionamiento mediante la “invitación” a sus proveedores europeos

para establecerse en la zona. A partir de 1964 y hasta 1992, estaba prohibida la importación de motores completos al país, por lo que se exigía un contenido nacional fijado en 60% del costo total de los productos. En 1992, mediante la regulación introducida con el TLC, empresas como Volkswagen pudieron ampliar la tasa de partes importadas, lo que produjo la expansión de la red de proveeduría de la región, por ejemplo, con la instalación del parque industrial FINSA frente a su planta en Puebla o la “invitación” a sus proveedores tradicionales de ubicarse en la región. Ya para 1998, se habían consolidado más de 60 nuevas empresas proveedoras en comparación con las presentes en 1990 (Pries, 2000).

El segundo contexto de desarrollo de la industria automotriz poblana y tlaxcalteca fue posible mediante el decreto para el fomento y modernización de la industria automotriz (DOF, 1989), aplicable a toda la cadena de proveeduría que autorizaba a las empresas extranjeras a incrementar su capacidad productiva mediante la compra de activos fijos mexicanos, en que el valor mínimo de los componentes nacionales se estableció en 37%. La promoción de esta industria culminó con la creación de parques especializados del sector automotriz como FINSA, Chachapa, Resurrección, 5 de mayo, Puebla 2000 y Bralemex (Pries, 2000) y recientemente el complejo Audi en San José Chiapa, Puebla.

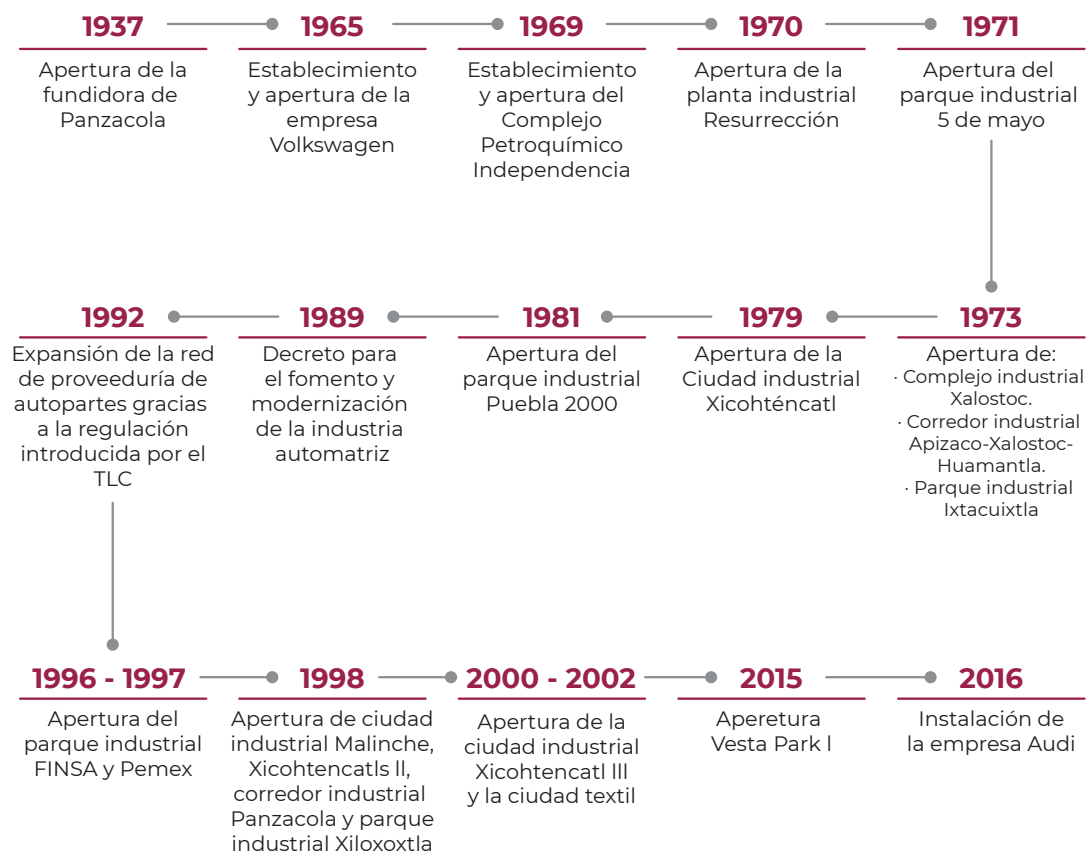


FIGURA 4.

Hitos del desarrollo industrial en la CAA durante la segunda mitad de los siglos XX y XXI.

En los estados de Puebla y Tlaxcala operan en conjunto alrededor de 30 conglomerados industriales (Directorio automotriz, 2023). En la figura anterior se ilustran sólo algunos de ellos para mostrar cómo se expandieron los corredores industriales por toda la Cuenca desde la década de los setenta, articulando productivamente las entidades de Puebla y Tlaxcala a través de un corredor urbano-industrial que en la actualidad representa una unidad territorial indisoluble.

Diversos sectores industriales se impulsaron mediante el decreto de la industria maquiladora que autoriza a importar mercancías como combustibles, materiales y lubricantes utilizados en la producción y formaliza la figura de “terciarización” para aquellas personas físicas que no cuenten con instalaciones para realizar procesos productivos y que garanticen las operaciones de manufactura a través de terceros (DOF, 1998). Estas iniciativas propiciaron aún más el crecimiento industrial en la región y flexibilizaron los lineamientos de operación, particularmente fiscales, de diversos sectores empresariales.

C) Aspectos culturales

Los grupos indígenas con mayor presencia en la región de la Cuenca son los náhuatl y totonacos (Atlas Nacional de Pueblos Indígenas, 2015). En esta región se preserva la celebración de fiestas patronales organizadas bajo la figura de las mayordomías, que mantienen la cohesión y reconocimiento de la comunidad a los mayordomos en turno; se celebra también la semana santa y las misas de fin de año. Destacan fiestas como la de la virgen de Ocotlán, la de San Antonio Calpulalpan y la de San Miguel del Milagro, San Antonio de Abad entre otras. Estas fiestas se desarrollan sobre todo en los municipios de Acuamanalá, San Matías Tlalancaleca, Xicohtzinco, Ixtacuixtla, Santa Cruz Quilehtla, Tlaxcala, Contla, Apizaco, Tlahuapan, Amaxac, Cuautlancingo, Tepeyanco, Domingo Arenas, San Pablo del Monte, La Magdalena Tlaltelulco, Chiautempan, Nopalucan, Tepetitla, San Damián Texoloc, Mazatecocho Tzompantepec, Panotla y Axocomanitla en Tlaxcala y Ocuyucan, Amozoc, Coronango, Huejotzingo y Tlaltenango, San Andrés y San Pablo Cholula en Puebla. En algunos de estos municipios todavía prevalecen las fiestas de agradecimiento de la cosecha de octubre a diciembre (Martínez, 2006), las cuales afirman la identidad y vida comunitaria de los Pueblos que transitan hacia la urbanización.

D) Desarrollo de las organizaciones sociales en defensa del derecho al ambiente sano y la salud

Debido a la degradación socioambiental que se vive en la región de la Cuenca, diversos grupos comunitarios predominantemente de la zona centro-norte de Tlaxcala han alzado la voz para visibilizar la problemática y buscar una solución a los riesgos sanitarios y ambientales asociados, entre otros factores, a la contaminación producto de la intensa actividad industrial de la región.

Se cuenta con varios antecedentes de investigaciones científicas en la región que por más de dos décadas han recabado evidencia de la problemática socioambiental y de salud que viven los pobladores de la región (**ver sección 2.2**). De manera paralela,

diversas organizaciones sociales de la Cuenca, han participado en el desarrollo de campañas de difusión de los resultados producto de estas investigaciones científicas, así como en la creación e impartición de talleres de recuperación de antiguas prácticas agrícolas sustentables y agroecológicas en la región. Un ejemplo claro de esta coordinación a nivel comunitario es la labor del Centro Fray Julián Garcés Derechos Humanos y Desarrollo Local A.C., con presencia actual en veintidós municipios de la región. Dicho centro ha construido una agenda comunitaria en torno a la exigencia de la restauración integral de la CAA. A lo largo de dos décadas, sus actividades comunitarias han girado en torno a diversos ámbitos de salud y ambiente:

- Acciones autogestivas: limpieza de barrancas, reforestación, intercambio de semillas, difusión de información y campañas de limpieza de la barranca de manantiales como el de Atlixnac.
- Conformación de comités de defensa de los derechos humanos en sus municipios de influencia.
- En conjunto con la Asamblea Nacional de Afectados Ambientales (ANAA) se realizó un diagnóstico socio ambiental de toda la región.
- Construcción de un museo / memorial del río Atoyac con amplia participación infantil de San Rafael Tenayecac en Nativitas.

Las comunidades han tenido incidencia directa en la agenda política del agua mediante la interposición de una queja ante la Comisión Nacional de Derechos Humanos en 2011, que antecedió a la Recomendación 10/2017, en la que se insta a los gobiernos estatales de Puebla y Tlaxcala y a los municipales de Huejotzingo, San Martín Texmelucan, Tepetitla, Nativitas e Ixtacuixtla a implementar medidas para restituir el daño a las comunidades y para garantizar el derecho a un medio ambiente sano.

En la misma Recomendación 10/2017 se instó a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y a la Procuraduría Federal para la Protección al Ambiente (Profepa) a implementar las medidas de urgente aplicación para frenar la contaminación en la CAA. En respuesta, los gobiernos estatales de Puebla y Tlaxcala en articulación con CONAGUA y Semarnat elaboraron un Plan de Acciones de Saneamiento en la Cuenca. En el marco de este Plan, la Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (Cofepris) ha evaluado la calidad del agua de siete fuentes de consumo humano en la Cuenca.

El Plan implementando desde 2021, ha sido cumplido en “92%” respecto de las acciones designadas al gobierno de la entidad” (PAS, 2023), sin embargo, los resultados de la Red de Monitoreo de la Calidad del Agua (Renameca) evidencian que no se han cumplido las metas establecidas en la Declaratoria de Clasificación de 2011 (CONAGUA, 2022). En este sentido, las organizaciones sociales de base comunitaria observan y denuncian la simulación e incumplimiento de estos resultados y los difunden entre las comunidades.

En 2017, las comunidades, con la colaboración de grupos de investigadores comprometidos con la solución de la problemática de la Cuenca, elaboraron una Propuesta Comunitaria para el Saneamiento Integral de la CAA (Centro Fray Julián Garcés, 2019).

En el marco de la colaboración entre los investigadores y las organizaciones sociales, en 2019 se desarrolló la Caravana Toxitour, que tuvo por objetivo visibilizar las zonas de emergencia sanitaria y ambiental del país, entre las que se encuentra la Cuenca del Alto Atoyac. Como resultado de la interlocución de las comunidades afectadas de estas zonas de emergencia ambiental con Semarnat, se estableció un grupo de coordinación intersectorial al que fue convocado Conahcyt, al amparo del cual se continúan las investigaciones iniciadas hace dos décadas y con las que las organizaciones sociales colaboran activamente en los Pronaces de Salud, Agua y Agentes Tóxicos (**Figura 5**).



FIGURA 5.

Presentación de avances de investigación del Pronaii. “Reapropiación socioambiental para el manejo integral y comunitario de la cuenta Atoyac-Zahuapan” del Pronaces de Agua (Ocotlán, Tlaxcala, 2023).

3.2 Contexto hidrológico y ambiental de la Cuenca del Alto Atoyac

3.2.1 La zona núcleo: Cuenca del Alto Atoyac

La organización del espacio de CAA usada en este análisis sigue la propuesta por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en la Declaratoria de Clasificación de la Calidad del Agua para los ríos Atoyac y Xochiac publicada en el Diario Oficial de la Federación en 2011 (DOF, 2011). Esta declaratoria parte de un estudio diagnóstico de la Cuenca en donde se estableció la capacidad de carga del sistema fluvial para contaminantes antropogénicos y las metas de calidad de agua para cumplimiento a un plazo máximo de 2030. Dicho documento divide la CAA en seis zonas con base en los afluentes y descargas que concurren sobre el curso principal del río Atoyac y en la capacidad de dilución conocida al momento de su publicación.

Las seis zonas de acuerdo a su secuencia hidrológica son:

1. **San Matías Tlalancaleca.-** Cabecera del río Atoyac incluyendo Tlahuapan;
2. **San Martín Texmelucan.-** Desde los escurrimientos del Iztaccíhuatl hasta la parte occidental del DR 056, en Ixtacuixtla, Tlaxcala, incluyendo la zona industrial de Santa María Moyotzingo;
3. **Nativitas.-** Confluencia del afluente Xochiac, incluyendo las zonas industriales de Xalmimilulco, Huejotzingo y Xoxtla, en Puebla;
4. **Zahuapan (San Jacinto).-** Toda la subcuenca del río Zahuapan, incluyendo la presa de Atlanga, el oriente del DR 056, y el corredor industrial desde Tetla y Apizaco hasta Zacatelco y Xicohtzinco, en Tlaxcala;
5. **Cuautlancingo.-** El área FINSA – VW, posterior a la confluencia del río Zahuapan con el Atoyac;
6. **ZM Puebla.-** Zona metropolitana incluyendo Cholula y Amozoc, además de la presa Valsequillo.

Para el presente análisis, cada una de estas seis zonas se subdividió de acuerdo con los siguientes criterios:

- a) La ubicación de los puntos de muestreo de la Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua (Renameca) en relación con los núcleos de población;
- b) Los resultados de los análisis de parámetros criterio, metales y compuestos orgánicos sintéticos de esos puntos y su relación espacial con las posibles fuentes de contaminación asociadas como la industria (RETC), áreas urbanas y zonas agrícolas y,

- c) Los tributarios de la Cuenca fluvial y las obras hidráulicas de almacenamiento, desviación, derivación, nivelación, rectificación o canalización, ya sea sobre el cauce principal o en sus tributarios.

De esta subdivisión se obtuvieron espacios definidos por actividades económicas características que fueron cotejadas con la información que reporta el registro de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC) y las imágenes satelitales disponibles en Google Earth. Con base en esto, pudieron identificarse espacios industriales, espacios urbanos, zonas agrícolas, infraestructura de desvío fluvial y tributarios fuertemente antropizados. La observación del comportamiento general de la concentración de contaminantes y parámetros criterio dentro de cada zona, además de la fuerte presencia industrial de competencia federal en materia de emisiones contaminantes (RETC), confirma un importante impacto negativo sobre la calidad del río que además se ha mantenido durante todo el periodo de observación a partir de la Declaratoria del 2011 (2012-2020), lo que motivó continuar la ruta hidráulica de la red fluvial de la CAA más allá de su frontera hidrológica (**Figura 6**).

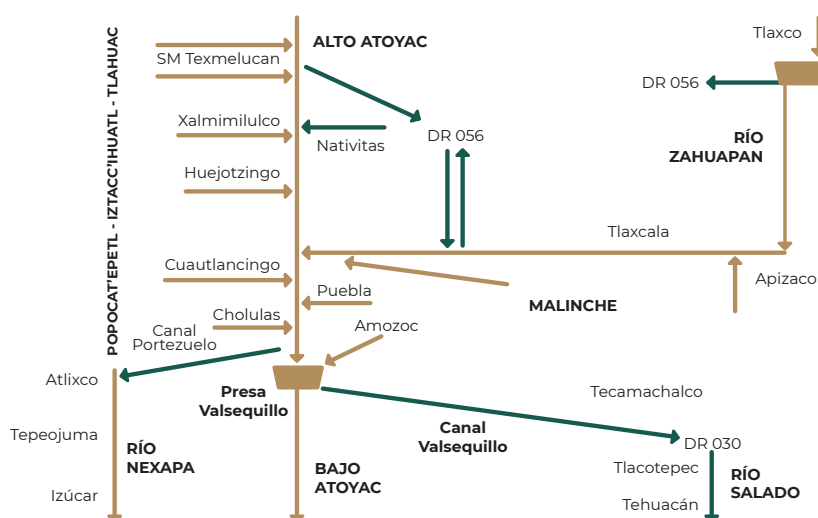


FIGURA 6.

Diagrama hidráulico de la CAA y su área de influencia. Las flechas verdes representan las derivaciones para riego y/o generación hidroeléctrica y las azules a los principales tributarios. Se indican también los principales núcleos de población asociados a la red de tributarios, las presas de almacenamiento, los distritos de riego (DR 056 y DR 030) y las principales elevaciones orográficas de la CAA.

3.2.2 El área de influencia de la Cuenca del Alto Atoyac

Una de las áreas afectada por la mala calidad del agua de la CAA es la Cuenca del Bajo Atoyac, continuidad natural del río que inicia a partir del vertedero de excedentes en la cortina de la presa Valsequillo y llega después de la confluencia con el río Mixteco, más allá de los límites con Guerrero (**Figura 7**). En esta zona existen cuatro puntos de muestreo a lo largo del cauce original del río Atoyac y sus tributarios, mientras que la presencia de población humana sobre el cauce principal, a diferencia de lo ocurrido en la CAA, es escasa y muy dispersa, debido principalmente a lo accidentado del terreno (**Figura 8**).

La CAA llega más allá de los límites hidrológicos del río Atoyac ya que está conectada de manera artificial con el Distrito de Riego 030 (DR 030). Esta extensión inicia en la obra de toma de la presa Valsequillo, en donde tiene su origen el Canal de Valsequillo que actúa como el vínculo hidráulico con el DR 030 y por lo tanto el medio de trasvase del caudal almacenado en Valsequillo hacia la subcuenca del río Salado (que pertenece a la Cuenca del Papaloapan). Durante su trayecto, el Canal de Valsequillo (también conocido en algunas zonas como Dren de Valsequillo) cruza parte del Bajo Atoyac a una cota superior y atravesando la sierra por túneles y sifones por el margen derecho del cañón que encauza al río, hasta llegar al Valle de Tecamachalco, de donde se conecta hidráulicamente con los valles que se extienden hasta el municipio de Tehuacán (**Figura 7**). Esta zona cuenta con cuatro puntos de muestreo que incluyen al canal y los cauces ubicados en el DR 030, e incluye poblaciones importantes asentadas en la red de canales y el dren principal, como son Tecamachalco, Tlacotepec y Tehuacán (**Figura 8**).

La otra subcuenca del Área de Influencia de la CAA es la del Río Nexapa, que también forma parte de la gran Cuenca del

Río Balsas pero que, originalmente, está separada del río Atoyac por la Sierra de Tentzo. Sin embargo, esta zona está conectada hidráulicamente de manera artificial con la CAA a través del Canal de Portezuelo que inicia en la cortina derivadora Echeverría, sobre el cauce del río Atoyac (antes del espejo de la presa Valsequillo), y se dirige a las turbinas de la Central Hidroeléctrica de Portezuelo, en el municipio de Atlixco, atravesando primero por un túnel a la comunidad de Santiago Coltzingo y continuando por tramos a cielo abierto y tramos entubados hasta la infraestructura hidroeléctrica (**Figura 7**). Los derrames de este trasvase son finalmente dirigidos a una red de canales para riego en el Valle de Atlixco y terminan integrándose al río Nexapa en diferentes puntos. Aguas abajo, en la zona cañera de Tepeojuma e Izúcar de Matamoros, las aguas combinadas del Nexapa y el Atoyac contenidas en el cauce principal se derivan a riego a lo largo de la llanura fluvial que llega hasta los límites del estado de Guerrero, en donde finalmente se incorpora a la corriente del Bajo Atoyac. Esta área cuenta con alrededor de 27 puntos de muestreo, incluyendo algunos tributarios y el cauce principal del Nexapa, sobre el cual se asientan poblaciones importantes como Atlixco e Izúcar (Conagua, 2020).



FIGURA 7.

Hidrología de la CAA y su área de influencia. Se muestran en azul rey los canales que conectan de manera artificial a la red fluvial del Alto Atoyac con el DR 056 en la misma Cuenca, en DR 030 en el Bajo Atoyac y Río Salado y el canal de Portezuelo en la Cuenca Río Nexapa. Foto tomada de Google Earth en 2023.

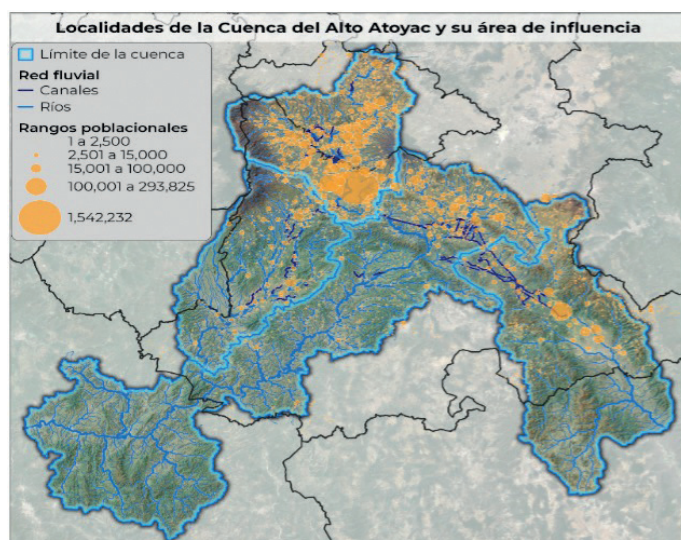


FIGURA 8.

Distribución de las localidades en la CAA y su área de influencia. Destaca el núcleo metropolitano de Puebla – Cholula y el corredor de Tlaxcala – Apizaco, así como Tehuacán, San Martín Texmelucan y Atlixco.

La continuidad hidráulica natural y artificial con que cuenta la red fluvial del Atoyac ha distribuido los contaminantes no sólo a la Cuenca del Bajo Atoyac, después de la cortina de la presa Valsequillo, sino que también los ha exportado al río Nexapa vía el canal de Portezuelo y hacia Tecamachalco y Tehuacán vía el canal de Valsequillo que abastece al DR 030. A esta región la conforman la CAA y su área de influencia.

3.2.3 Análisis de la situación a partir de los registros oficiales de los contaminantes ambientales en la Cuenca del Alto Atoyac

Como ya se comentó en las secciones 2.1 y 2.2, la contaminación antropogénica es un rasgo que ha acompañado a la CAA desde los inicios de la era industrial en el México de finales la década de 1960. El crecimiento industrial, las intervenciones hidráulicas en la Cuenca y la fuerte presión por el recurso hídrico han dado un panorama socioecológico delicado al que se han sumado la falta de disciplina industrial en materia de control de contaminación y la permisividad e indiferencia de las autoridades ambientales, tanto federales como estatales y municipales. La red fluvial atraviesa una situación crítica no sólo en materia de los contaminantes que transporta, sino también por la ausencia de un plan hidrológico integral que le permita operar en congruencia con la capacidad de asimilación que es necesario restaurarle.

A) Análisis a partir de los datos del Renameca

En la **Tabla 2** observamos que la situación de cumplimiento de las metas de calidad fijadas a partir de 2011 y como plazo máximo a 2030 es muy precaria: muy pocos metales están dentro de la meta, algunos no presentan ninguna mejoría respecto al tiempo

ni a su secuencia hidrológica y otros más bien han empeorado. Este escenario refleja que ha persistido una muy mala calidad ambiental en la CAA por contaminantes industriales, lo que motivó a cotejar a detalle la información del RETC para seguir reconstruyendo el panorama de fuentes industriales de contaminantes al que se ha enfrentado la población, y a seguir el espacio de análisis aguas abajo en la ruta hidráulica del propio Atoyac.

En la **Tabla 3** muestra el panorama general de los contaminantes orgánicos sintéticos organizados por familias químicas. Para esta organización se realizó un acomodo de acuerdo con sus rasgos fisicoquímicos funcionales en materia de toxicología ambiental y en donde es sencillo ubicar sus

aplicaciones industriales. Así, ubicamos fácilmente a los grupos de sustancias en las que se incluyen aplicaciones como disolventes, colorantes, aerosoles, monómeros y resinas, entre otras aplicaciones de ingeniería, así como algunos subproductos y contaminantes como los hidrocarburos aromáticos. El carácter halogenado, aromático, poliaromático o alifático, por su parte, da una idea más precisa de sus propiedades toxicológicas y su relevancia en la salud pública. Como se puede observar en la figura, esta huella química delata una importante actividad industrial y la ineficiencia de las medidas de control de contaminación y regulación ambiental para las actividades industriales, pues prácticamente todos los sitios han dado positivo en el periodo de observación.

Ninguna de las zonas de la CAA se encuentra en condiciones de buena calidad de acuerdo con las metas establecidas en la declaratoria de 2011 para metales y arsénico, y ni siquiera han mantenido una evolución favorable desde que se inicia su monitoreo, en 2012. Con respecto a las sustancias orgánicas sintéticas de uso industrial, todas las zonas reportan su presencia, siendo las de Nativitas, Zahuapan y Tlalancaleca las que tienen, en promedio, las concentraciones más altas.

TABLA 2.

Comparativo de la concentración máxima semestral promedio de 10 metales y arsénico en cada subzona de la CAA contra la meta de cumplimiento de la Declaratoria de 2011. Las cifras en negritas indican que la concentración se encuentra fuera de la meta de calidad. Las unidades se expresan en microgramos por mililitro

$\mu\text{g/l}$	As	Cd	Cr	Hg	Pb	Al	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
META 2030	50.0	4.0	50.0	1.0	30.0	50.0	50.0	300	100	600	120
ZONA	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PROMEDIO 2012-2014										
1	-	5.0	19.67	1.0	16	26,178	34.5	9,142	270.75	32.0	30.67
2	7.4	7.5	30.7	1.1	28.1	11,931	30.9	5,730	381.0	31.7	66.5
3	9.4	16.0	39.4	5.6	26.1	13,580	24.3	7,491	421.1	32.7	61.2
4	9.19	25.3	58.66	1.56	81.44	23,485	44.6		484.0	52.05	57.9
5	8.9	10.3	67.2	4.2	58.4	3,897	85.5	11,774	827.3	50.5	60.5
6	7.47	10.62	36.11	1.41	74.94	1,598	23.8	1,549	398	47.69	110.33

ZONA	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PROMEDIO 2015-2020										
1	-	7.33	74.25	1.5	18.83	3,613	26.5	5,523	188.93	22.7	90.0
2	8.3	11.3	30.7	1.3	14.2	3,305	13.9	2,304	197.2	12.9	52.6
3	10.4	11.6	37.7	1.2	17.2	9,413	27.8	2,612	425.2	21.1	116.5
4	10.0	14.99	80.30	1.91	16.4	2,647	17.77	1,740	296.8	26.5	69.4
5	5.7	4.7	34.7	1.1	11.1	14,191	23.6	9,105	392.9	24.4	94.3
6	7.84	8.46	41.5	1.36	23.59	2,397	16.53	1,994	268.88	31.04	79.28

TABLA 3.

Comparativo de la concentración máxima semestral promedio para 2012-2020 de 8 familias de sustancias orgánicas sintéticas en cada subzona de la CAA, de acuerdo con los datos publicados en las bases de datos de RENAMECA (CONAGUA). Las cifras en negritas señalan un valor alto que no se corresponde con la continuidad hidráulica para esa zona. Las unidades se expresan en microgramos por mililitro

ZONA	BTEX	FTALATOS Y ESTIRENO	HAPS	FENOLES TOTALES	CLO-RO-FENOLES	CLO-RO-BENCENOS	OTROS HALO-CARBONOS	OTROS ALIFÁTICOS NO HALOGENADOS
1	1.11	130.21	0.06	53.33	0.0	1.82	14.89	0.0
2	2.13	3.64	17.72	22.22	0.4	0.90	4.49	1.26
3	7.18	123.64	7.78	57.86	12.26	7.99	9.01	0.0
4	1.27	8.42	0.28	25.82	30.44	0.0	185.69	2.79
5	1.55	8.11	0.49	19.60	23.65	1.39	7.88	3.98
6	2.93	9.86	0.25	63.56	1.28	1.05	6.20	0.79

BTEX, benceno, tolueno, etilbenceno y xileno; HAPS, hidrocarburos aromáticos policíclicos. Zona 1, Tlalancaleca; Zona 2, Texmelucan; Zona 3, Nativitas; Zona 4, Zahuapan; Zona 5, Cuautlancingo; Zona 6, ZM Puebla.

B) Análisis a partir de los datos del RETC

La principal carga de actividad industrial de regulación federal en la región se tiene en la CAA, destacando por su contribución de emisiones contaminantes la ZM Puebla, la zona Zahuapan (San Jacinto) en Tlaxcala y la zona Texmelucan, al poniente de Tlaxcala y Puebla. Los sectores económicos más contribuyentes reportados en el RETC son el Automotriz; la Generación de energía eléctrica; la Química; y Textiles, fibras e hilos. Sin embargo, no todos los sectores contribuyen igual en el tipo de contaminante reportado en cada zona ya que las industrias que los componen están organizadas de una manera particular en la CAA (**Figuras de la 9 a la 12**).

El sector automotriz, por ejemplo, tiene un reporte acumulado histórico de más de 600 millones de toneladas de bióxido de carbono en la ZM Puebla, lo que significa que la mayor demanda energética de este sector ocurre en esta zona (**Figura 9**). El acumulado más alto para orgánicos sintéticos (BTEX y halocarbonos) emitidos a la atmósfera ocurre en la zona Cuautlancingo, contigua a la ZM Puebla (**Figura 10**), mientras que el acumulado más alto de metales lo reporta al suelo, en ZM Puebla (**Figura 11**). Así pues, se infiere que el sector automotriz regulado a nivel federal tiene un fuerte impacto para las zonas de Cuautlancingo y ZM Puebla, que es el espacio que rodea a la armadora de VW.

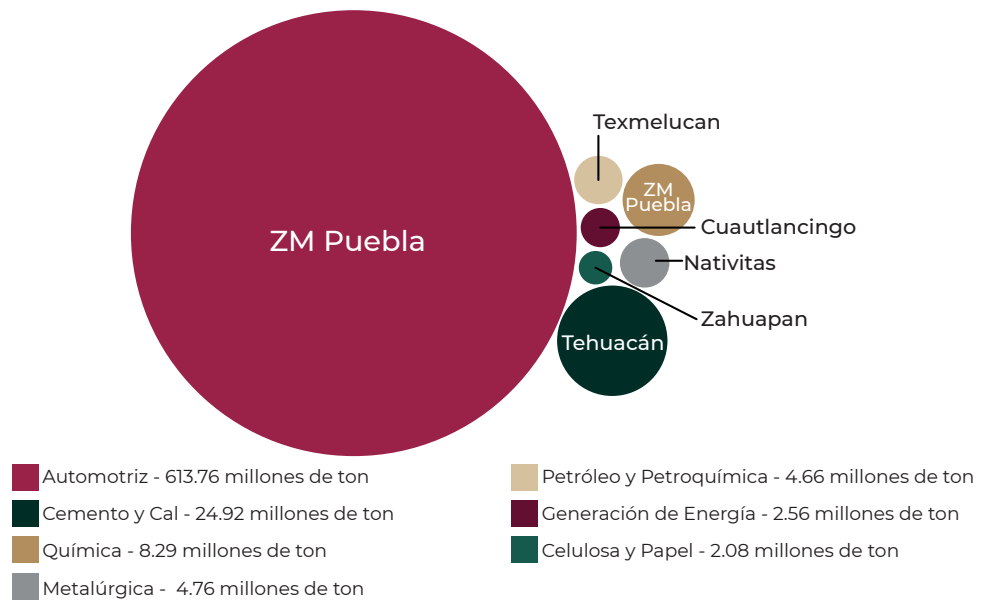


FIGURA 9.

Emisiones de bióxido de carbono al aire de cada sector económico por zona. Se incluyen todos los reportes generados por los establecimientos industriales, comerciales y de servicios de regulación federal durante el periodo 2004 a 2021 para las zonas de la CAA y su área de influencia. Destaca notablemente el sector automotriz en la ZM Puebla, seguida de cemento y cal en Tehuacán y Química en ZM Puebla y Zahuapan.

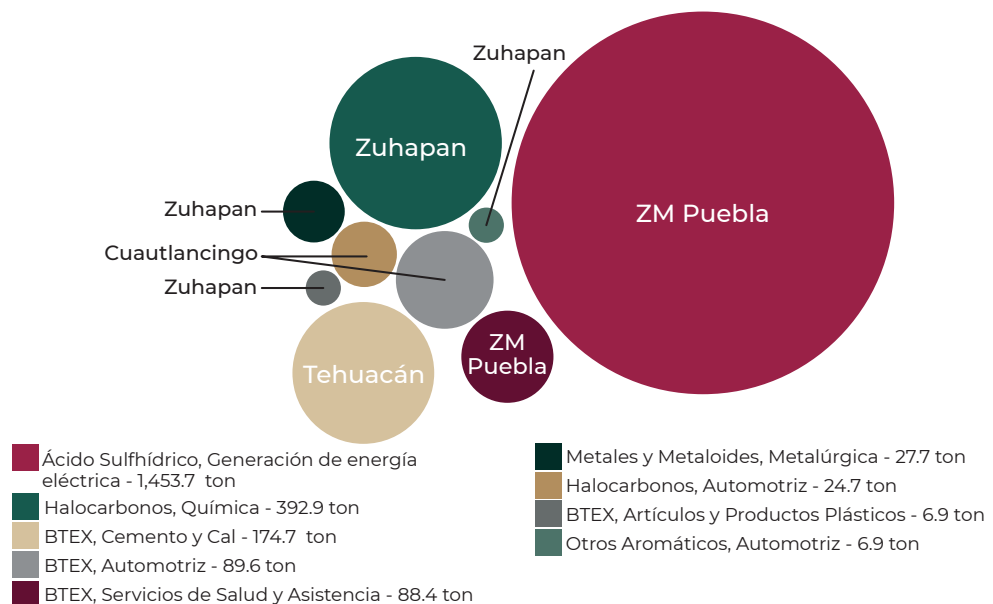


FIGURA 10.

Emisiones contaminantes al aire reportadas al RETC (excepto GEI) de cada sector económico por zona. Se incluyen todos los contaminantes reportados por los establecimientos industriales, comerciales y de servicios de regulación federal durante el periodo 2004 a 2021 para las zonas de la CAA y su área de influencia. Destaca el sector de generación de energía eléctrica en la ZM Puebla, química en Zahuapan, y cemento y cal en Tehuacán.

El sector químico, por su parte, tiene un acumulado alto en emisiones de halocarbonos a la atmósfera en Zahuapan (**Figura 10**); cianuro al agua en Nexapa y ZM Puebla (**Figura 11**); y metales y metaloides al suelo en ZM Puebla, Zahuapan y Nexapa (**Figura 12**). Es decir, el sector químico regulado a nivel federal tiene una presencia fuerte en términos de contaminación en estas tres zonas.

El otro sector representativo de la zona es el de textiles, fibras e hilos, con el acumulado más alto de cianuro reportado al agua y alcantarillado en la zona Texmelucan.

Este mismo sector tiene también reportes de metales y metaloides al agua y alcantarillado en Texmelucan, y al suelo en Texmelucan y Zahuapan.

Un rasgo interesante observado en este análisis al RETC es que la zona Zahuapan es una de las que concentra una mayor diversidad de sectores que reportan diversos contaminantes al ambiente. Además de los ya mencionados, están representados sectores como el del vidrio, celulosa y papel, alimenticio y/o de consumo humano, cemento y cal, artículos y productos plásticos, y el sector otros.

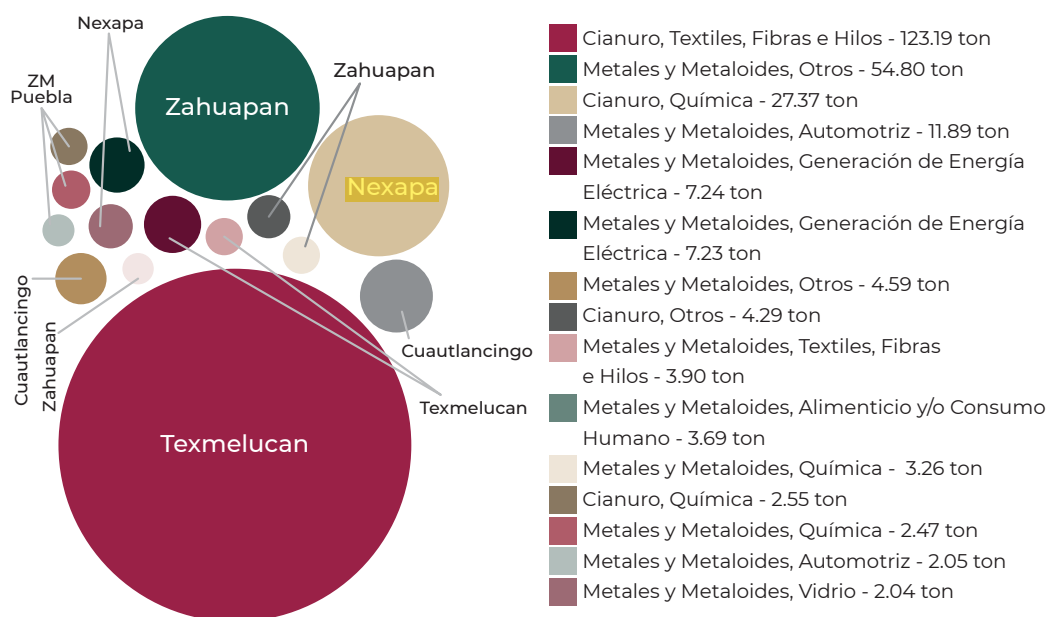


FIGURA 11.

Emisiones contaminantes al agua reportadas al RETC de cada sector económico por zona. Se incluyen todos los contaminantes reportados por la industria de regulación federal durante el periodo 2004 a 2021 para las zonas de la CAA y su área de influencia. Destaca el sector de textiles, fibras e hilos para la zona de Texmelucan; el de industria química en Nexapa, Zahuapan y la ZM Puebla; y el automotriz en Cuautlancingo y la ZM Puebla.

La base de datos del RETC agrupa en la categoría otros a los responsables de comercios y servicios como la operación de plantas de tratamiento de aguas residuales, tanto operadas por particulares como por las juntas y comités locales de agua y alcantarillado, algunos talleres de reparación y servicio a maquinaria industrial y autotransportes, tintorerías

y lavanderías industriales, empresas de manejo de residuos peligrosos, metalúrgicas, refaccionarias y hasta hoteles. Este sector es muy conspicuo en las zonas de Zahuapan y Nativitas, especialmente en las emisiones de metales y metaloides, además de cianuro, al agua y alcantarillado (**Figura 11**), y al suelo (**Figura 12**).

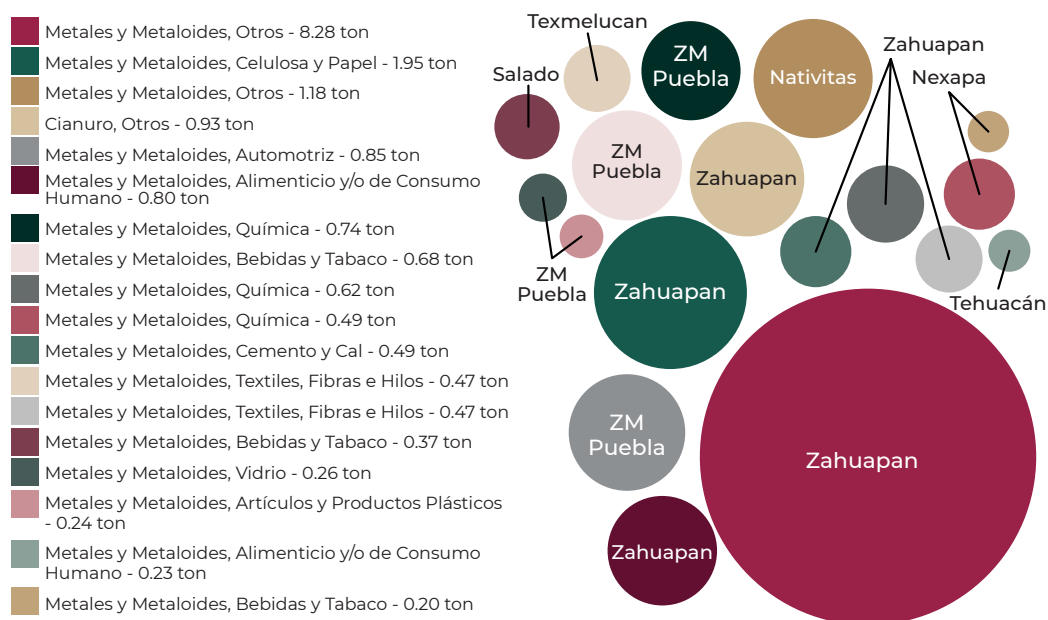


FIGURA 12.

Emisiones contaminantes al suelo reportadas al RETC de cada sector económico por zona. Se incluyen todos los contaminantes reportados por la industria de regulación federal durante el periodo 2004 a 2021 para las zonas de la CAA y su área de influencia. Destaca el sector de celulosa y papel en Zahuapan; química en ZM Puebla, Zahuapan y Nexapa; y el automotriz en ZM Puebla.

De los establecimientos industriales, comerciales y de servicios de competencia federal en materia ambiental, los sectores económicos que más emisiones de contaminantes (sin incluir CO2 y otros GEI) han reportado desde 2004 a 2021 son el químico, el automotriz y el textil, además de los operadores de las PTAR; mientras que las zonas en las que más cantidad se reporta son el Zahuapan, seguida de la ZM Puebla y Texmelucan.

En términos de presencia industrial de regulación ambiental a nivel federal, las zonas de influencia de Nexapa y Salado (Tehuacán) sí cuentan con sus propias fuentes contaminantes, principalmente de los sectores de cemento y cal, generación de energía eléctrica, química, bebidas y tabaco, y alimenticio y/o de consumo humano, además de la contaminación que reciben por vía fluvial de las industrias de la CAA.

Finalmente, aunque con la información oficial disponible en materia de

contaminación industrial para la CAA y su área de influencia, se puede construir un escenario para analizar las correlaciones y asociaciones que indaguen la posible exposición de la población y repercusiones negativas en la salud pública, es necesario el acercamiento a la escala local para entender la dinámica del entorno inmediato -espacial y temporalmente- de las comunidades afectadas. En este sentido, desde Conahcyt se están apoyando esfuerzos para la generación de información a escala local que ayude a construir los escenarios

cotidianos del entorno de las comunidades, y esta información aporta también los matices que se requieren para la planeación de acciones específicas de intervención tanto en el marco regulatorio como

en el de acciones de saneamiento, remediación y restauración. El **Anexo C** presenta algunos de los resultados preliminares que se han generado desde los Pronaces involucrados en este esfuerzo.

Con un alto acumulado de emisiones de halocarbonos a la atmósfera en Zahuapan, de cianuro al agua en Nexapa y ZM Puebla, y de metales y metaloides al suelo en la ZM Puebla, Zahuapan y Nexapa, el sector químico representa una importante fuente de contaminación en la región de la CAA.

Asimismo, el sector textil representa otro foco importante de contaminación en la región al presentar un alto acumulado de cianuro, metales y metaloides al agua y alcantarillado en Texmelucan además de metales y metaloides al suelo en Zahuapan y Texmelucan.

3.3 Contexto epidemiológico

En las últimas tres décadas, ha sido evidente la transición epidemiológica en el país, donde la mayor carga de enfermedad se asocia a enfermedades crónicas no transmisibles -fuertemente ligadas a determinantes sociales de la salud- como el cáncer, la diabetes, la hipertensión, la ERC, entre otras, en comparación con las enfermedades transmisibles causadas por algún agente infeccioso cuya prevalencia era dominante antes de la década de los 90. No obstante, tras la reciente pandemia por COVID-19 se pudo observar un fenómeno con respecto a la unidireccionalidad previamente observada de la transición epidemiológica. Ahora resulta evidente que esta transición es más compleja y dinámica, en ella la salud y la enfermedad evolucionan de formas diversas. Se trata más bien de un proceso de transformación continua en el que algunas enfermedades desaparecen y otras reaparecen (OMS, 2023).

De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México (INEGI) para el periodo 2015-2019 la tasa de defunciones registradas en el país presentaba un aumento significativo: de 54.03 a 59.08 (INEGI, 2023). Para el año 2019, las principales causas de mortalidad en la población general estuvieron relacionadas a problemas relacionados con la salud y en una menor proporción a accidentes, homicidios y suicidios. Las tres principales causas de muerte para ese año fueron las enfermedades cardiovasculares, la diabetes mellitus tipo 2 y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

El conocimiento de las principales causas de mortalidad de la población proporciona información fundamental para identificar los retos en salud pública, el establecimiento y seguimiento de la eficacia de las intervenciones preventivas y tomar decisiones encaminadas a mejorar la salud de la población.

Particularmente, en las infancias y juventudes de 1 a 25 años, se observa que, enfermedades como la leucemia, el tumor maligno más frecuente en la infancia, y la ERC se encuentran entre las 10 principales causas de muerte en este grupo etario. La leucemia ocupa el cuarto lugar en defunciones en el grupo de edad de 1 a 4 años, el primero en el grupo de 5 a 9 años, el segundo en las edades de 10 a 14 años, y el cuarto en el grupo de edad de 15 a 24 años. La mortalidad por ERC es la octava causa de muerte en el grupo de edad de 15 a 24 años y es la casusa de muerte con el mayor aumento porcentual (>130%) de las últimas tres décadas (INEGI, 2021; IHME, 2023).

La determinación social y ambiental, de estas y otras enfermedades, es sin duda un elemento que ha tomado una relevancia sustancial para entender su origen, progresión y, por ende, su prevención. De acuerdo con la OMS, el 4% del total de las muertes ocurridas en 2019 se asociaron directamente con la exposición a contaminantes ambientales, siendo mayormente atribuida a enfermedades cardiovasculares, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica y cáncer (PAHO, 2021). Los contaminantes ambientales como metales pesados, material particulado, ftalatos, bifenilos clorados

y posiblemente algunos plaguicidas son factores etiológicos importantes para la ERC (Tsai et al., 2021); mientras que la exposición a benceno, radiación ionizante, metales pesados, material particulado y algunos plaguicidas se ha asociado al desarrollo de leucemia (Zhou et al., 2014; Onyije et al., 2022).

Las infancias y juventudes en México padecen enfermedades crónicas con elevadas tasas de mortalidad, en el caso de las leucemias, y morbilidad para ERC, además de tratarse de enfermedades sumamente costosas para el sistema de salud y las familias.

La identificación y entendimiento integral de los determinantes ambientales relacionados con enfermedades como la ERC y la leucemia puede permitir el diseño de intervenciones preventivas eficientes para evitar el desarrollo (prevención primaria) o progresión de estas enfermedades. Asimismo, se puede incidir en la detección y tratamiento oportunos para disminuir la morbilidad y mortalidad en los pacientes con síntomas o signos iniciales de la enfermedad (prevención secundaria).

3.3.1 Enfermedad renal crónica

La ERC es una condición crónica e irreversible, con una pérdida progresiva de la función renal que afecta aproximadamente a 800 millones de personas en todo el mundo (Kovesdy, 2022). Durante las etapas tempranas de la ERC las personas afectadas no muestran síntomas ni cambios en parámetros clínicos convencionales, solo 5% de los casos se diagnostican en etapas tempranas (Zhao et al., 2022). Es frecuente que la enfermedad muestre signos y síntomas clínicos cuando se ha perdido ya el 50% de la función renal y cuando el riesgo de progresión hacia un estado de insuficiencia renal es alto (Zhao et al., 2022).

Entre 1990 y 2017 el incremento en la tasa de mortalidad por ERC en el mundo fue de 2.8%, en América Latina y el Caribe de 33% y en México de 102.3% (de 28.7 a 58.1 por 100,000 h) (Agudelo-Botero et al., 2020). Para 2017 su incidencia se estimó en 394.2/100,000 h, es decir 14.5 millones de personas (Cortés-Valencia et al., 2022).

En México, la ERC está relacionada principalmente con diabetes tipo 2, hipertensión y glomerulonefritis (Agudelo-Botero et al., 2020). Otro tipo de ERC, denominada ERC de etiología desconocida, representa el 20.2% de los casos en el país y ha sido relacionada fuertemente con factores de origen socioambiental. La frecuencia de este tipo de ERC podría verse exacerbada en poblaciones localizadas en regiones con degradación y contaminación ambiental (Luyckx et al., 2020).

La ERC en México muestra un comportamiento ampliamente heterogéneo entre los estados, reforzando las inequidades regionales prevalentes en salud (Agudelo-Botero, 2020). Entre 1990 y 2019 la tasa de mortalidad por ERC incrementó al menos 3 veces en cada uno de los estados del país (promedio 4 veces). Los estados de Guerrero, Puebla,

CDMX, Tlaxcala y Oaxaca han tenido tasas por encima de la media nacional desde 1990 y hasta 2019 (**Figura 13**).

A) Situación de la ERC en la población joven de México

La ERC afecta a individuos jóvenes de sectores económicos bajos y se ha convertido en un importante contribuyente a la carga de la enfermedad renal en México.

En las décadas del 1990, 2000, 2010 y en el año 2019, los estados de Puebla y Tlaxcala han presentado las tasas de mortalidad por ERC más altas del país en el grupo de edad de 15 a 49 años (**Figura 14**).

Desde 1990 Tlaxcala y Puebla han presentado las tasas de mortalidad más altas por ERC del país en población joven.

Los estados con la mortalidad más alta en jóvenes están ubicados en la zona templada subhúmeda del país, por lo que el estrés hídrico ambiental no contribuiría al desarrollo de la ERC; además, es el grupo de edad donde menos se presentan factores como la diabetes e hipertensión. Por lo tanto, los factores socioambientales podrían estar participando fuertemente en el desarrollo y progresión de la enfermedad.

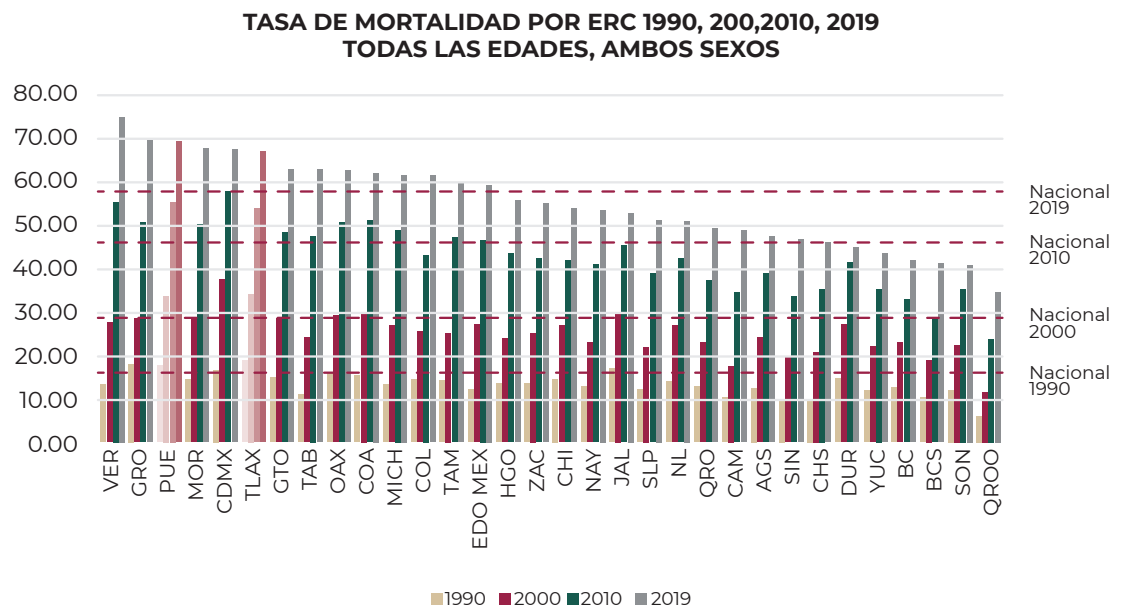
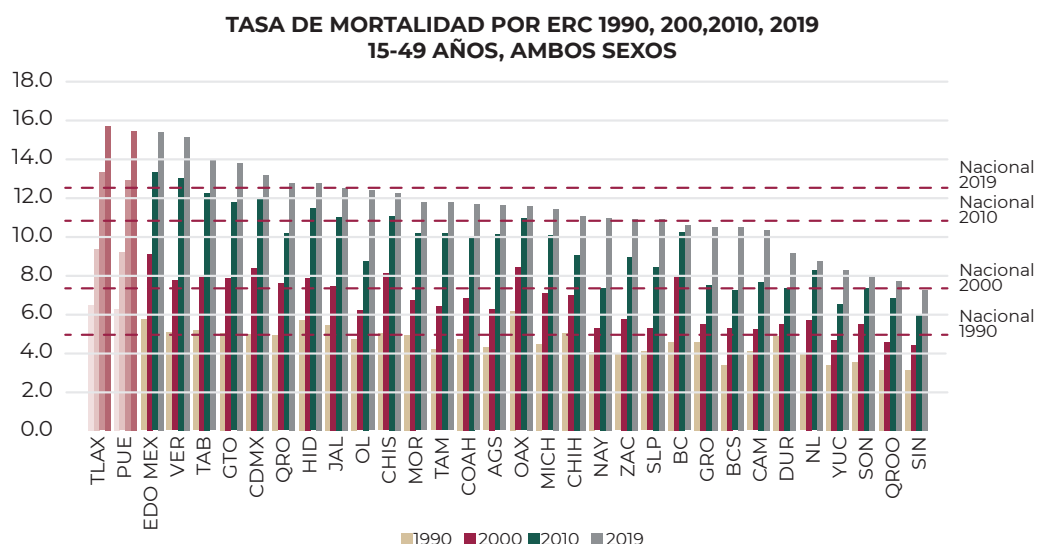


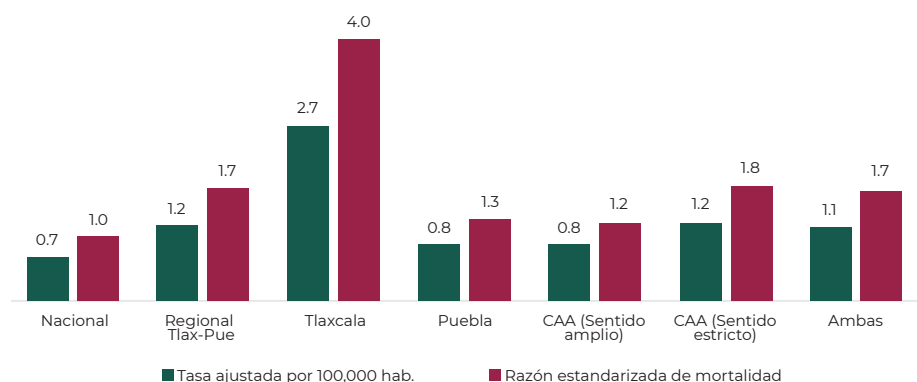
FIGURA 13.

Tasas de mortalidad por ERC en los años 1990, 2000, 2010 y 2019, para todas las edades, ambos sexos, en cada una de las entidades de México. Las líneas punteadas horizontales señalan el valor de la media nacional para cada año. En color rosa se resaltan los estados de Puebla y Tlaxcala. Fuente de los datos: IHME, 2023.

**FIGURA 14.**

Tasas de mortalidad por ERC en los años 1990, 2000, 2010 y 2019, en el grupo de edad de 15-19 años, ambos sexos, en cada una de las entidades de México. Las líneas punteadas horizontales señalan el valor de la media nacional para cada año. En color rosa se resaltan los estados de Puebla y Tlaxcala. Fuente de los datos: (IHME, 2023).

En el periodo 2019-2021, la tasa de mortalidad por ERC en la población de 10 a 19 años en el estado de Tlaxcala fue 2.7 por cada 100,000 habitantes: indicando un riesgo de mortalidad de 4.0 veces mayor respecto a la tasa nacional (**Figura 15**). Los detalles metodológicos se describen en el **Anexo D, sección 1**.

**FIGURA 15.**

Comparativo de la tasa de mortalidad ajustada y razón estandarizada de mortalidad por insuficiencia renal crónica (CIE-N18 y N19-X) en la población de 10 a 19 años, en el periodo 2019-2021.

A diferencia de la población adulta, la población menor de 19 años llega a un estadio terminal de nefropatía sin etiología, es decir sin una causa conocida. Como se comentó previamente, la aparición de estos nuevos “brotes” de ERC en una población joven sin antecedentes familiares y/o clínicos sugiere la participación de factores socioambientales en el desarrollo de ERC.

En Tlaxcala, la población de entre 10 a 19 años tiene un riesgo de morir por ERC 4 veces mayor respecto al nacional.

3.3.2 Leucemias agudas

La leucemia es la principal causa de muerte por enfermedad en las infancias mexicanas de 5 a 14 años, con la tasa de mortalidad más elevada de los países que integran la OCDE (IHME, 2023; PAHO, 2021). Del año 2000 al 2019 la leucemia infantil ha ido escalando peldaños entre las primeras causas de muerte en niños mexicanos (**Tabla 4**).

La aparición de las leucemias en niños mexicanos generalmente ocurre entre las edades de 2 a 5 años (aunque puede ocurrir a cualquier edad). El grupo de edad de 5 a 9 años ha llegado a tener la tasa de mortalidad más alta, incluso por encima de las muertes ocasionadas por accidentes (principal causa de muerte en este grupo etario). En este caso, la mortalidad coincide con el pico de mayor incidencia que ocurre entre los 2 a los 4 años.

TABLA 4.
Tendencia en el lugar que ocupa la leucemia infantil entre las causas de muerte para el periodo 2000-2019 entre los distintos grupos de edad

GRUPO DE EDAD (AÑOS)	LUGAR ENTRE CAUSAS DE MUERTE (AÑO 2000)	LUGAR ENTRE CAUSAS DE MUERTE (AÑO 2019)
1 a 4	7°	6°
5 a 9	2°	1°
10 a 14	2°	2°
15 a 19	5°	4°

Nota: Elaborado con información de Panamerican Health Organization (PAHO, 2021).

Existen otros indicadores que pueden complementar la información epidemiológica como la tasa de mortalidad, para poder definir cuáles problemas de salud requieren de atención desde el punto de vista de la salud poblacional. Entre estos indicadores se encuentran los años de vida perdidos (AVP) que son una medida de “mortalidad prematura o mortalidad evitable” de la población que tiene en cuenta tanto el número de muertes como la edad a la que éstas ocurren.

En la **Tabla 5**, se muestran los años de vida perdidos por 100,000 habitantes para leucemia infantil de acuerdo con las defunciones reportadas para el año 2019 entre los distintos grupos de edad en niños, niñas y adolescentes mexicanos. Estos datos confirman que la leucemia es un problema importante que está afectando desde edades muy tempranas de la vida las posibilidades de que la población mexicana viva un mayor tiempo en salud y bienestar plenos. Es importante resaltar que la leucemia es más agresiva, por ende, más mortal en aquellos pacientes que mayores de 10 años.

TABLA 5.

Años de vida perdidos por leucemia infantil de acuerdo con las defunciones reportadas para el año 2019 entre los distintos grupos de edad

GRUPO DE EDAD (AÑOS)	TASA DE AÑOS DE VIDA PERDIDOS	INTERVALO DE INCERTIDUMBRE AL 95% (MÍNIMO-MÁXIMO)
1 a 4	171.1	132.0 – 219
5 a 9	205.7	170.6 - 244.1
10 a 14	221.1	186.1 - 255.2
15 a 19	231	186 – 277

Nota: Elaborado con información de Panamerican Health Organization (PAHO, 2021).

3.3.3 Situación general de salud en la Cuenca del Alto Atoyac

El Pronaii de Ciencia de Datos en la CAA ha realizado un análisis sistemático de bases de datos de diversas fuentes para generar un diagnóstico integrado de la situación socioambiental en la Cuenca.

Este Pronaii encontró que las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) son cada vez más frecuentes, inclusive en niños, adolescentes y jóvenes. Las muertes por ECNT han aumentado significativamente en las últimas décadas y son responsables del 76% de todas las defunciones.

La tendencia general a nivel poblacional de las tasas de mortalidad por causa de 13 grupos de enfermedades no transmisibles (ECNT), muestra que, aunque las propensiones varían de acuerdo con el grupo etario, el análisis a nivel poblacional (de todas las edades) manifestó un incremento en la tasa de mortalidad debido a 9 grupos de enfermedades de los 13 considerados. Las enfermedades responsables del mayor número de fallecimientos y cuyas tasas de mortalidad han experimentado el mayor incremento en los últimos 20 años son las del sistema circulatorio, las endocrinas y metabólicas, y las neoplasias.

La leucemia linfoblástica aguda (LLA), el subtipo más prevalente de leucemias agudas, y la ERC figuran entre las principales causas de muerte (por enfermedades no transmisibles) en la mayoría de las edades, lo que manifiesta el impacto que tienen estas afecciones en la población de la CAA. La LLA y ERC además de encontrarse entre las principales causas de muerte en la CAA, se han incrementado en el tiempo, particularmente en la juventud y en la adultez, registrándose tendencias comparables a las observadas a nivel nacional (**Figura 16 a y b**).

A) Enfermedad renal crónica y leucemias agudas en la Cuenca del Alto Atoyac

En la CAA, la ERC ha tenido un impacto negativo muy fuerte en los jóvenes (20-24 años), cuya tasa de mortalidad se ha incrementado en un 58% en la última década. El patrón de cambio en la tasa de mortalidad en el 2000-2019 por enfermedades renales

(conjunto de enfermedades renales) en la población de jóvenes es notablemente diferente al observado para las otras edades. En la población juvenil, la tasa promedio de mortalidad por enfermedades renales fue aproximadamente dos veces mayor en la última década con respecto a la década del 2000-2009; mientras que en las otras edades el aumento fue mínimo y/o con una tendencia de disminución.

De acuerdo con el Registro Estatal de casos de ERC a cargo de la Secretaría de Salud de Tlaxcala, en el 2016 se contabilizaron 1,991 casos de enfermos en estadios terminales de todas las instituciones públicas de salud, y el grupo de edad que registró el mayor

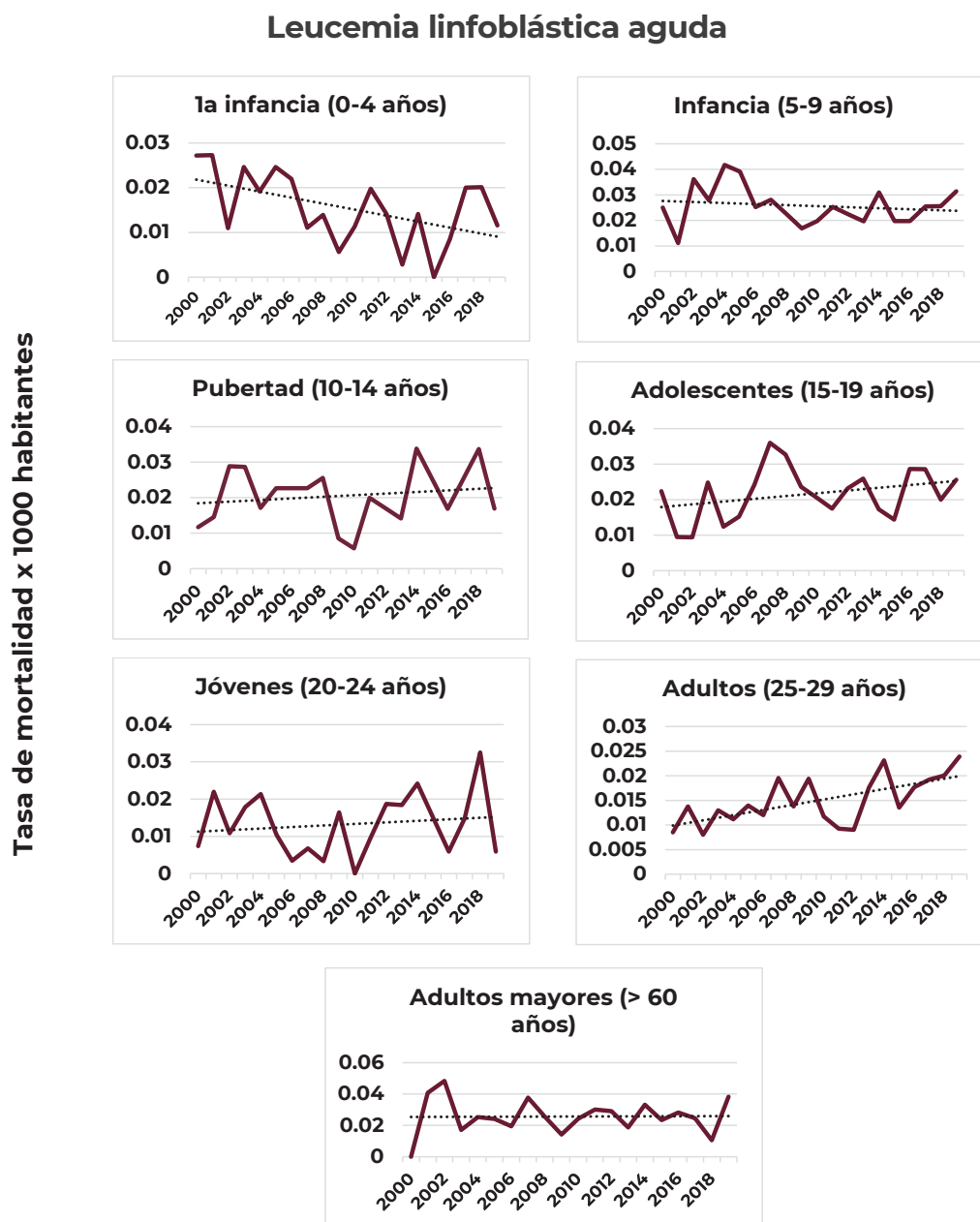


FIGURA 16a.

Tasas de mortalidad por leucemia linfoblástica aguda por grupo etario (2000-2019).

Enfermedad renal crónica

Tasa de mortalidad x 1000 habitantes

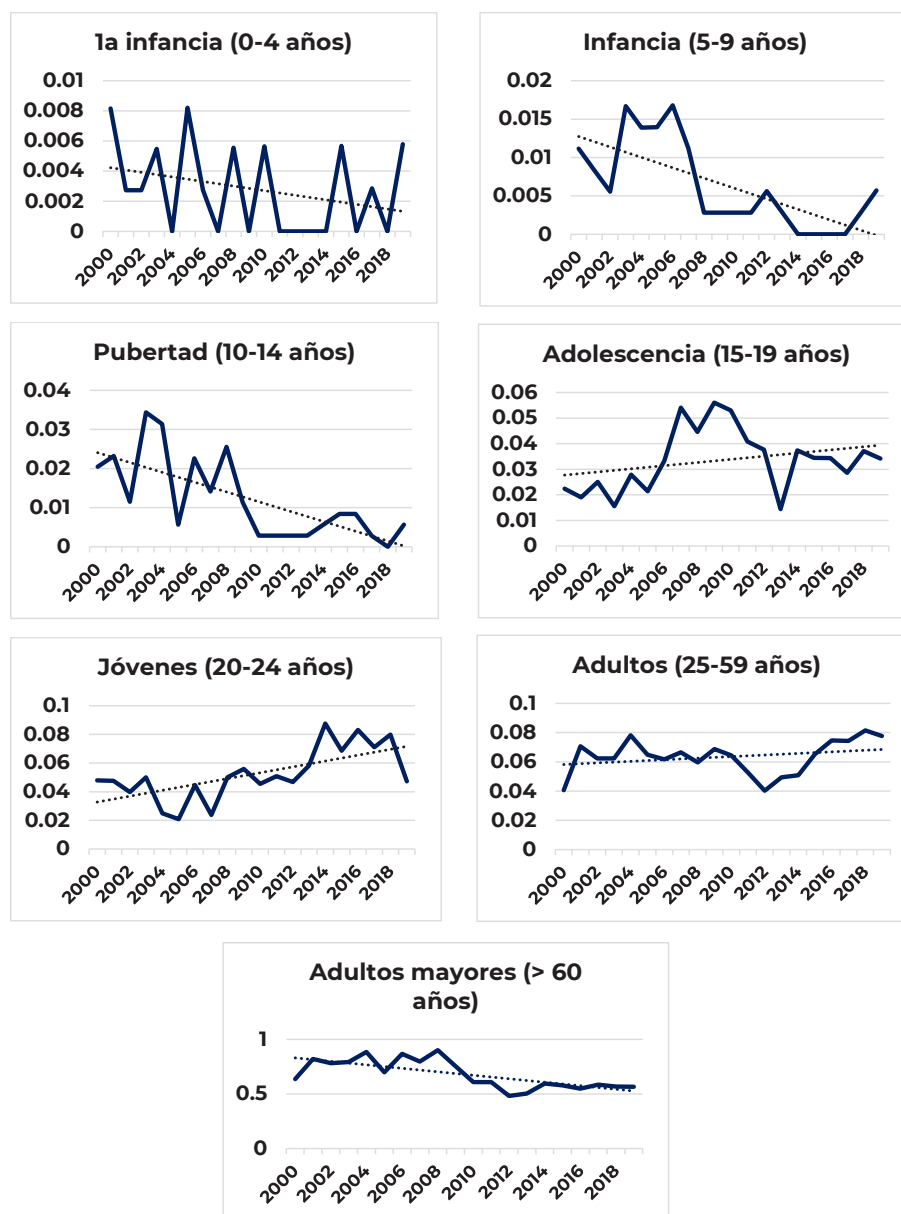


FIGURA 16b.

Tasas de mortalidad por ERC por grupo etario (2000-2019).

número de casos fue el de los jóvenes de 21 a 25 años con 309 pacientes; cifra ligeramente superior que la registrada para la población mayor a los 66 años (293). Esto indica que la enfermedad renal está impactando cada vez más a los jóvenes de la CAA, particularmente a la población masculina, lo cual pudiera deberse a un aumento en la prevalencia de los factores de riesgo en combinación con la falta de una atención médica oportuna y adecuada de la enfermedad.

Las tasas de mortalidad por LLA muestran una tendencia creciente en las poblaciones de 10 a 19 años y en los mayores de edad, no solo en la CAA, también en el resto del

país. Mientras que, en la infancia la tasa de mortalidad se ha estabilizado y/o disminuido, lo cual puede relacionarse con la creación de hospitales destinados a la atención infantil en la última década, sin embargo, el problema de salud está lejos de solventarse, pues no se está actuando sobre los factores que contribuyen con la aparición de las enfermedades crónicas. Las acciones se centran en el tratamiento de las afecciones y no en el abordaje de las causas del problema.

B) Otras enfermedades no transmisibles en la Cuenca del Alto Atoyac

Las tasas de mortalidad por enfermedades del sistema circulatorio, como los infartos de miocardio y los accidentes cerebrovasculares, se han incrementado en la última década en las poblaciones de adolescentes y jóvenes en un 23% y en 124% respectivamente.

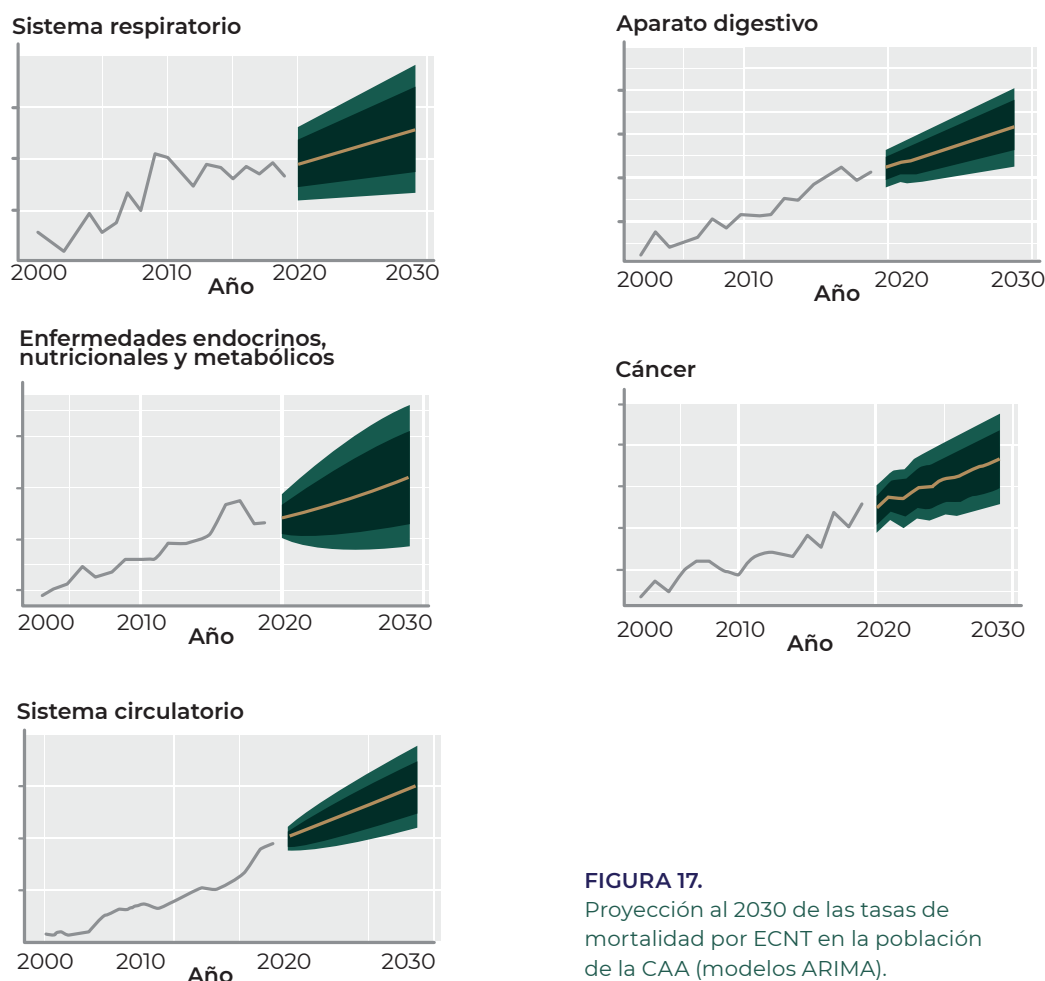
Los adolescentes de la CAA (10-19 años) no sólo se están viendo afectados por las enfermedades del sistema circulatorio y el cáncer (LLA y tumores cerebrales principalmente), sino también por las enfermedades del sistema nervioso, como la parálisis cerebral y la epilepsia. En este grupo etario, la tasa de mortalidad debido a enfermedades del sistema nervioso se ha incrementado en un 31% en la última década en el territorio. A escala nacional, se estima que hay un neurólogo por cada 100,000 habitantes; sin embargo, en la CAA esta cifra es aún más baja, con aproximadamente 0.33 neurólogos por cada 100,000 habitantes. Esta crítica situación se ve reflejada en Tlaxcala, donde sólo se cuenta con un neurólogo en el Hospital General de Zona 1 Tlaxcala del IMSS, y únicamente tres neurólogos en el Hospital Infantil (nivel 3). Como resultado, los jóvenes que padecen epilepsia se ven obligados a recurrir a hospitales privados para recibir atención médica especializada, o simplemente no reciben el tratamiento adecuado.

Aunque en la CAA se han logrado controlar las muertes por ECNT en la etapa infantil, particularmente en los primeros años de vida, hay enfermedades que siguen teniendo un gran impacto como lo son las malformaciones congénitas, particularmente en la segunda infancia (5-9 años). En la CAA, fallecen siete veces más niños y niñas (0-9 años) por malformaciones congénitas que, por cáncer, pero poca atención ha recibido este problema.

C) Proyecciones al 2030 de las tasas de mortalidad

Las proyecciones al 2030 sobre ECNT en la CAA (**Figura 17; Anexo D, Sección 2**), indican que, de no actuar, las tasas de mortalidad seguirán aumentando, principalmente por causa de los siguientes cinco grupos de enfermedades: 1) cáncer; 2) enfermedades del sistema respiratorio; 3) enfermedades del sistema circulatorio; y 4) enfermedades del sistema digestivo; y 5) enfermedades endócrinas, nutricionales y metabólicas.

A pesar de las tendencias y/o generalidades a nivel de CAA, es importante considerar que la situación de salud no es homogénea en el territorio. Se aprecian diferencias al comparar entre Puebla y Tlaxcala, entre municipios de una misma entidad, e incluso entre localidades de un mismo municipio. Por ejemplo, los habitantes de Tlaxcala se

**FIGURA 17.**

Proyección al 2030 de las tasas de mortalidad por ECNT en la población de la CAA (modelos ARIMA).

ven más afectados por enfermedades respiratorias (adultos mayores e infantes), así como por enfermedades renales (adolescentes y jóvenes), mientras que diferentes tipos de cáncer están afectando a una mayor cantidad de municipios poblanos. Estas diferencias espaciales en la distribución de las ECNT responden a las variaciones territoriales en los determinantes sociales y ambientales de la salud.

3.3.4 Egresos hospitalarios en la Cuenca del Alto Atoyac

Los indicadores de salud como seguridad social, principales causas de defunción y de egresos hospitalarios, se muestran en el **Anexo D, sección 3**. En el 60% de los municipios de la CAA la primera causa de egresos hospitalarios es la catalogada como: “diálisis extracorpórea”; mientras que en sus áreas de influencia son: “hernia umbilical sin obstrucción ni gangrena” y “otras apendicitis agudas y las no especificadas”. Es importante destacar que, en la subcuenca Bajo Atoyac, la tercera causa de egresos hospitalarios (12.5%) están relacionados con la atención a neoplasias: “quimioterapia”, “tumor maligno” y “tumor benigno”.

En todas las regiones la principal causa de defunción que se presentó con mayor frecuencia en los municipios fue la catalogada como “diabetes mellitus tipo 2; con complicaciones renales”, que a nivel nacional es la segunda causa de mortalidad.

Para el 60% de los municipios en la CAA la primera causa de egresos hospitalarios está directamente relacionada con la fase terminal de la ERC, una de las más costosas en términos económicos no solo para el sistema de salud, también para las familias en quienes además recae un alto peso psicoemocional.

3.4 Valoración crítica de algunas normas e instrumentos ambientales aplicables en la Cuenca del Alto Atoyac

Datos generados desde el sector gubernamental y complementados con investigaciones independientes muestran que la prevalencia de una contaminación exacerbada ha sido sostenida a lo largo del tiempo sin cambios sustanciales en la región. Uno de los determinantes de esta situación es la inadecuación, inexistencia o falta de observancia de la normatividad ambiental mexicana. Para atender la emergencia sanitaria que se vive en la CAA, es necesario respaldar las acciones con normatividad adecuada y actualizada que atienda las necesidades causadas por la negligencia de las últimas 4 décadas. Equipos de investigación del Pronaces de Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes han identificado problemáticas concretas a este respecto:

3.4.1 Normatividad e instrumentos sobre cuerpos de agua

La NOM-001-Semarnat-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en los cuerpos de agua nacionales, fue reformada recientemente en 2021, 27 años después de su antecedente de 1996, la cual contaba con notables rezagos de carácter técnico. Su propósito declarado es servir al cumplimiento de la obligación establecida en el artículo 85 de la Ley de Aguas Nacionales, que establece para las personas físicas o morales que “exploten, usen o aprovechen aguas nacionales en cualquier actividad, la responsabilidad de realizar las medidas necesarias para prevenir su contaminación y, en su caso, para reintegrar las aguas en condiciones adecuadas y mantener el equilibrio de los ecosistemas vitales”. Sin embargo, y a pesar del avance que implicó la reciente reforma a esta Norma, la situación de la CAA evidencia las insuficiencias que todavía hoy padece. La Tabla 6 reúne los principales contaminantes reportados en la zona de estudio, divididos entre los que están sujetos a regulación en esta Norma y los que están presentes en la RESA, pero que no se

encuentran regulados en ninguna norma ambiental.

Con la entrada en vigor de la nueva NOM-001-Semarnat-2021 a partir de 2022, se incorporaron nuevos parámetros a los que previamente no se les daba seguimiento, como los datos de color verdadero, demanda química de oxígeno, *Escherichia coli*, enterococos fecales y carbono orgánico. Respecto a los límites permisibles de metales pesados, estos valores sufrieron pocos cambios respecto a la norma anterior, sin embargo, la NOM no considera para la determinación de los valores límite la capacidad diferenciada de asimilación de los cuerpos de agua superficiales y el estado actual de cada cuerpo de agua receptor, su condición ecohidrológica. De tal manera que los límites permisibles, aun cuando pudieran ser cumplidos, no implican que el objetivo de prevención de la contaminación sea satisfecho, esto es, su cumplimiento es compatible con la persistencia de la contaminación. La recuperación paulatina de los cuerpos de agua contaminados es así impedida, como demuestran las concentraciones de sustancias reportadas en los ríos Atoyac y Zahuapan. En este sentido, en los cuerpos de agua superficial de la región, las normas ambientales de aplicación federal son insuficientes. Por ello, a partir de su reconocimiento como zonas altamente contaminadas o integrantes de una Región de Emergencia Sanitaria y Ambiental, deberían aplicarse instrumentos regulatorios ad hoc que permitan determinar sus capacidades de asimilación con diferenciación estacional y restringir de manera inmediata el vertido de contaminantes en concentraciones por arriba de dicha capacidad. Las sustancias sintéticas, independientemente de su toxicidad probada,

deberían ser reguladas para no hallarse en cuerpos de agua subterránea en cantidad alguna.

Por otra parte, se ha observado que el monitoreo de las aguas superficiales mediante la Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua (Renameca) carece de plena sistematicidad, pues, mientras en algunos puntos de muestreo las mediciones se toman una o dos veces al año, en otros puntos se hace medición para un año, pero no para el siguiente, etc. Es, pues, necesario mantener una coherencia a este respecto a lo largo del tiempo y el trayecto de la red fluvial, una coherencia que incorpore la necesidad de monitorear para prevenir riesgos a la salud y estabilidad del socioecosistema y no sólo un cumplimiento de metas cuantitativas.

Así mismo, en el monitoreo gubernamental de las aguas subterráneas se atestigua la falta de identificación de todas las sustancias posibles de ser identificadas. Además, los monitoreos en acuíferos dan cuenta de una lista de sustancias incluidas en la NOM-127-SSA1-1994, pero no existe información sistematizada sobre el cumplimiento de esta por parte de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano.

De modo que los instrumentos y normas diseñados como marco para la industrialización de la región durante el neoliberalismo y su aplicación, que deberían garantizar la calidad del agua superficial y subterránea, se revelan, o bien como no aplicados, o bien, donde sí se aplican, como insuficientes, en la medida en que las comunidades han logrado visibilizar la degradación ambiental durante este periodo en momentos importantes, como lo fueron

el fallo del Tribunal Latinoamericano del Agua (TLA) en 2006 o la Declaratoria de Clasificación de 2011. En ellos, respectivamente, el TLA y la Conagua reconocieron la degradación de los ríos Atoyac y Zahuapan.

A estos eventos siguió una recomendación de la Comisión Nacional de Derechos Humanos en 2017 dirigida a las autoridades de los estados de Puebla y Tlaxcala y diversos municipios para operar un Programa de Acciones de Saneamiento (PAS). A seis años de la Recomendación y a doce años de la Declaratoria de Clasificación, se verifica el incumplimiento de las metas establecidas en esta última y se desconocen los indicadores de cumplimiento del PAS.

TABLA 6.

Registro de sustancias químicas reportadas en el río Atoyac sujetas a la NOM-001-Semarnat-2021

PARÁMETROS SUJETOS A LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS EN RÍOS, ARROYOS, LAGOS ¹	PARÁMETROS RELEVANTES QUE NO ESTÁN SUJETOS A NINGUNA NORMA AMBIENTAL PARA LA PROTECCIÓN DE CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL O SUBTERRÁNEA ²	
Temperatura	1,2,3-triclorobenceno	Cobalto
Grasas y aceites	1,2,4-triclorobenceno	Cresol
Sólidos suspendidos totales	1,2,4-trimetilbenceno	Dibromoclorometano
Demanda química de oxígeno	1,2-diclorobenceno	Diclorometano
Carbono orgánico total	1,2-dicloroetano	Diethyl ftalato
Nitrógeno total	1,3,5-trimetilbenceno	Diisobutil ftalato
Fósforo total	1,3-diclorobenceno	Dimetil ftalato
Huevos de helmintos	1,4-diclorobenceno	Di-n-butil ftalato
<i>Escherichia coli</i>	2-fenoxietanol	Dioxano
Enterococos fecales	3-propilfenol	Disulfuro de carbono
pH	4-metilfenol	Etilbenceno
Color verdadero	Acetona	Fenoles
Toxicidad aguda	Ácido 1-fenantreno	Fibras sintéticas
Arsénico	carboxílico	Formaldehído
Cadmio	Ácido 3-(3,5-di-ter-butil-4-hidroxifenil)propiónico	Isopropilbenceno
Cianuro	Ácido 4-hidroxil, propil ester (propilparabeno) benzoico	m-xilenop-xileno
Cobre	Ácido decanoico	Manganeso
Cromo	Ácido dodecanoico	Metano
Mercurio	Ácido hexadecanoico	Metil-1H-indole
Níquel	Ácido octadecanoico	Microplásticos
Plomo	Ácido oleico	Nitrobenceno
Zinc	Ácido sulfhídrico	Octadecano
	Ácido tetradecanoico	o-xileno
	Alcohol diclorofentenil	Pentacloro-fenol
	Anilina	P-isopropiltolueno
	Atrazina	Potasio
	Azufre	Selenio
	Benceno	Silicio
	Bis-2(etilexil)ftalato	Sodio
	Bromodiclorometano	Sulfatos
	Cloro	Sulfuro molecular
	Cloroformo	Tantalio
	Cloruro de metileno	Tetracloroetileno
	Cloruro de metilo	Titanio
	Cloruro de vinilo	Tolueno
	Otros cloruros	Tricloroetileno
		Xileno

¹ NOM-001-Semarnat-2021

² Morales-García et al. (2017); López-Vargas (2018); Shruti et al. (2019); Mora et al. (2021).

3.4.2 Normatividad e instrumentos en torno a la contaminación del suelo

El Inventario Nacional de Sitios Contaminados, gestionado por el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN), reconoce 6 en el estado de Puebla y 8 en Tlaxcala, entre los que se encuentran sitios bajo responsabilidad de Pemex refinación y de las empresas Volkswagen, Rohm and Hass (proveedora automotriz) y Especialíquidos (transportista de residuos y materiales peligrosos), tratándose principalmente de hidrocarburos, y en menor medida disolventes y otros químicos orgánicos. Sin embargo, la información sobre su estado no es pública, es decir, se desconoce si los responsables han presentado el correspondiente plan de remediación, si este se aplicó, si fue o está siendo supervisado por autoridades ambientales o, si después de su cumplimiento, el sitio regresó a su condición original, etc. Además de esta opacidad, debe subrayarse que este inventario es construido a partir del propio aviso de las empresas responsables, lo que deja a su arbitrio la posibilidad de declarar o no tales eventos y las sustancias involucradas.

En lo que respecta a la NOM-052-Semarnat-2005, expedida en junio de 2006, “que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos”, no existe un seguimiento sistemático a su cumplimiento por parte de las plantas tratadoras de aguas residuales (PTAR), así que se desconoce el resultado de las pruebas de peligrosidad a los lodos residuales de las mismas o si estas pruebas siquiera se realizan, mientras que dichos lodos se tratan y depositan como si fueran inocuos en los ríos, de donde luego al desazolver son removidos y dejados en las márgenes, o se les dan nuevos usos en tierras agrícolas.

De los basureros a cielo abierto no se conoce ningún registro oficial, ni existe ninguna vigilancia, siendo que en el estado de Tlaxcala se ubican algunos muy importantes, como el de Tetla, que recibe residuos de 16 municipios y 50 empresas; el de Panotla, que recibe residuos de 29 municipios y 100 empresas o el de Huamantla, que recibe residuos de 44 empresas (Degante, 2021). En este sentido, se desconoce la información sobre el cumplimiento de la NOM-083-Semarnat-2003, que contiene las “especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial”. En los sitios convertidos en basureros se ha documentado por parte de las comunidades la presencia de lixiviados que se transfieren a zonas de cultivo y a la presa de Atlangatepec (comunicación personal, Rodríguez-Herrero, P.H., 12 de agosto de 2023).

Una falencia muy importante en la Ley General para la Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) atañe a la reglamentación sobre los planes de manejo de residuos peligrosos y de manejo especial. Primero, cuando fue promulgada en 2003, esta Ley no sujetó a los planes de manejo de residuos a una norma oficial mexicana. Luego, tras la emisión de la NOM-161-Semarnat-2011 en la materia, los sujetos regulados continuaron en libertad de decidir sobre las medidas concretas para prevenir la generación, aprovechar o valorizar los residuos. El resultado de todo ello fue que dichos planes se convirtieron en instrumentos de autorregulación y, si bien su puesta

en práctica es obligatoria, en muchos casos, son meramente un trámite burocrático que anuló sus propósitos.

Tras casi 20 años de aplicación, la LGPGIR ya debería haber sido objeto de una revisión integral con fines de reforma. Ha venido a ocurrir primero, sin embargo, la reforma de la NOM-161-Semarnat-2011, actualmente en proceso. En la revisión de dicha norma, convendría tener presente que, tratándose de transferencias de residuos peligrosos y de manejo especial, la trazabilidad de éstos requiere estar finamente regulada. Además, por lo menos dos puntos son muy importantes: 1) distinguir claramente los residuos sólidos urbanos de grandes generadores de los residuos peligrosos y de manejo especial que llevan riesgo, como los tóxicos, explosivos, irritantes, radiactivos, etc., y 2) clasificar los residuos de manejo especial de manera exhaustiva y clara, sin limitarse a dar sólo unos ejemplos. Esta es condición previa para que se puedan plantear requisitos para los planes de manejo de residuos de las empresas que sean más claros y bien orientados a la protección efectiva del medio ambiente y la salud pública.

Los lodos de las PTAR, las explosiones e incendios industriales, las tomas clandestinas de hidrocarburos, los derrames o explosiones en ductos por huachicol, los centros de disposición final de residuos, los accidentes en el transporte y el entierro clandestino de residuos industriales peligrosos, así como los contaminantes atmosféricos que se precipitan con las lluvias, constituyen fuentes de contaminación del suelo a las que no se caracteriza y no se aplica planes de atención ni seguimiento por ninguna institución ambiental y de salud municipal, estatal o federal.

3.4.3 Normatividad e instrumentos en torno a la contaminación del aire

Las redes metropolitanas de calidad del aire en la CAA, por una parte, cubren un porcentaje pequeño de municipios de la Cuenca y no incluyen las zonas industriales, que es donde están instalados los generadores de las emisiones. Por otra parte, las estaciones que la componen están limitadas a los parámetros establecidos en las NOM-025-SSA1-2021, NOM-022-SSA1-2019, NOM-021-SSA1-2021, NOM-023-SSA1-2021, y NOM-020-SSA1-2021, que, en su conjunto, monitorean ozono, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de azufre y PM-10, con lo cual quedan fuera otros contaminantes atmosféricos industriales importantes, algunos incluso sujetos a obligación de reporte al RETC, como los compuestos de metales pesados y otros compuestos volátiles orgánicos, dejando truncada la complementariedad que debería existir en el diseño de este tipo de instrumentos.

3.4.4 Registro de emisiones y transferencia de contaminantes

El importante conglomerado industrial emplazado en la CAA¹ consume grandes cantidades de aluminio, cobre, hierro, plomo, plásticos, textiles, vinil, acero, semiconductores y una amplia gama de sustancias químicas con potencial tóxico. Las cantidades en que se utilizan, emiten y transfieren las sustancias tóxicas desde los establecimientos industriales individuales deberían ser accesibles a través de la Cédula de Operación Anual (COA), fuente alimentadora del RETC, que requiere a los sujetos obligados los datos sobre sus emisiones en aire, agua, suelo, subsuelo y transferencias al alcantarillado y de residuos peligrosos. De modo que estos registros se construyen con información proporcionada por las propias empresas de entre una limitada lista de sustancias sujetas a reporte, establecidas en la NOM-165-Semarnat-2013.

En la elaboración de dicha Norma participaron instancias del sector público ambiental como Semarnat, Profepa y la UNAM, pero también las Cámaras Industriales del hierro y acero, de la celulosa y papel, del aceite, grasas, jabones y detergentes y la Asociación Nacional de la Industria Química, entre otras (DOF, 2014). Estos trabajos dieron como resultado una lista de sólo doscientas sustancias sujetas a reporte. En este sentido, el Pronaii de Ecosistema Nacional Informático Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes realizó un ejercicio de comparación entre el Toxic Release Inventory (TRI) y su equivalente mexicano, el RETC, para las mismas clases de actividad económica manufacturera que operan en la RESA Valle de Puebla-Tlaxcala (Anexo E); ejercicio factible dado que ambos instrumentos se basan en el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN).

Por principio, a nivel general, cabe observar que el listado de obligación de reporte del TRI es de 787 sustancias singulares y 33 grupos de sustancias (820 entradas en total). En contraste, el RETC mexicano incluye únicamente 190 sustancias singulares y 10 grupos de sustancias (200 entradas en total).

Los sectores con actividad industrial manufacturera en la CAA declararon al RETC sólo 17 sustancias o grupos de sustancias en 2021, mientras que en Estados Unidos los mismos sectores reportaron 277 sustancias o grupos de sustancias el mismo año. Esto evidencia la necesidad de complementar las declaraciones de las empresas en México con un programa de inspecciones sistemático.

Según los hallazgos de este mismo Pronaii, de acuerdo con el Reglamento de la LGEEPA en materia de registro de emisiones y transferencia de contaminantes, 6,284 de las 8,939 empresas en la Cuenca estarían obligadas a reportar al RETC; sin embargo, en 2021, sólo 225 lo hicieron, esto es, menos del 4% del total de empresas operantes que

¹ De acuerdo con datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), de INEGI, en la CAA operaban, en 2020, 22 235 empresas industriales manufactureras (Ramos 31-33 del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, SCIAN).

emiten sustancias contaminantes sujetas a reporte, a pesar de que, por modificación al artículo 109 bis de la LGEEPA, dicho reporte es obligatorio desde el 2001. Así mismo, de las 238 unidades económicas de Puebla y Tlaxcala que declararon a este registro, apenas se notificó la liberación de 17 sustancias químicas al ambiente en el Valle de Puebla y 9 en Tlaxcala.

Con ello se evidencia la necesidad de actualizar la NOM-165-Semarnat-2013 y revisar la obligación de cumplimiento de la LGEEPA al interior de la CAA, así como de eliminar los umbrales de reporte para remover los puntos ciegos y habilitar el cálculo de los agregados reales de emisión o transferencia conjunta en las diferentes regiones del país.

Los datos recogidos en el RETC representan, sin embargo, un primer acercamiento a las fuentes industriales y su actividad contaminante. A sus 22 años, adolece aún de un importante subregistro, dada su nula vigilancia de aplicación. Ahora bien, si tales datos declarados son el mínimo de las emisiones y transferencias reales, y no obstante en este informe damos cuenta de una situación riesgosa o flagrantemente dañina para la salud humana y el ambiente, estamos entonces ante una señal de alarma, de emergencia ambiental y sanitaria, y ante la necesidad urgente de instrumentar acciones de precaución y de remediación de las afectaciones, de

atención a la población y de la generación de mecanismos de observancia de las normas existentes, así como de su actualización o adecuación a la realidad del país y de las regiones.

Todas las revisiones, reformas y añadidos al marco legal y los instrumentos gubernamentales que atienden cuestiones ambientales deben basarse en y orientarse por la situación socioambiental que se vive en las regiones del país, lo que significa centralmente aplicar en su diseño criterios que coloquen en el centro y propósito de tales leyes y programas la preservación y la producción de la salud humana, gravemente afectada como se ha mostrado en este informe.

Por último, se quiere enfatizar que los diversos vacíos y deficiencias, ya por el diseño, ya por la falta de vigilancia en la implementación de los instrumentos legales ambientales permiten a la industria nacional y extranjera la externalización de costos ambientales y sanitarios de los que, en términos de justicia social y ambiental, deberían responsabilizarse. Dicha externalización, sin embargo, ha debido ser y continuará siendo asumida por el estado y por el sistema de salud pública, por no hablar de las víctimas letales, de la pérdida de calidad de vida y de la perturbación psicosocial que las graves enfermedades provocadas implican, todo lo cual nunca podrá ser tasado en dinero.





4. EVIDENCIAS DE LA PROBLEMÁTICA DE SALUD EN LA CUENCA DEL ALTO ATOYAC



4. EVIDENCIAS DE LA PROBLEMÁTICA DE SALUD EN LA CUENCA DEL ALTO ATOYAC

4.1 Salud renal

El Pronaii de Salud Renal tiene como objetivo general establecer acciones para la prevención, diagnóstico, registro y seguimiento de la enfermedad renal y de sus factores socioambientales de riesgo en poblaciones vulnerables de Tlaxcala, considerando los hallazgos de exposición a mezclas de contaminantes presentes en las muestras analizadas en adolescentes de esta entidad federativa; para atender la posible relación que existe entre esta exposición y las afectaciones a la salud, entre ellas la función renal; e intercambiar información confiable y de utilidad en forma horizontal con diversos actores sociales y políticos, a nivel comunitario y estatal, tanto para los cuidados de la salud como para la política pública basada en acciones informadas hacia el bienestar. Para este propósito, se realizó un estudio transversal en varios municipios de la región centro-sur del estado de Tlaxcala con participantes de entre 11 y 18 años aparentemente sanos en el periodo 2019-2021. Los detalles metodológicos de la recolección de información, toma de muestra, exploración física, la determinación de la exposición a contaminantes y el estado de salud renal se describen en el **Anexo F, Sección 1**.

4.1.1 Descripción de la población de estudio

El estudio incluyó 914 participantes, con una mediana de edad de 13 años (p25-p75=12;15), 55% mujeres. El 31.3% presentó sobrepeso y obesidad, menor a la prevalencia a nivel nacional para este grupo de edad (>40%). El 12.0% nacieron prematuramente, el 0.98% reportó tener diabetes y el 8.9% presentaron presión arterial elevada durante el examen físico (1% tiene presión arterial elevada diagnosticada previamente), todos considerados factores de riesgo para el desarrollo de ERC (Stern-Zimmer et al., 2021) (**Tabla 7**).

TABLA 7.

Características generales sociodemográficas y de salud de la población de estudio y el estado de salud renal

CARACTERÍSTICA	N/P50	%/P25-P75
Edad (años) p50, (p25-p75)	13	(12-15)
Género n, %		
Femenino	503	55.03
Masculino	411	44.97
Talla (puntaje Z) p50, (p25-p75)	-0.545	(-1.24-0.11)
Peso (puntaje Z) p50, (p25-p75)	0.195	(-0.5-0.94)
Nacimiento prematuro (<36 SDG) n, %	110	12.04
IMC (kg/m²) p50, (p25-p75)	21.04	(18.86-24.22)
Bajo peso	20	2.19
CARACTERÍSTICA	N/P50	%/P25-P75
Peso normal	608	66.52
Sobrepeso	171	18.71
Obesidad	115	12.58
Índice cintura-talla p50, (p25-p75)	0.47	(0.44-0.52)
Consumo de medicamentos de manera crónica n, %	101	11.05
Presión arterial elevada n, %	82	8.97
Antecedentes personales patológicos n, %		
Ninguno	674	73.74
Diabetes	9	0.98
Hipertensión arterial (diagnosticada)	13	1.42
Infección de vías urinarias	105	11.49
Enfermedad renal	15	1.64
Otra enfermedad	93	10.18
No sabe	5	0.55
eGFR (ml/min por 1.73m²) p50, (p25-p75)	103.75	(92.04-121.52)
Razón albúmina-creatinina (mg/g-creat) p50, (p25-p75)	4.94	(<LDD-22.53)
Razón albúmina creatinina (mg/g-creat) n, %		
<30		741
30-300	169	18.49
>300	4	0.44

Nota: Por debajo del límite de detección; SDG: semanas de gestación

4.1.2 Características socioeconómicas de la población participante

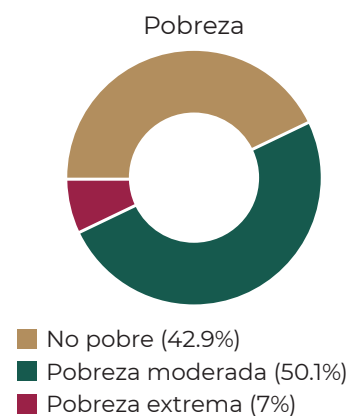
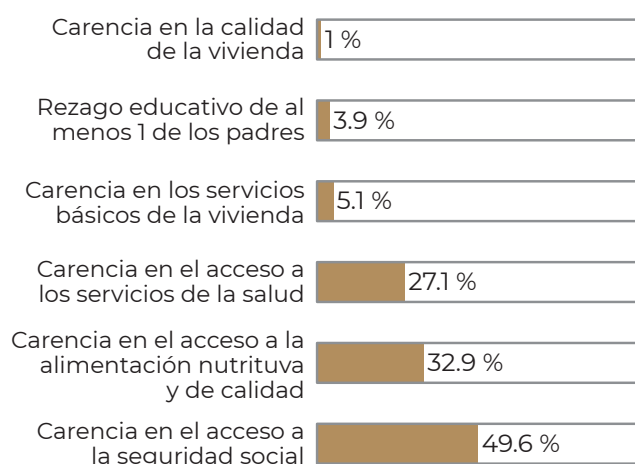
La pobreza es un determinante de salud relacionado con la exposición a los contaminantes del aire y otros riesgos ambientales (Hajat et al., 2015), que a su vez son un factor de riesgo para el desarrollo de la ERC (Nicholas et al., 2015). Se construyó un indicador para la medición de la pobreza multidimensional (**Figura 18**) y los resultados en la población participante fueron:

- 49.6%, carencia en el acceso a la seguridad social.
- 32.9%, carencia en el acceso a la alimentación nutritiva y de calidad.
- 27.1%, carencia en el acceso a los servicios de salud.
- carencia en los servicios básicos y la calidad de la vivienda (5.1% y 1% respectivamente).

El indicador de pobreza repostado fue comparado con los indicadores del Coneval en 2020 (Coneval, 2021). Los resultados son cercanos a los obtenidos a nivel nacional. La metodología para la construcción de los indicadores y análisis estadístico se detalla en el **Anexo F, Secciones 2 y 3**.

Medición multidimensional de la pobreza

Carencias Sociales



El 57.1% de los participantes se clasificaron como pobre.

Metodología: Coneval 2019.

FIGURA 18.

Indicador para la medición de pobreza multidimensional en la población participante.

4.1.3 Estado de la salud renal

Para evaluar el estado de salud renal, se emplearon dos parámetros: albuminuria y la tasa de filtración glomerular (eGFR). Ambos parámetros miden la capacidad del riñón para filtrar, y en menor medida, su capacidad para reabsorber sustancias, funciones centrales de estos órganos. La presencia de albumina en orina (albuminuria) es un indicativo de riesgo a padecer ERC.

El 18.93% de la población evaluada presentó albuminuria ($\geq 30\text{mg/g-creatinina}$), mientras que un 0.2% tuvo la eGFR $< 60\text{ ml/min/1.73 m}^2$ (**Tabla 7**). Esta prevalencia de albuminuria es superior a la reportada en adolescentes de otros países. Por ejemplo, la Encuesta Nacional de Examen de Salud y Nutrición (NHANES por sus siglas en inglés) de los años 1988-1994, 2003-2008 y 2009-2014, reportaron prevalencias de albuminuria del 13.15%, 14.21% y 13.69% (Saydah et al., 2018).

La guía internacional del consorcio KDIGO (Kidney Disease: Improving Global Outcomes) para el diagnóstico, la evaluación, el manejo y el tratamiento del paciente con ERC establece la clasificación de los grados/categorías de ERC en una matriz combinada de dos variables: albuminuria y eGFR. Esta aproximación permite la clasificación pronóstica del paciente con ERC en situaciones de riesgo moderado, alto o muy alto con respecto al riesgo basal o de referencia.

En el presente estudio se encontró que el 19% de los participantes tuvieron un riesgo de moderado (verde) a alto (guinda) (**Figura 19**) según la clasificación KDIGO, es decir, riesgos para el desarrollo de complicaciones específicas de la enfermedad renal, riesgo de progresión y riesgo cardiovascular. Este porcentaje es mayor al reportado por la NHANES: 12.8% en el periodo 1988-1994, 14.59% en el periodo 2003-2008 y 14.30 en el periodo 2009-2014 (Saydah et al., 2018).

Cerca del 19% de la población participante presentó una función renal comprometida y un riesgo de moderado a alto de complicaciones de ERC.

4.1.4 Biomarcadores de daño renal temprano

Como se mencionó previamente, el diagnóstico de ERC mediante métodos convencionales, como eGFR y albuminuria, presenta limitaciones para poder identificar alteraciones renales previas al desarrollo de ERC o incluso en las primeras etapas de la enfermedad. La identificación de ciertas moléculas en orina ha representado una opción altamente sensible y específica para la detección del daño renal desde etapas tempranas y su asociación con el desarrollo/progresión de ERC.

En este estudio se determinaron biomarcadores de daño renal temprano no invasivos en la orina de los participantes (**Tabla 8**), el porcentaje de valores superiores al LDD y las concentraciones urinarias de estos se reportan en el **Anexo F, Sección 4**.

TABLA 8.

Descripción de las características de especificidad de cada uno de los biomarcadores de daño renal temprano evaluados

BIOMARCADOR	DETALLES DE LA ESPECIFICIDAD Y SENSIBILIDAD
NGAL	Marcador de daño renal temprano (estructural) a nivel del túbulo distal, segmento de la nefrona encargado de una parte de la reabsorción y secreción renal.
KIM-1	Marcador de daño renal temprano (estructural) a nivel del túbulo proximal, segmento de la nefrona encargado de la mayor parte de la reabsorción renal.
Cis-C	Marcador de daño glomerular (funcional). El glomérulo es el segmento de la nefrona mayormente responsable de la filtración renal. Marcador más sensible que la eGFR para detectar cambios en la tasa de filtración glomerular.
Clus	Marcador de daño glomerular y tubular (funcional).
OPN	Marcador de daño renal temprano (estructural) a nivel del túbulo proximal
α1-MG	Marcador de daño glomerular y tubular (funcional).

NGAL, lipocalina asociada a la gelatinasa de neutrófilos; KIM-1, molécula de daño renal-1; cistatina-C, Cis-C; Clus, clusterina; OPN, osteopontina, α1-MG alfa 1 microglobulina.

4.1.5 Caracterización de la exposición en la población participante

Uno de los resultados más relevantes de este estudio es el hallazgo sobre la exposición a metales, arsénico y plaguicidas en la población participante.

Se realizó la determinación de 42 elementos y compuestos tóxicos que incluyen metales, arsénico, halogenados, no metales y plaguicidas, que se describen en el **Anexo F, Sección 4, Tabla 2**.

TASA DE FILTRACIÓN GLOMERULAR, eGFR (ml/min/1.73m ²) Categorías, descripción y rangos			ALBUMINUIRA Categorías, descripción y rangos		
			A1	A2	A3
			Normal a ligeramente elevada	Moderadamente elevada	Gravemente elevada
			< 30 mg/g	30-300 mg/g	> 300 mg/g
G1	Normal a elevada	≥ 90	63.2%	14.8%	0.2%
G2	Ligera baja	60-89	17.7%	3.6%	0.2%
G3a	Ligera a moderadamente baja	45-59	0.1%	0.1%	-
G3b	Moderada a gravemente baja	30-44	-	-	-
G4	Gravemente elevada	15-29	-	-	-
G5	Insuficiencia renal	< 15	-	-	-

FIGURA 19.

Pronóstico de ERC según las categorías de eGFR y de albuminuria. Riesgo de complicaciones específicas de la enfermedad renal, riesgo de progresión y riesgo cardiovascular: verde, riesgo de referencia, no hay enfermedad renal si no existen otros marcadores definitorios; verde, riesgo moderado; **dorado**, riesgo alto; **guinda**, riesgo muy alto.

A) Elementos químicos (metales, no metales, metaloides y halogenados)

Nueve de los elementos químicos analizados rebasaron los valores de referencia en orina. El 66% de la población tuvo niveles elevados de arsénico, 39% de níquel, 37% de plomo, 33% de cobre, 32% de vanadio, 29% de yodo, 17% de selenio, 11% de estroncio y 9% de litio (**Figura 20; ver Anexo F, Sección 4, Tabla 3**). Algunos de los efectos tóxicos más reconocidos para estos elementos se muestran en la **Tabla 9**.

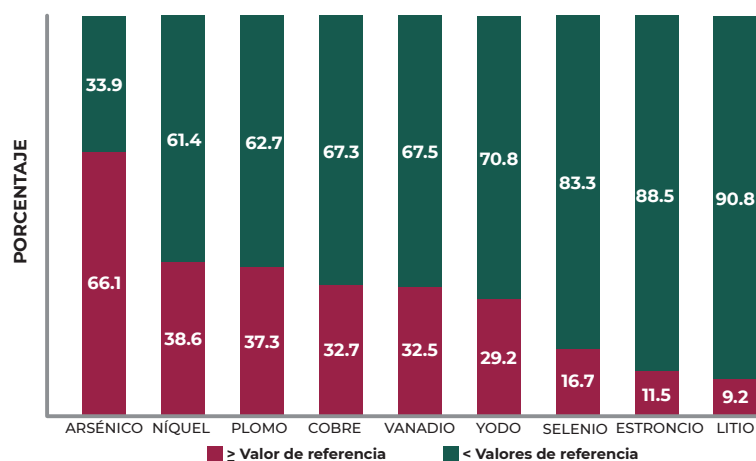


FIGURA 20. Porcentajes de la población que sobrepasa los niveles de referencia (guinda) para 9 elementos químicos con conocidos efectos tóxicos (arsénico y metales).

B) Plaguicidas

De los 23 plaguicidas evaluados, 8 fueron detectados en la orina de los participantes. Malatión se detectó en 81% de los participantes, y más del 50% tuvo también exposición a glufosinato, glifosato y picloram **Figura 21**. Las concentraciones urinarias de los plaguicidas se reportan en el **Anexo F, Sección 4, Tabla 4**. Algunos de los efectos tóxicos más reconocidos para estos elementos se muestran en la **Tabla 10**.

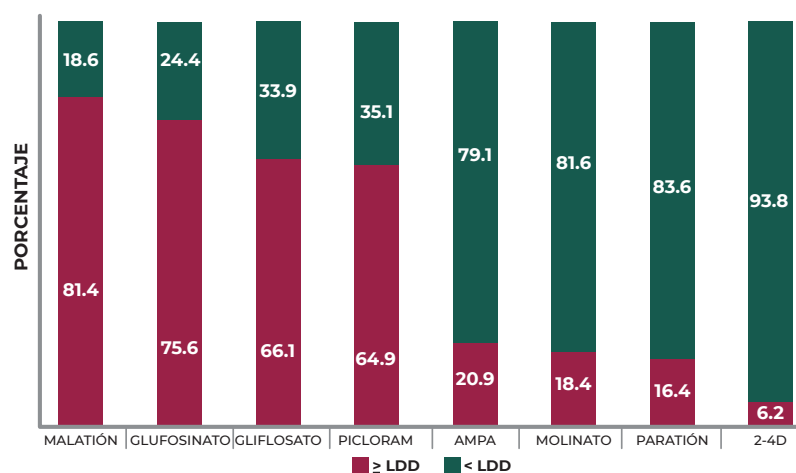


FIGURA 21. Porcentajes de la población con niveles de plaguicidas en orina superiores al límite de detección (LDD).

TABLA 9.

Compilado de efectos adversos en salud de los elementos químicos encontrados a altos niveles en la población participante

NOMBRE	TIPO DE ELEMENTO	EFFECTOS DE LA EXPOSICIÓN CRÓNICA	CLASIFICACIÓN IARC
Arsénico	Metaloide	Cáncer (piel, pulmón y vejiga). Lesiones cutáneas Diabetes Enfermedades cardiovasculares Problemas en el desarrollo cognitivo, inteligencia y memoria (niños). Nefrotóxico	Cáncer (piel, pulmón y vejiga).
Níquel	Metal	Lesiones cutáneas Bronquitis	Grupo 2B: posible carcinógeno
Plomo	Metal	Nefrotóxico Neurotóxico Anemia Problemas en el desarrollo cognitivo, inteligencia y memoria (niños).	Grupo 2A: probable carcinógeno
Cobre	Metal	Nefrotóxico Hepatotóxico	No evaluada
Vanadio	Metal	Bronquitis y alteraciones del pulmón Neurotóxico Daño cardíaco y vascular	Grupo 2B: posible carcinógeno
Yodo	Halogenado	Daño de la glándula tiroides Cáncer en tiroides (isótopo radioactivo)	Grupo 1 (isótopo radioactivo): carcinógeno
Selenio	No-metal	Selenosis Bronquitis y alteraciones del pulmón	Grupo 3: no clasificable como carcinógeno
Estroncio	Metal	Alteración del desarrollo óseo (niños) Anemia (isótopo radioactivo) Problemas de coagulación Anemia (isótopo radioactivo) Leucemia, cáncer de pulmón y de huesos (isótopo radioactivo)	Grupo 1 (isótopo radioactivo): carcinógeno
Litio	Metal	Neurotoxicidad Nefrotóxico Efectos cardiovasculares Hipotiroidismo	Algunos compuestos se han clasificado como 2B

Fuente: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR), ToxFAQsTM. www.atsdr.cdc.gov/ToxFAQs

Más del 50% de la población participante está expuesta a agentes altamente tóxicos como arsénico, malatión, glufosinato, glifosato y picloram.

TABLA 10.

Compilado de efectos adversos en salud de los plaguicidas detectados en la población participante

NOMBRE	TIPO DE PLAGUICIDA	EFFECTOS DE LA EXPOSICIÓN CRÓNICA	CLASIFICACIÓN IARC
Malatión	Insecticida organofosforado	Neurotóxico asociado con depresión, ansiedad e irritabilidad. Efectos adversos a nivel reproductivo	Grupo 2A: probable carcinógeno
Glufosinato	Herbicida organofosforado	Neurotóxico (inhibidor de la glutamina sintetasa) asociado con autismo	Grupo 2A: probable carcinógeno
Glifosato	Herbicida organofosforado	Genotóxico, neurotóxico, inmunotóxico.	Grupo 2A: probable carcinógeno
Picloram	Herbicida organoclorado	Hepatotóxico	Grupo 3: no clasificable como carcinógeno
AMPA	Metabolito de glifosato	Similar a glifosato	No evaluada
Molinato	Herbicida carbamato	Disruptor endócrino. Efectos adversos a nivel reproductivo.	Disruptor endócrino
Paratión	Insecticida organofosforado	Neurotóxico (inhibidor de la acetilcolinesterasa); efectos adversos a nivel reproductivo	Grupo 2B: posible carcinógeno
2-4D	Herbicida ácido	Asociación con linfoma non-Hodking, asociación con Parkinson. Disruptor endócrino inmunitóxico	Grupo 2B: posible carcinógeno

Fuente: National Center for Biotechnology Information (2023). PubChem Compound Summary for CID. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound>

La exposición a estos agentes tóxicos se presenta en mezclas, de las cuales no se conocen sus efectos en salud. Las infancias y juventudes son especialmente vulnerables a los efectos tóxicos de estos agentes tóxicos.

4.1.6 Evaluación de la asociación entre los niveles de exposición a los diferentes agentes tóxicos y el daño a nivel renal

Se evaluó la asociación individual cada biomarcador de daño y funcionamiento renal con los niveles de exposición de los agentes tóxicos evaluados, representadas en tertiles (niveles de exposición baja, media y alta), a través de modelos de regresión lineal y logística, ajustando por las principales variables confusoras: edad, sexo, índice de masa corporal y condición de pobreza (**Figura 22 y 23**). Los detalles metodológicos del modelaje estadístico se incluyeron en el **Anexo F, Sección 3, Tabla 1**.

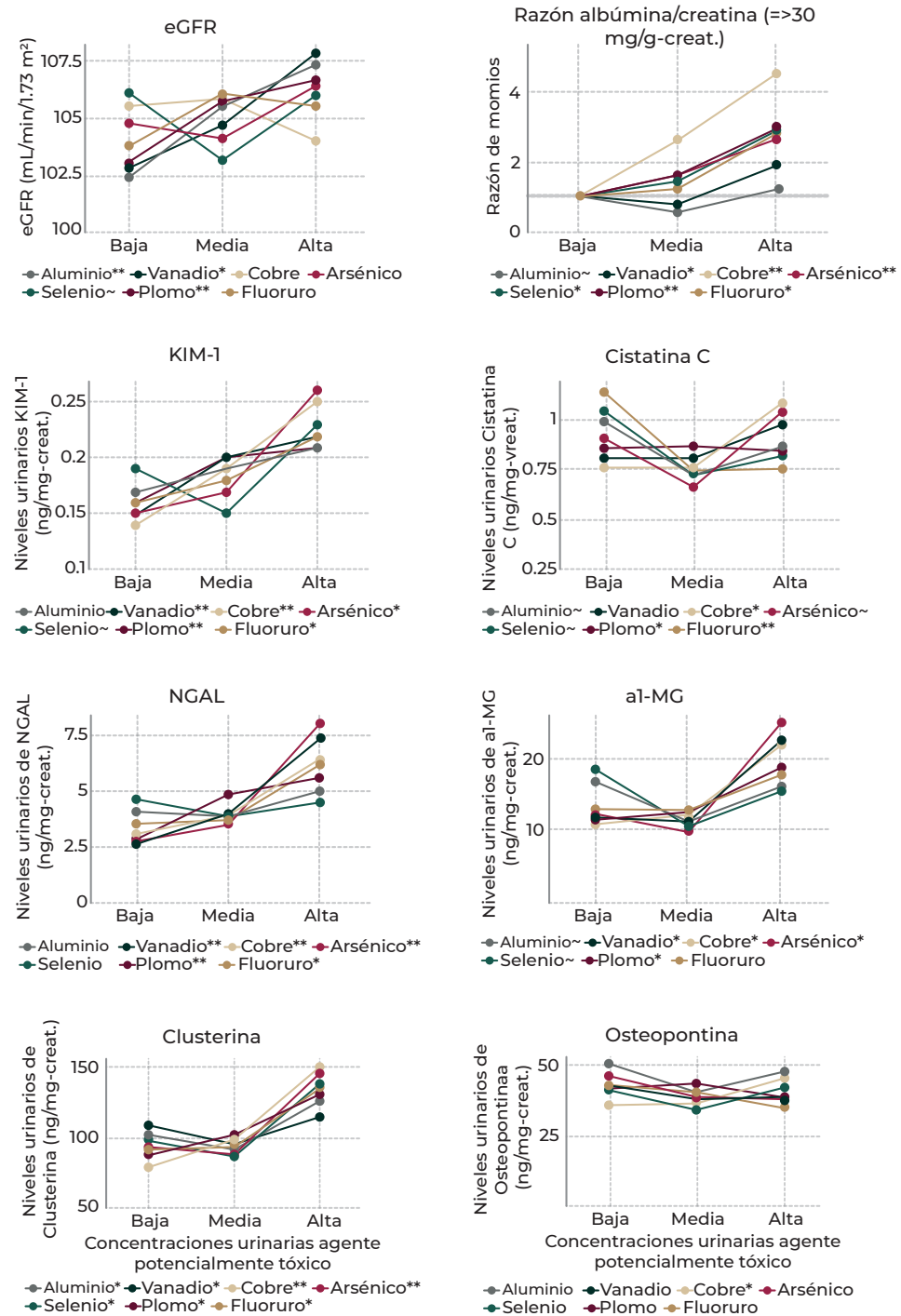
A continuación, se resumen los resultados más relevantes:

- a) El plaguicida picloram se asoció con todos los biomarcadores de daño y función renal, 25% de estas asociaciones tuvieron un comportamiento tipo “dosis-dependiente”, es decir, la asociación entre el daño y exposición se incrementó gradualmente conforme a los niveles de exposición. AMPA, cobre y plomo le siguieron con una asociación significativa con más del 70% de biomarcadores evaluados.
- b) Cromo, plomo y vanadio fueron los tóxicos con las asociaciones más significativas con daño renal temprano estructural (KIM-1, NGAL y Clusterina), en específico en el segmento proximal de la nefrona.
- c) Arsénico, cobre, fluoruro, plomo, vanadio, AMPA, glufosinato, malatión y picloram tuvieron asociaciones consistentes con daño renal temprano estructural a nivel del túbulo proximal (KIM-1 y NGAL), y con daño a glomerular y funcional (clus y con la relación albúmina creatinina, RAC).
- d) Aluminio mostró las asociaciones consistentes con biomarcadores que indican hiper-filtración renal (Cis-c y eGFR), además de tener la asociación más fuerte con disfunción en la tasa de filtración.
- e) Ni glifosato o molinato tuvieron asociaciones con daño renal temprano, y las asociaciones con daño funcional fueron de débiles a nulas.
- f) Los niveles elevados de exposición a molinato se asociaron únicamente con eGFR, fue el tóxico con menos asociaciones significativas, seguido de glifosato y selenio.
- g) Selenio en la mayoría de los casos, excepto con proteinuria, tuvieron asociaciones negativas con los biomarcadores de daño y funcionamiento renal. Al tratarse de un elemento esencial involucrado en procesos antioxidantes, es posible que las relaciones negativas reafirmen su papel protector.
- h) De las asociaciones entre los biomarcadores KIM-1, NGAL y los agentes tóxicos, el 40% fueron dosis-dependientes, es decir, estos biomarcadores fueron

los más sensibles para identificar cambios a nivel renal con respecto a los cambios en los niveles de exposición. Además, para ambos biomarcadores se presentaron asociaciones con los mismos tóxicos (arsénico, cobre, fluoruro, plomo, vanadio, AMPA, glufosinato, malatión, picloram).

- i) RAC se asoció con la exposición a casi todos los elementos químicos evaluados, excepto aluminio. Sus asociaciones con plaguicidas fueron un poco menos indicativas y nulas en caso de glifosato y molinato.
- j) Cis-C se asoció con 8 tóxicos (aluminio, arsénico, fluoruro, selenio, glifosato y malatión) 75% de estas asociaciones fueron negativas, señalando que la exposición se asocia con la hiperfiltración renal.
- k) Los niveles elevados de exposición a los plaguicidas: AMPA, glifosato, glifosinato y picloram, se asociaron con daño renal temprano estructural a nivel del túbulo distal (OPN), ninguno de los elementos químicos evaluados se asoció con este biomarcador. Además, OPN fue la única molécula que no tuvo asociaciones tipo “dosis-dependiente” con los niveles de exposición.

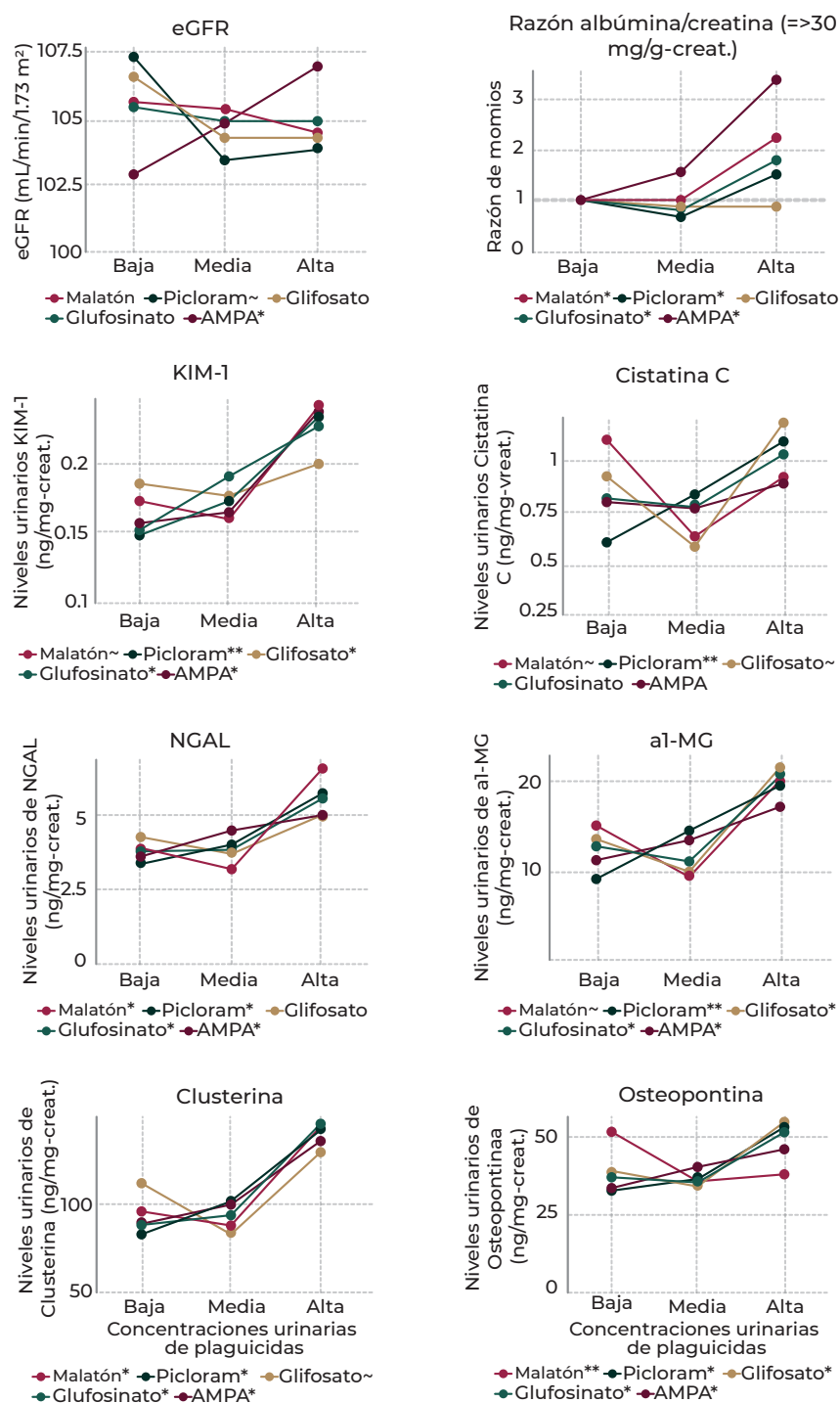
Los tipos y niveles de exposición encontrados en la población participante tuvieron múltiples asociaciones con biomarcadores de daño y disfunción renal, a pesar de tratarse de una población sin sintomatología aparente. Estas asociaciones indican daño subclínico renal asociado con la exposición sobre todo a arsénico, cobre, fluoruro, plomo, vanadio, AMPA, glufosinato, malatión y picloram, que incrementa la probabilidad para el desarrollo de ERC y sus complicaciones.

**FIGURA 22.**

Asociación entre la tasa de filtración glomerular, la albuminuria y los marcadores de daño renal temprano con la exposición a metales, arsénico y fluoruro.

*Indica diferencias significativas respecto a la exposición alta (tercer tercil);

** Indica diferencias significativas respecto la exposición media y alta (segundo y tercer tercil); ~ indica diferencia significativa en la exposición media (segundo tercil).

**FIGURA 23.**

Asociación entre la tasa de filtración glomerular, la albuminuria y los marcadores de daño renal temprano con la exposición a plaguicidas.

*Indica diferencias significativas respecto a la exposición alta (tercer tercil);

** Indica diferencias significativas respecto la exposición media y alta (segundo y tercer tercil); ~ indica diferencia significativa en la exposición media (segundo tercil).

4.2 Leucemia infantil: incidencia, carga de enfermedad, inmunofenotipo en la región y la asociación entre la exposición ambiental y los casos de leucemia en la región

El objetivo general del Pronaii de Leucemia es conjuntar esfuerzos multidisciplinarios con la meta común de disminuir la mortalidad de esta enfermedad en regiones de alta vulnerabilidad socioambiental. Los ejes estratégicos de este Pronaii van desde 1) la instalación y puesta en marcha de un laboratorio de referencia para el diagnóstico oportuno y certero de las leucemias, 2) la armonización del diagnóstico, 3) un registro mixto (hospitalario y poblacional) de casos en tres entidades del país y 4) el desarrollo de terapias más seguras.

El 1 de enero de 2021 se dio inicio al registro de casos nuevos de leucemias agudas de pacientes menores a 20 años atendidos en hospitales públicos y privados de los estados de Puebla y Tlaxcala. Previo al arranque del registro, se presentó el proyecto de investigación 303019 de Epidemiología y Supervivencia de Leucemias Agudas en niños de Zonas Marginadas de México ante los Comités de Investigación y Ética de las diferentes instituciones participantes quienes dieron su aprobación para llevar a cabo no solamente el registro de los casos con reciente diagnóstico de leucemia aguda, sino también, para realizar un estudio que permitiera identificar las regiones dentro de estos Estados con la mayor tasa de incidencia y los factores de riesgo relacionados con el desarrollo de la enfermedad.

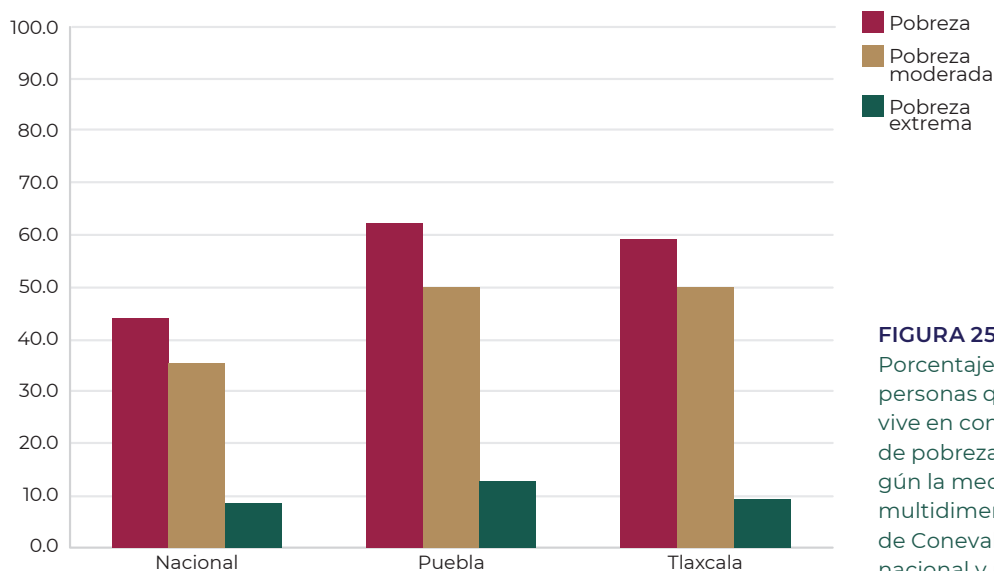
Al 31 de diciembre de 2022, se registraron un total de 260 casos de leucemias agudas en niños, adolescentes y jóvenes menores a 20 años en los estados de Puebla y Tlaxcala.

4.2.1 Descripción de los indicadores de pobreza

La pobreza es uno de los principales determinantes sociales de la salud y se asocia a una mayor frecuencia de muertes a edades tempranas. Asimismo, las condiciones de pobreza determinan la falta de acceso a una nutrición adecuada, a condiciones de vivienda digna, a servicios de salud y educación gratuitos y de calidad. De acuerdo con datos del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval), para el año 2020, el 43.9% de la población mexicana vivía en condiciones de pobreza. Del año 2016 al 2020 la proporción de mexicanos a nivel nacional que viven en pobreza se incrementó un 6.6%, pero el mayor cambio se dio en el grupo de pobreza extrema con un incremento del 23.4% (Coneval, 2020).

En los estados de Puebla y Tlaxcala los valores de pobreza son mayores a la media nacional y alrededor del 60% de la población vive en condiciones de pobreza de acuerdo

con la última medición de pobreza municipal del Coneval (**Figura 25**) (Coneval, 2020). En Puebla y Tlaxcala, el incremento en la proporción de personas que viven en pobreza, para el periodo 2016-2020, fue muy similar (12.5% y 12.6%), pero hubo diferencias en el incremento de la pobreza extrema. Tlaxcala presentó un incremento del 78% de la pobreza extrema, mientras que en Puebla el incremento fue del 67.8%. Es probable que este cambio se originara por el fuerte impacto económico de la pandemia de la COVID-19 durante el año 2020.



Fuente: Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2020)

FIGURA 25.
Porcentajes de personas que vive en condición de pobreza según la medición multidimensional de Coneval 2020 nacional y por entidad federativa.

En términos socioeconómicos (pobreza), Tlaxcala y Puebla son dos poblaciones altamente vulnerables, y, por lo tanto, desde el punto de vista de salud deben ser monitoreadas muy estrechamente por el riesgo tan alto que tienen de enfermar y morir prematuramente.

4.2.2 Municipios de la Cuenca del Alto Atoyac con altas tasas de incidencia por leucemias agudas infantiles

Para identificar los municipios de Puebla y Tlaxcala con la mayor incidencia de leucemias infantiles y considerando que la enfermedad es poco frecuente en la población general, se calcularon las tasas de incidencia para los municipios con una población anual promedio mayor a 15,000 habitantes menores a 20 años. De los 10 municipios con las mayores tasas de incidencia de casos con leucemia infantil durante 2021-2022, ocho se localizan en el estado de Puebla (**Figura 26**).

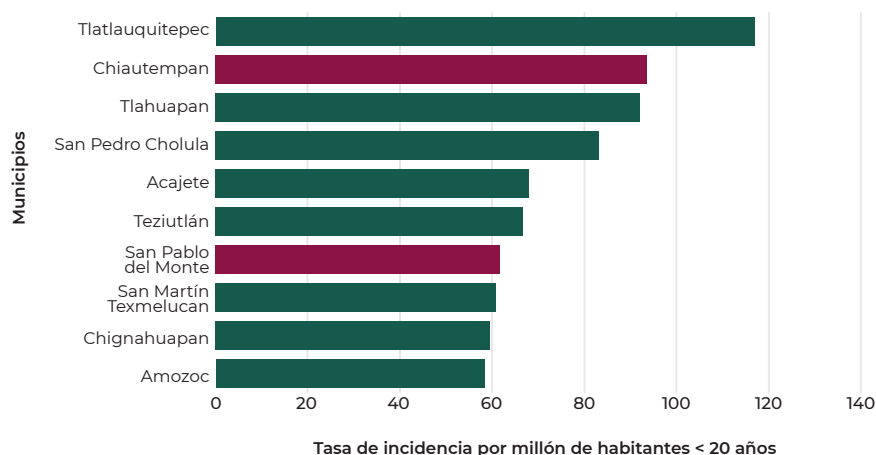


FIGURA 26. Municipios con la mayor tasa de incidencia por leucemias agudas en menores de 20 años para el periodo 2021-2022 en los estados de Puebla (en color verde) y Tlaxcala (en color guinda).

De los municipios con las tasas de incidencia más elevadas de leucemias agudas en la CAA, sólo dos se localizan en Tlaxcala. El resto están en Puebla, incluyendo el primer lugar, Tlatlauquitepec.

4.2.3 Mortalidad e incidencia de leucemias agudas en la Cuenca del Alto Atoyac y su área de influencia

En los estados de Tlaxcala y Puebla el 40.8% de las incidencias de leucemias agudas en menores de 20 años del periodo evaluado, se localizan en la CAA. El 83% de estos casos fueron diagnosticados con el tipo más común de leucemia, la leucemia linfoblástica aguda (LLA); mientras que, 15 pacientes fueron diagnosticados con una leucemia mieloide aguda (LMA), y tres pacientes presentaron una leucemia de linaje mixto.

Cerca del 41% de los casos de leucemias agudas en menores de 19 años en los estados de Tlaxcala y Puebla residen en la CAA. El 58% de estas leucemias son de alto riesgo.

Por inmunofenotipo, las LLA se clasificaron en leucemias de linaje B en el 94.3% de los casos y el resto presentó un inmunofenotipo de linaje de células T o leucemias bifenotípicas.

Al momento del diagnóstico, y de acuerdo con la edad del paciente y de la cuenta de glóbulos blancos en sangre periférica, los pacientes fueron clasificados con leucemias de alto riesgo en el 58% de los casos. Estos pacientes tienen altas posibilidades de recaer y morir tempranamente durante las primeras etapas del tratamiento.

En el área de influencia de la CAA (Cuenca del Nexapa, Bajo Atoyac y DR 030 - Tehuacán) se registraron un total de 82 casos con diagnóstico de leucemia aguda

en menores de 20 años, representando el 31.5% del total de casos registrados para ambos estados.

La tasa bruta de incidencia de leucemia aguda en la región de la CAA y en su área de influencia, durante 2021 y 2022, fue de 41 casos de leucemia por cada millón de personas menores de 20 años en la CAA (tasa ajustada: 41.3 casos) y 53 en el área de influencia (tasa ajustada: 53.1 casos). El principal tipo de leucemia fue la leucemia

linfoblástica aguda, seguida de la leucemia mieloide aguda.

La mortalidad por leucemias infantiles fue calculada para un periodo de 20 años (2000-2019) y la tasa ajustada por edad en escala de millón de niños (INEGI, 2021). Para ambas zonas la mortalidad fue mayor a la media nacional (33.9) y a las estatales (29.6 y 31.9 Tlaxcala y Puebla, respectivamente), en especial para el área de influencia (36.8) (**Anexo G, Sección 1**).

La mayoría de las leucemias de la región de la CAA son de alto riesgo. No obstante, la zona de influencia de esta Cuenca también tiene una alta incidencia de casos, esta zona también debe ser atendida con prioridad y analizada a detalle.

4.2.4 Identificación del riesgo de desarrollar leucemias agudas en subregiones de alta concentración de metales tóxicos y arsénico dentro de la Cuenca del Alto Atoyac

A partir de los datos georreferenciados sobre los resultados de análisis de contaminantes en el sistema fluvial de la CAA y su área de influencia (obtenidos en las bases públicas de Renameca) se obtuvo una matriz de 11 elementos químicos (metales y arsénico) con valores interpolados (**Anexo G, Sección 2, Tabla 1**) que permitió categorizar los municipios de la zona de estudio en subregiones con “baja, moderada y alta” exposición potencial a metales y arsénico. Se geolocalizaron los casos de leucemias que residían en los municipios que conforman estas tres subregiones y se realizó un análisis de casos y controles. Los controles fueron niños, niñas y adolescentes “sin leucemia” de edad y sexo similares a los casos con leucemia. Estos participantes fueron buscados y seleccionados en las áreas de consulta

externa, urgencias y hospitalización en hospitales de segundo nivel de atención de donde procedían los casos de leucemia y que también vivieran dentro de las subregiones estudiadas. Se les aplicó una entrevista a ambos padres/tutores legales de las y los participantes para recabar información epidemiológica, demográfica y exposición a posibles fuentes de contaminación ambiental, con lo que se evaluó el riesgo de desarrollar leucemia infantil por vivir en los municipios con “alta” exposición a la mezcla de metales y arsénico.

La muestra analizada consistió en 92 casos con leucemia aguda y 131 controles para un total de 223 menores a 20 años participantes (**Figura 27**). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre casos y controles con

respecto al sexo o edad, y hubo una asociación marginal por subregión de baja, moderada o alta exposición potencial a mezclas de metales y arsénico ($p = 0.07$).

El principal subtipo de leucemia aguda fue la de tipo linfóide B (80.4%), seguida de las leucemias mieloides (14.1%) y de

las leucemias linfoides de linaje T (4.3%). Dentro del subgrupo de leucemias linfoides, un elevado porcentaje de pacientes (63.3%) presentó características de una leucemia de alto riesgo por una cuenta de leucocitos mayor o igual a $50 \times \text{mm}^3$, una edad menor a 1 año, o mayor o igual a 10 años al momento del diagnóstico.

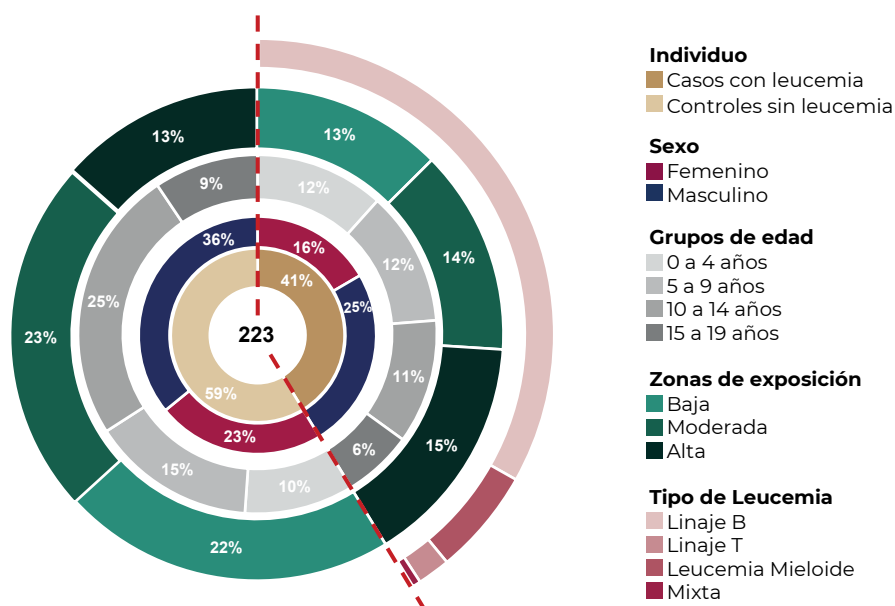


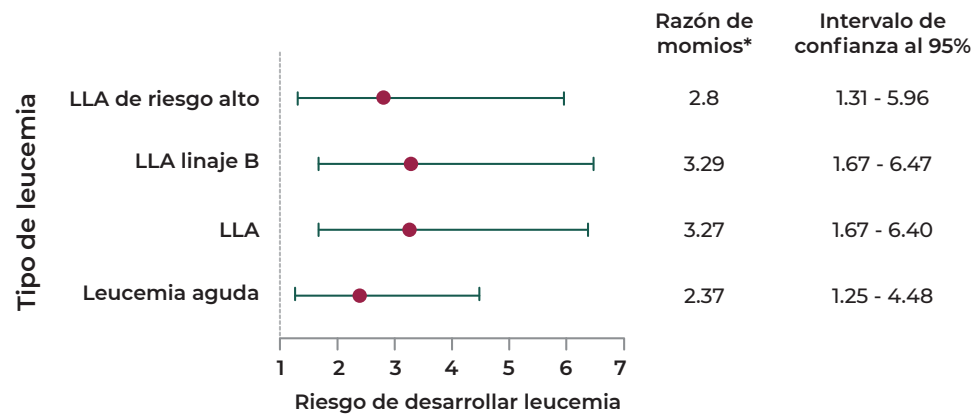
FIGURA 27.

Características sociodemográficas, ambientales y clínicas de la población participante para el análisis de casos y controles. A partir del centro de la circunferencia: anillo 1, individuos; anillo 2, sexo; anillo 3, grupos de edad; anillo 4, zonas de exposición; anillo 5, tipos de leucemia.

Para evaluar la asociación entre residir dentro de la región de alta exposición potencial a metales y arsénico y el riesgo de desarrollar leucemias agudas, se realizaron distintos análisis de regresión logística (**Anexo G, Sección 2**), incluyendo en los mismos aquellas variables que pudieran también estar asociados con el desarrollo de leucemia como la edad, el sexo de los pacientes y el nivel de pobreza (porcentaje de pobreza municipal de Coneval).

En la (**Figura 28**) se resumen los resultados de los análisis antes referidos para identificar el riesgo de desarrollar leucemias agudas, así como para los subtipos:

leucemia linfoblástica aguda (LLA), LLA de linaje B (LLA-B) y LLA de alto riesgo. Se pudo identificar que, la probabilidad de desarrollar leucemias agudas por vivir en municipios de la región de alta exposición potencial a mezclas de metales tóxicos y arsénico es alta. Específicamente, el riesgo de desarrollar leucemias agudas en menores de 20 años se duplica al vivir en la subregión de la CAA con alta exposición potencial a mezclas de metales tóxicos y arsénico en comparación con vivir en las subregiones de baja y moderada exposición. Y el riesgo se triplica para desarrollar el principal subtipo de leucemia, la LLA-B.



*Ajustada por sexo, edad y nivel de pobreza

FIGURA 28.

Resultados del análisis de regresión logística en donde la variable dependiente es desarrollar leucemias agudas o algún subtipo de leucemia y el factor de exposición es ser residente de los municipios que conforman la zona de alta exposición potencial a mezclas complejas de metales tóxicos y arsénico.

El riesgo a desarrollar leucemias agudas es dos veces mayor al residir en una zona con elevada exposición potencial a mezclas de metales tóxicos y arsénico. Este riesgo es tres veces mayor para el subtipo LLA y LLA de alto riesgo.

4.3 Resultados del análisis geoespacial de la problemática de salud y el deterioro ambiental

Con la finalidad de ampliar el panorama sobre la problemática de la salud en la CAA, se calcularon tasas de mortalidad (100 mil habitantes) por ERC y leucemias agudas para periodos y grupos de edad específicos, relacionados con la historia natural de estas enfermedades; para ello se utilizaron métodos de regionalización con un mínimo de 15 mil habitantes con base en municipios, los cuales se describen en el **Anexo H, Sección 3**.

Los métodos de regionalización permiten unir municipios contiguos con poca población para evitar el problema de los números pequeños en los cálculos de tasas, problema común para enfermedades poco frecuentes como las leucemias.

Los grupos analizados se definieron a partir de un análisis previo donde se determinó el uso de datos de 10 años para ERC y de 20 años para leucemias agudas. De esta forma, los periodos de tiempo y rangos poblacionales utilizados para la agrupación municipal fueron:

- a) ERC del 2010 al 2019 para todas las edades
- b) ERC del 2010 al 2019 en población de 15 a 49 años
- c) ERC del 2010 al 2019 en hombres de 15 a 49 años
- d) Leucemias agudas del 2000 al 2019 para todas las edades
- e) Leucemias agudas del 2000 al 2019 en población de 0 a 19 años

Todos los resultados de las tasas por regionalización municipal se representaron en mapas coropléticos que facilitan la observación del panorama de estas enfermedades en el territorio de la CAA.

La tasa de mortalidad por leucemias agudas en personas de 0 a 19 años del 2000 al 2019 con el método de regionalización municipal se comparó con un mapa de calor que representa la incidencia de leucemias agudas registrada por el Pronaii de leucemia infantil. Como resultado se obtuvo un mapa con las regiones o municipios agrupados que registran una tasa de mayor mortalidad a la media nacional y el mapa de calor sobrepuesto, lo que permite identificar similitudes en los valores máximos de cada modelo y, por lo tanto, concluir que la tasa de mortalidad calculada por el método de regionalización es confiable para ilustrar la problemática de salud en la región debido a que es una aproximación congruente con la incidencia reportada por el Pronaii de Leucemia Infantil.

En las imágenes de la siguiente sección se muestran los mapas con las tasas de mortalidad. Los colores azules representan valores por debajo de la media nacional mientras

que los colores naranjas claros a oscuros indican valores por arriba de la media nacional. Por simplicidad, nos referiremos a los municipios y conglomerados de municipios solamente como municipios a lo largo de esta sección.

4.3.1 Municipios con elevada mortalidad por enfermedad renal crónica

Para el análisis de mortalidad por ERC en la CAA, es importante mencionar que en la mayoría de las regiones las tasas de mortalidad son superiores a la media nacional.

En los mapas de mortalidad por ERC donde se incluyen todas las edades (**Figura 29**), es posible observar que cerca del 84% de las regiones municipales dentro de la CA están por arriba de la media nacional (7.10).

En el periodo 2010-2019 los municipios de la CAA con la tasa de mortalidad más elevada, por método regionalizado, en población total fueron:

1. Conglomerado (Pue.): San Gregorio Atzompa + San Jerónimo Tecuanipan + Santa Isabel Cholula (15.99)
2. Conglomerado (Tlax.): Santa Isabel Xiloxotla + Tepeyanco (15.16)
3. Ocoyucan, Puebla (13.97)
4. Conglomerado (Tlax.): Tocatlán + Xaloztoc (13.45)
5. Conglomerado (Tlax.): San Francisco Tetlanohcan + Teolocholco (13.39)

Se analizó también la población de adultos jóvenes de 15-49 años (ambos sexos), en el entendido de que la mortalidad en ambos estados en este grupo etario ha sido particularmente elevada, desde hace décadas, comparada con la media nacional (2.83). Los municipios con las tasas más elevadas son (Figura 30):

1. La Magdalena Tlaltelulco, Tlaxcala (13.24)
2. Conglomerado (Tlax.) Tocatlán + Xaloztoc (10.08)
3. Conglomerado (Tlax.): Santa Isabel Xiloxotla + Tepeyanco (9.88)
4. Conglomerado (Tlax.): Acuamanala de Miguel Hidalgo + Mazatecochco de José María Morelos (9.84)
5. Conglomerado (Tlax.): Cuaxomulco + San José Teacalco + Tzompantepec (9.55)

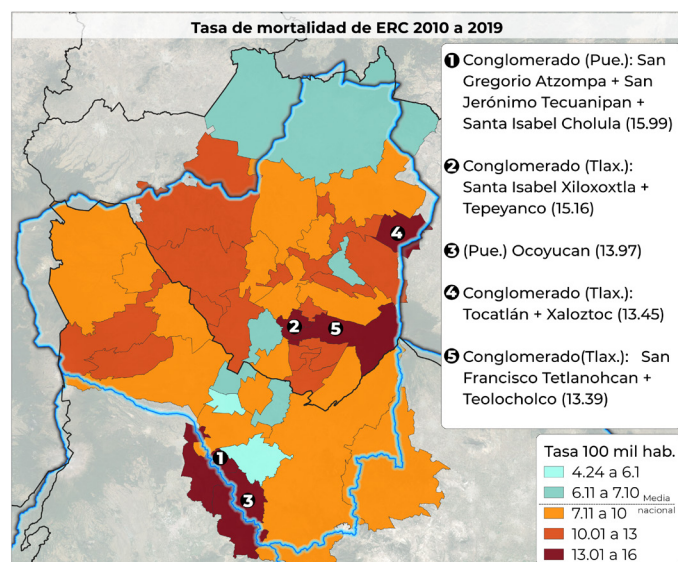


FIGURA 29.

Tasa de mortalidad (regionalizada) por ERC, todas las edades, ambos sexos en el periodo 2010-2019.

Se observa una clara agrupación en dos regiones con altas tasas de mortalidad al oriente de la Cuenca, para todas las edades y grupos etarios específicos.

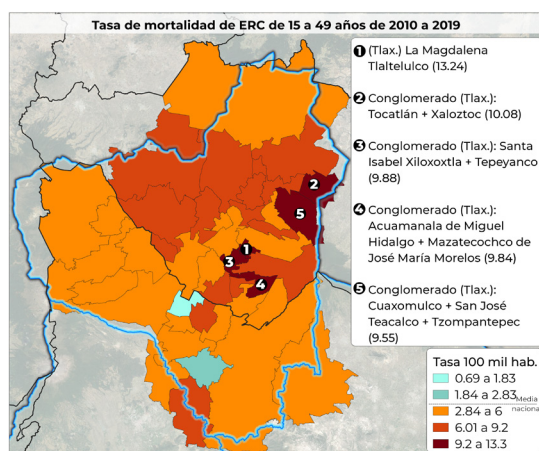


FIGURA 30.

Tasa de mortalidad (regionalizada) por ERC en población de 15 a 49 años, ambos sexos en el periodo 2010-2019.

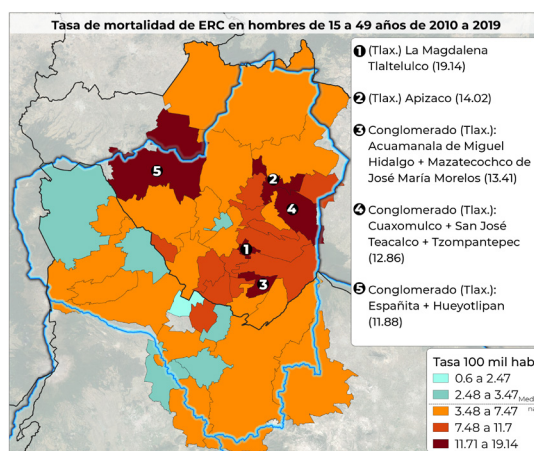


FIGURA 31.

Tasa de mortalidad (regionalizada) por ERC en población de 15 a 49 años, hombres en el periodo 2010-2019.

Para la población de adultos jóvenes de 15-49 años, la mortalidad por ERC en todas las regiones de Tlaxcala en la CAA están por arriba de la media nacional, y los 12 primeros sitios con las tasas de mortalidad más altas de la Cuenca en este grupo de edad se localizan en Tlaxcala.

4.3.2 Municipios con elevada mortalidad por leucemias agudas

Como se mencionó en secciones previas, las infancias y juventudes mexicanas tienen tasas muy elevadas por leucemias agudas. En este sentido, el análisis de mortalidad se centró en el grupo etario de 0-19 años.

En las tasas por regionalización municipal para leucemias agudas en personas de 0 a 19 años, en el periodo de 2000-2019 (**Figura 32**), los municipios de la CAA con la tasa de mortalidad más elevada son:

1. Conglomerado (Tlax.): Acuamanala de Miguel Hidalgo + Mazatecochco de José María Morelos (5.35)
 2. (Tlax.) Santa Cruz Tlaxcala (5)
 3. (Tlax.) San Pablo del Monte (4.16)
 4. (Pue.) San Pedro Cholula (3.74)
 5. (Pue.) Coronango (3.59)
- Media Nacional=2.29

El panorama tomando en cuenta el mismo periodo de tiempo, pero incluyendo todas las edades (**Figura 33**), los municipios de la CAA con la tasa de mortalidad más elevada son:

1. Conglomerado (Tlax.): Santa Isabel Xiloxotla + Tepeyanco (4.52)
 2. Conglomerado (Tlax.): Santa Catarina Ayometla + Santa Cruz Quilehtla (4.13)
 3. (Pue.) Chiantzingo (4.13)
 4. (Tlax.) Tepetitla de Lardizábal (3.77)
 5. (Pue.) Ocoyucan (3.67)
- Media Nacional=2.51

De los 5 municipios con las tasas de mortalidad más elevadas por Leucemias Agudas en la CAA, en la población de 0-19 años, los tres primeros se localizan en Tlaxcala. Sin embargo, la mayor parte de los municipios con tasas de mortalidad por arriba de la media nacional se localizan en Puebla.

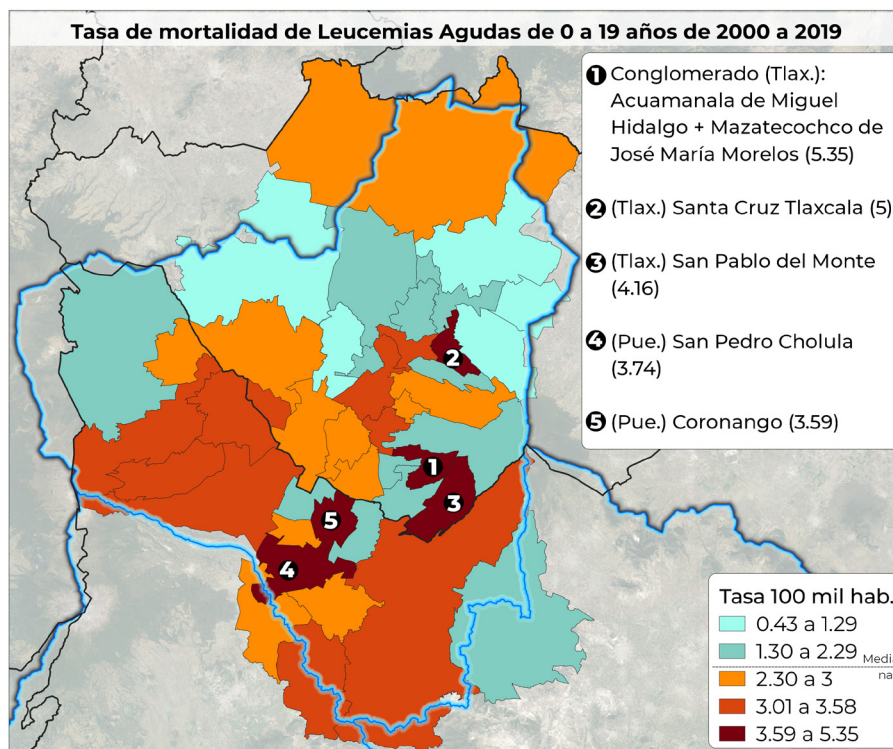


FIGURA 32.

Tasa de mortalidad (regionalizada) por leucemias agudas en población de 0 a 19 años, ambos sexos, en el periodo 2000-2019.

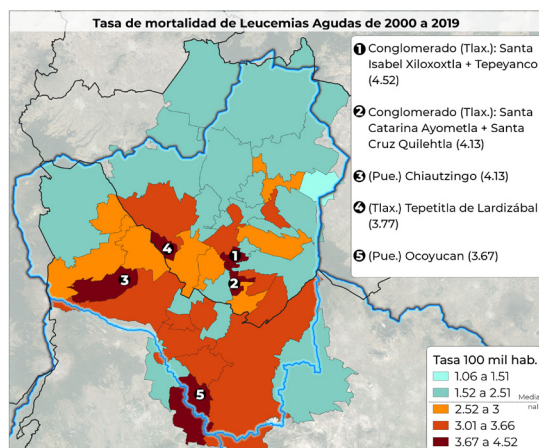


FIGURA 33.

Tasa de mortalidad (regionalizada) por leucemias agudas en población total, ambos sexos, en el periodo 2000-2019.

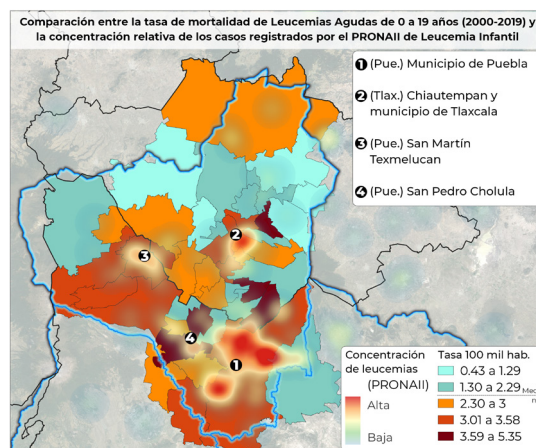


FIGURA 34

Sobreposición de la tasa de mortalidad por leucemias agudas de 0 a 19 años (2000-2019) y la concentración relativa de casos de leucemias agudas.

En la **Figura 34** se muestra la tasa de mortalidad por leucemias agudas donde los colores anaranjados señalan los municipios o conglomerados que están por arriba de la media nacional, contra la superposición de un mapa de calor (densidad de kernel) que indica la concentración relativa de la incidencia de leucemias agudas en personas de 0 a 19 años. Los datos de incidencia corresponden al Pronaii de Leucemia Infantil, en este caso no se usó la tasa bruta de incidencia, para evitar el problema de números pequeños se empleó la concentración relativa de estos casos en el espacio con el fin de comparar la tasa de mortalidad contra los casos activos. En dicho mapa, las manchas rojas localizadas en tres municipios de Puebla: San

Martín Texmelucan, San Pedro Cholula, Puebla (capital), y Chiautempan en Tlaxcala, indican las regiones donde se presenta una mayor mortalidad a la par de una mayor incidencia de las leucemias agudas en personas de 0-19 años de la CAA.

Este resultado indica que los casos de leucemias agudas en San Martín Texmelucan, San Pedro Cholula, Puebla y Chiautempan tienen un patrón especialmente preocupante que no depende en su totalidad del tipo de atención o seguridad social en la región. Tomando como referencia los análisis en la sección 4.2.7. se puede decir que este elemento ajeno que incrementa las muertes y la aparición de nuevos casos

Las tasas de mortalidad por ERC y leucemias agudas son elevadas en la CAA; sin embargo, las tasas más altas se reparten zonas distintas: ERC al oriente de la Cuenca, en Tlaxcala, y leucemias al sur, en Puebla. Estas observaciones sugieren que las causas asociadas a la mortalidad de ambas enfermedades no son las mismas.

4.3.3 Análisis geoespacial de la distribución de los contaminantes y los datos de mortalidad por enfermedad renal crónica y leucemia

Los espacios de la CAA afectados por contaminantes de origen industrial se definieron con la información de las bases de datos oficiales de Semarnat: la base del RETC (2004 a 2021), de donde se obtuvo la ubicación de las fuentes de emisión, la intensidad y frecuencia de las emisiones, y la matriz ambiental a la que se reporta la emisión y la base de Renameca (2012 a 2020), de donde se obtuvo la ubicación de los puntos de muestreo y el comportamiento espaciotemporal de los contaminantes analizados a lo largo de la red fluvial (ver sección de evidencias del daño ambiental). Adicionalmente, los contaminantes fueron reorganizados de acuerdo con un criterio químico-toxicológicos para ponderar sus niveles de riesgo en la salud pública.

Para la información de mortalidad también se identificaron las zonas en donde las tasas han mantenido una distribución uniforme en términos espaciales y a lo largo

de ciertos periodos de tiempo. Para comprender espacialmente la relación entre los fallecimientos y la contaminación ambiental, se realizaron tres ejercicios:

- A. Autocorrelación de mortalidad,
- B. Regionalización de los indicadores de contaminación,
- C. Correlación entre mortalidad y contaminación

Estos tres ejercicios sirvieron para identificar los municipios más críticos donde se presentan las tasas de mortalidad más elevadas por ERC y leucemias, y altos niveles de contaminación reportada y medida.

A) Autocorrelación de la variable mortalidad

En esta parte, se llevó a cabo la autocorrelación espacial (G^*) Getis-Ord (Getis, 1992) analizando las variables de mortalidad. En los mapas resultantes, en color rojo se observan las regiones de valores altos en mortalidad rodeados por valores igualmente altos de esta variable para identificar clústeres o zonas de “muchos valores altos en mortalidad”. A diferencia de las tasas, este indicador no muestra los valores más altos de mortalidad con respecto a la media nacional, sino que busca agrupaciones donde cada elemento está cercano a valores altos similares. Como se muestra en la Figura 35, los municipios agrupados con valores altos de mortalidad por ERC corresponden a:

1. Conglomerado (Tlax): Acuamanala de Miguel Hidalgo + Mazatecochco de José María Morelos;
2. Conglomerado (Tlax): Santa Catarina Ayometla + Santa Cruz Quilehtla, y
3. Chiautempan (Tlax).

Por otro lado, como se observa en la **Figura 36** los municipios agrupados por valores altos de mortalidad por leucemias agudas son:

1. Conglomerado (Tlax): Santa Catarina Ayometla + Santa Cruz Quilehtla,
2. Conglomerado (Tlax): Acuamanala de Miguel Hidalgo + Mazatecochco de José María Morelos, y
3. San Martín Texmelucan, Puebla.

Algunos de estos municipios coinciden con la ubicación identificada en las tasas de mortalidad, lo que indica que esos municipios o conglomerados con tasas altas también están rodeados de otros municipios con valores altos. Se destaca que el conglomerado de Santa Catarina Ayometla y Santa Cruz Quilehtla, en Tlaxcala, que aparece en los clústeres de ambas enfermedades.

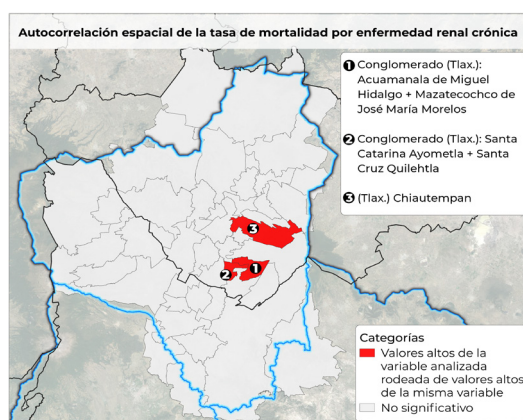


FIGURA 35.
Autocorrelación espacial de las tasas de mortalidad por ERC, todas las edades (2010-2019).

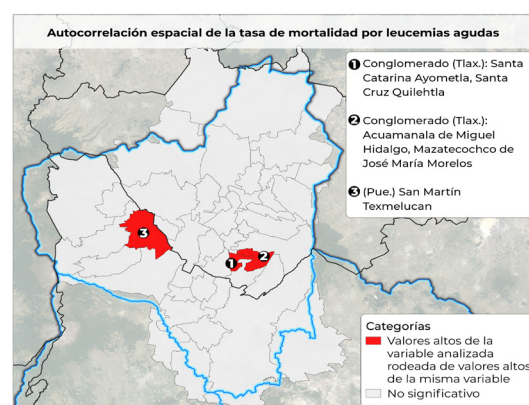


FIGURA 36.
Autocorrelación espacial de las tasas de mortalidad por leucemias agudas, todas las edades (2000-2019).

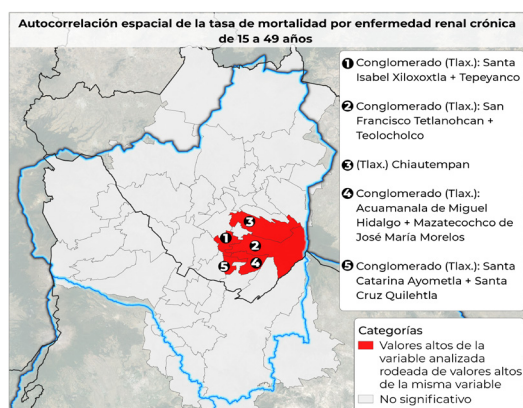


FIGURA 37.
Autocorrelación espacial de la tasa por ERC en personas de 15 a 49 años, ambos sexos (2010-2019).



FIGURA 38.
Autocorrelación espacial de la tasa por ERC en hombres de 15 a 49 años (2010-2019).

Este análisis se hizo en población de 15-49 años, por ser una de las poblaciones más afectadas por ERC en la CAA. En la Figura 37, se muestran las agrupaciones de regiones con altas tasas de mortalidad por ERC, rodeadas de regiones con altas tasas de esta enfermedad. Este clúster, al igual que lo observado en las tasas, se concentra al oriente de la Cuenca, en el estado de Tlaxcala:

1. Conglomerado: Santa Isabel Xiloxotla + Tepicayanco,
2. Conglomerado: San Francisco Tetlanohcan + Teolochoholco,
3. (Tlax.) Chiautempan,
4. Conglomerado: Acuananala de Miguel Hidalgo + Mazatecochco de José María Morelos y
5. Conglomerado: Santa Catarina Ayometla + Santa Cruz Quilehtla.

Cuando se enfoca en el sexo masculino (**Figura 38**) se detecta un conglomerado muy similar, ubicado nuevamente en el estado de Tlaxcala:

1. La Magdalena Tlaltelulco,
2. Conglomerado: Santa Isabel Xiloxotla, Tepeyanco,
3. Chiautempan,
4. Conglomerado: San Francisco Tetlanohcan, Teolochohco y
5. Santa Cruz Tlaxcala.

B) Regionalización de los indicadores de contaminación

Con los valores de los contaminantes reportados en las bases de datos del RETC y Renameca se generó un indicador ponderado para cada uno de los siguientes grupos químico-toxicológicos (**ver detalles en el Anexo H, sección 2 y 3**):

RENAMECA	RETC
10 metales y arsénico	nefrotóxicos
5 metales y arsénico	posibles nefrotóxicos
orgánicos sintéticos	metales y arsénico

Para los grupos del RETC se consideraron las tres matrices ambientales de emisiones: la matriz de agua con alcantarillado, la matriz de suelo y la matriz de aire. Todas las coordenadas de los insumos se verificaron y corrigieron. A partir de este indicador ponderado se construyeron los indicadores para la estimación de la contaminación de cada municipio o conglomerado de la CAA, para lo cual se emplearon modelos adecuados a la dinámica de cada registro. Con los indicadores ponderados resultantes de la Renameca se usó una interpolación en superficie con fricción de relieve, y con los indicadores ponderados de las fuentes de emisión del RETC se usaron mapas de densidad de kernel. Por último, los valores estimados de contaminación para cada municipio fueron calculados mediante estadísticas zonales usando la misma regionalización municipal empleada para el cálculo de las tasas de mortalidad. La metodología se describe con detalle en el **Anexo H, Sección 3**.

Los análisis subsecuentes se llevaron a cabo considerando todos los grupos químico-toxicológicos y en cada sección solo se muestran los de mayor relevancia para los resultados presentados. En las **Figuras 39 a 41** se muestran los mapas de los contaminantes con la regionalización municipal en los que se encontró algún tipo de asociación con

la mortalidad por ERC o leucemias agudas. Las tonalidades claras de la coropleta indican los valores más bajos de todo el periodo de cada base de datos para los grupos de contaminantes especificados, mientras que los rangos más oscuros en el mapa representan un valor promedio (Renameca) o total (RETC) mayor en el mismo periodo (este es el resultado de las interpolaciones). Los círculos blancos reflejan el valor calculado del indicador de contaminación en el punto de muestreo de la red fluvial reportado por Renameca, o con la georreferencia del reporte del RETC, cuyo diámetro corresponde, en orden creciente, con una mayor concentración de contaminantes.

El patrón de contaminación generado con los datos de la Renameca refleja un comportamiento relacionado con el transporte y acumulación de materiales propios de la dinámica fluvial de la Cuenca, por ello, mientras más nos acercamos a la presa Valsequillo, en el límite sur de la CAA, los niveles de contaminación calculados se incrementan. Este fenómeno se aprecia en la **Figura 39** para metales y arsénico y en la **Figura 40** para las sustancias orgánicas sintéticas, pero también es posible identificar las zonas donde ocurre incorporación de contaminantes (círculos blancos), cerca de las áreas urbano; industriales de Apizaco, Tlaxcala, San Martín Texmelucan y la Zona Metropolitana de Puebla.

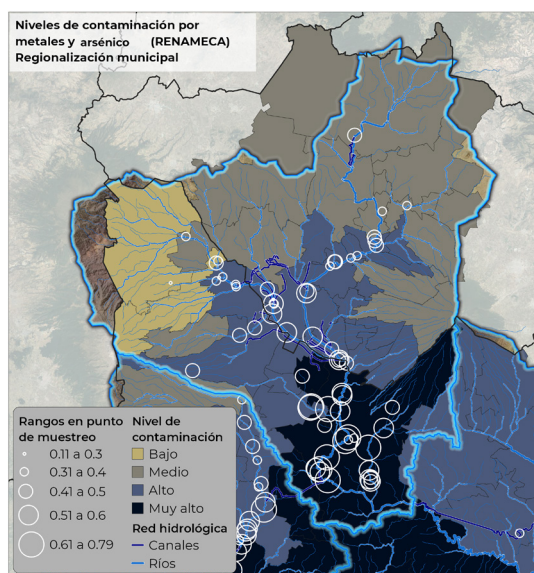


FIGURA 39.
Niveles de contaminación por metales y arsénico, Renameca.

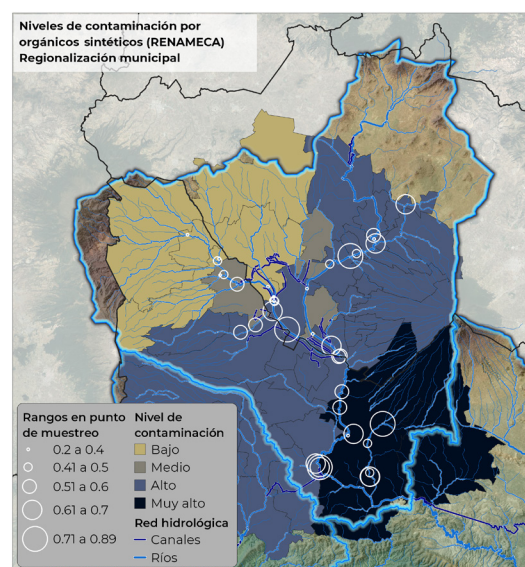
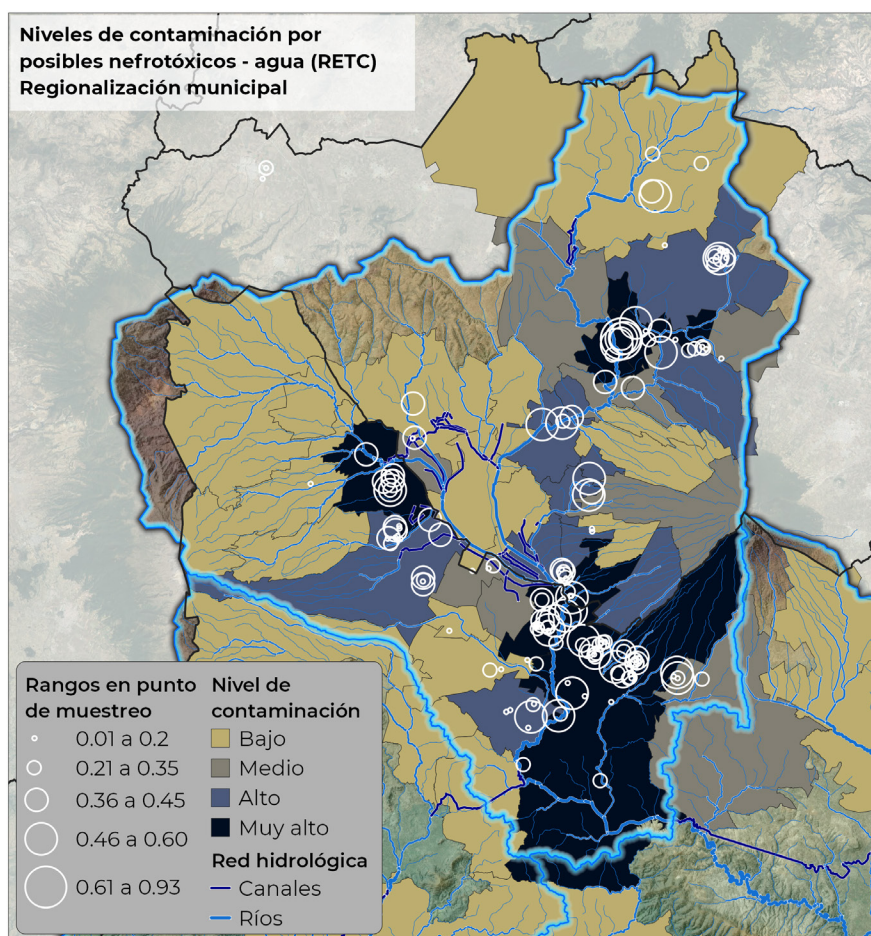


FIGURA 40.
Niveles de contaminación por orgánicos sintéticos, Renameca.

El mapa de la **Figura 41** representa los niveles de las sustancias tóxicas ordenadas bajo la categoría de posibles nefrotóxicos, reportadas como emisión al agua y al alcantarillado durante el periodo 2004-2021 en el RETC. Se trabajó con un modelo aditivo de densidad de kernel que permitió

sumar las cantidades reportadas para dicho periodo y considerando la cercanía entre empresas. Con este ejercicio se observa que las regiones municipales con los reportes más altos coinciden, principalmente, con las zonas donde se ubican los asentamientos industriales.

**FIGURA 41.**

Niveles de contaminación por posibles nefrotóxicos en agua y alcantarillado. Los rangos en punto de muestreo corresponden a la coordenada del establecimiento generador de emisiones reportadas en RETC.

El modelo de regionalización de indicadores de contaminación en la red fluvial refleja una distribución correspondiente con la dinámica hidrológica de la Cuenca, pero también evidencia las zonas de incorporación de contaminantes cerca de los núcleos urbano-industriales. Este patrón se corresponde con la distribución arrojada por el modelo de regionalización con las sustancias de la categoría de posibles nefrotóxicos reportadas en el RETC. Las zonas identificadas tienen un patrón claramente cercano a los sitios donde las tasas de mortalidad por ERC son muy altas, sobre todo en jóvenes del estado de Tlaxcala.

C) Resultados de la correlación entre la mortalidad y la contaminación

Con el panorama general sobre la contaminación y la mortalidad por ERC y leucemias en la CAA, se exploró la posibilidad de una asociación entre los indicadores de contaminación y las tasas de mortalidad. Se utilizó la I. de Morán Local Univariante, la cual evalúa si dos variables se parecen en un espacio cercano, es decir, el valor de la primera variable en un polígono se evalúa con el valor de los vecinos cercanos de la segunda variable. Este análisis sólo identifica los grupos de valores “más altos” en ambas variables comparadas, por lo tanto, podría no identificar zonas con valores “altos”. A partir de este análisis se obtuvieron dos medidas de correlación espacial:

- 1) La I. de Morán que indica, de manera global, qué tan dispersos o cercanos se encuentran los polígonos con valores similares comparando dos variables; éste va de -1 a 1, donde -1 indica una correlación negativa, 1 correlación positiva y 0 que no existe correlación, y
- 2) El mapa de Clústers BiLisa, que es una medida de la agrupación local donde se indica si existe o no una asociación espacial entre dos variables en polígonos cercanos. Todos los valores reportados tienen una p menor a 0.5.

El mapa de correlación espacial mostrará principalmente dos colores. El color rojo hace referencia a los valores agrupados más altos en las dos variables.

Las siguientes figuras, en las cuales se encontraron asociaciones, se componen de: a) el mapa de la tasa (“variable X”), b) el indicador de contaminación (“variable Y”) y c) el resultado del análisis BiLisa (gráfico de Morán, mapa de significancia estadística y mapa de correlación). Las figuras se presentan en orden decreciente, empezando con la que obtuvo la mayor correlación.

1. Metales y arsénico y leucemias agudas

Correlación espacial entre el indicador de contaminación por metales y arsénico en el río y la mortalidad por leucemias agudas (I. de Moran= 0.222).

En la **Figura 42**, se muestra que la tasa de mortalidad por leucemias agudas (**Figura 42a**), para todos los grupos etarios y en ambos sexos, tuvo la correlación más alta comparada con el indicador de contaminación de 10 metales y arsénico construido a partir de los datos registrados por Renameca (42b), la cual fue de 0.222 (I. de Morán), indicativo de una asociación positiva entre los niveles de contaminación por metales y arsénico y la mortalidad por leucemias agudas en las regiones que conforman la CAA (**Figura 42c**). En este sentido, las zonas de color rojo intenso de la (**Figura 42c**) señalan valores altos en la tasa de mortalidad por leucemias agudas rodeadas por valores altos de contaminación por metales y arsénico.

Las regiones con los valores más altos de leucemias agudas, rodeadas de valores altos de contaminación por metales y arsénico son (sin orden jerárquico): el municipio

de Puebla, Ocoyucan, San Andrés Cholula + San Gregorio Atzompa, San Pedro Cholula, Juan C. Bonilla, Coronango, y Papalotla de Xicohténcatl + Tenancingo. Seis de ellos en el estado de Puebla (**Figura 42**).

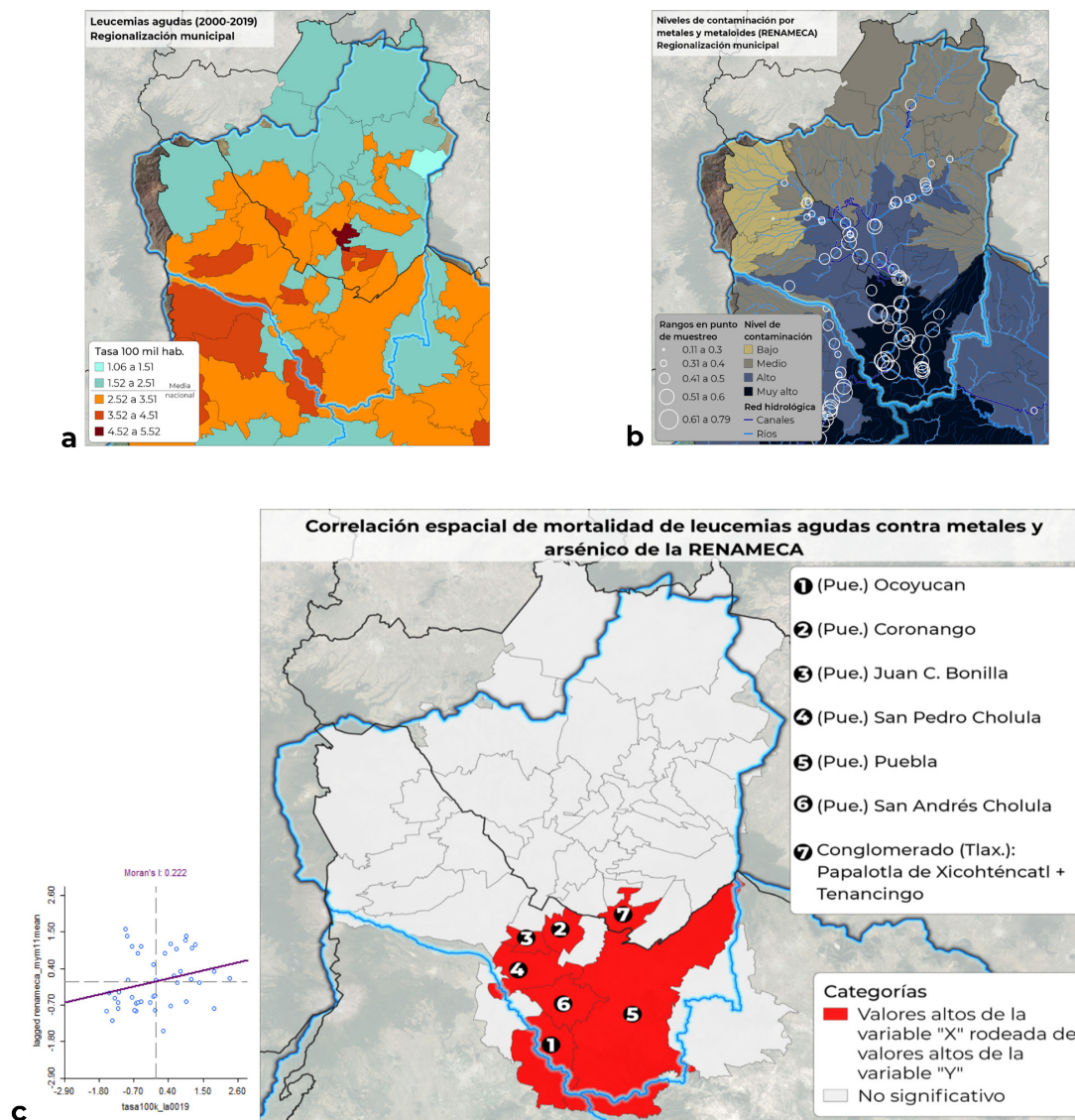


FIGURA 42.

Correlación espacial entre el indicador de contaminación por metales y arsénico medidos en el río (Renameca) y la mortalidad por leucemias agudas. a) tasas de mortalidad por leucemias agudas; b) el indicador de metales y arsénico sobre el río; c) I. de Morán de 0.222 y mapa de Clústers BiLisa.

2. Compuestos orgánico-sintéticos y enfermedad renal crónica en jóvenes de 15-49 años

Correlación espacial entre el indicador de contaminación por compuestos orgánico-sintéticos en el río y las tasas de mortalidad por ERC de 15 a 49 años en hombres (I. de Morán= 0.161)

La correlación espacial entre las tasas de mortalidad por ERC en hombres de 15 a 49 años (43a) y el indicador de contaminación por orgánicos sintéticos (43b) sobre el río (Renameca) resultó de 0.161, lo que indica la existencia de una asociación positiva entre la mortalidad por ERC y la contaminación del río por sustancias orgánico-sintéticas en jóvenes de entre 15 y 49 años (**Figura 43c**).

Las regiones con los valores más altos del indicador de contaminación por orgánicos sintéticos sobre el río y las tasas de mortalidad por ERC de 15 a 49 años en hombres son (sin orden jerárquico): San Francisco Tetlanohcan + Teolochocho, Acuamanala de Miguel Hidalgo + Mazatecochocho de José María Morelos, y Papalotla de Xicohténcatl + Tenancingo. Todas estas regiones localizadas en Tlaxcala, al oriente de la Cuenca (**Figura 43**).

3. Compuestos orgánico-sintéticos y leucemias agudas

Correlación espacial entre el indicador de contaminación por compuestos orgánico-sintéticos en el río y las tasas de mortalidad por leucemias agudas (I. de Morán= 0.111)

La correlación espacial entre las tasas de mortalidad por leucemias agudas en población total (**Figura 44a**) y el indicador de contaminación por orgánicos sintéticos (**Figura 44b**) en el río resultó de 0.111, lo que significa que existe una ligera asociación positiva entre la mortalidad por leucemias agudas y la contaminación en el río por compuestos orgánico-sintéticos (**Figura 44c**).

Las regiones con los valores más altos del indicador de contaminación por orgánicos sintéticos en el río y las tasas de mortalidad por leucemias agudas en población general es el conglomerado, localizado en Tlaxcala, de: Acuamanala de Miguel Hidalgo + Mazatecochocho de José María Morelos (**Figura 44**).

4. Posibles nefrotóxicos y enfermedad renal crónica en jóvenes de 15-49 años

Correlación espacial entre el indicador de emisiones contaminantes de posibles nefrotóxicos emitidos al agua + alcantarillado y las tasas de mortalidad por ERC de 15 a 49 años (I. de Morán= 0.105)

Finalmente, el indicador de emisiones contaminantes de posibles sustancias nefrotóxicas reportadas por el RETC (**Figura 45b**) tiene una correlación espacial positiva, de 0.105 con las tasas más altas de mortalidad por ERC en personas de 15 a 49 años (**Figura 45a**), lo cual sugiere una posible asociación entre las muertes por ERC y los contaminantes en la categoría de posibles nefrotóxicos emitidos al agua + alcantarillado en esta región (**Figura 45c**).

Las regiones con los valores más altos del indicador de emisiones contaminantes de posibles nefrotóxicos al emitidos al agua + alcantarillado y las tasas de mortalidad por ERC de 15 a 49 años son los conglomerados en el estado de Tlaxcala (sin orden jerárquico): Santa Catarina Ayometla + Santa Cruz Quilehtla, y Santa Isabel Xiloxotla + Tepeyanco.

La información presentada se refiere a las categorías superlativas, es decir, los municipios o conglomerados en la categoría más alta de contaminación y mortalidad.

En el **Anexo H, Sección 4**, se puede consultar la información completa de las listas de municipios que resultaron en la categoría alta o baja de contaminación para los datos de RETC y Renameca contra los municipios en donde se registraron las tasas de mortalidad alta o baja para ERC o leucemias.

La correlación espacial más alta en la CAA fue entre los niveles de contaminación por metales y arsénico y la mortalidad por leucemias agudas. El análisis con estos modelos confirma una zonificación del nivel más crítico de estas problemáticas dentro la CAA, al oriente para ERC, y al sur para las leucemias.

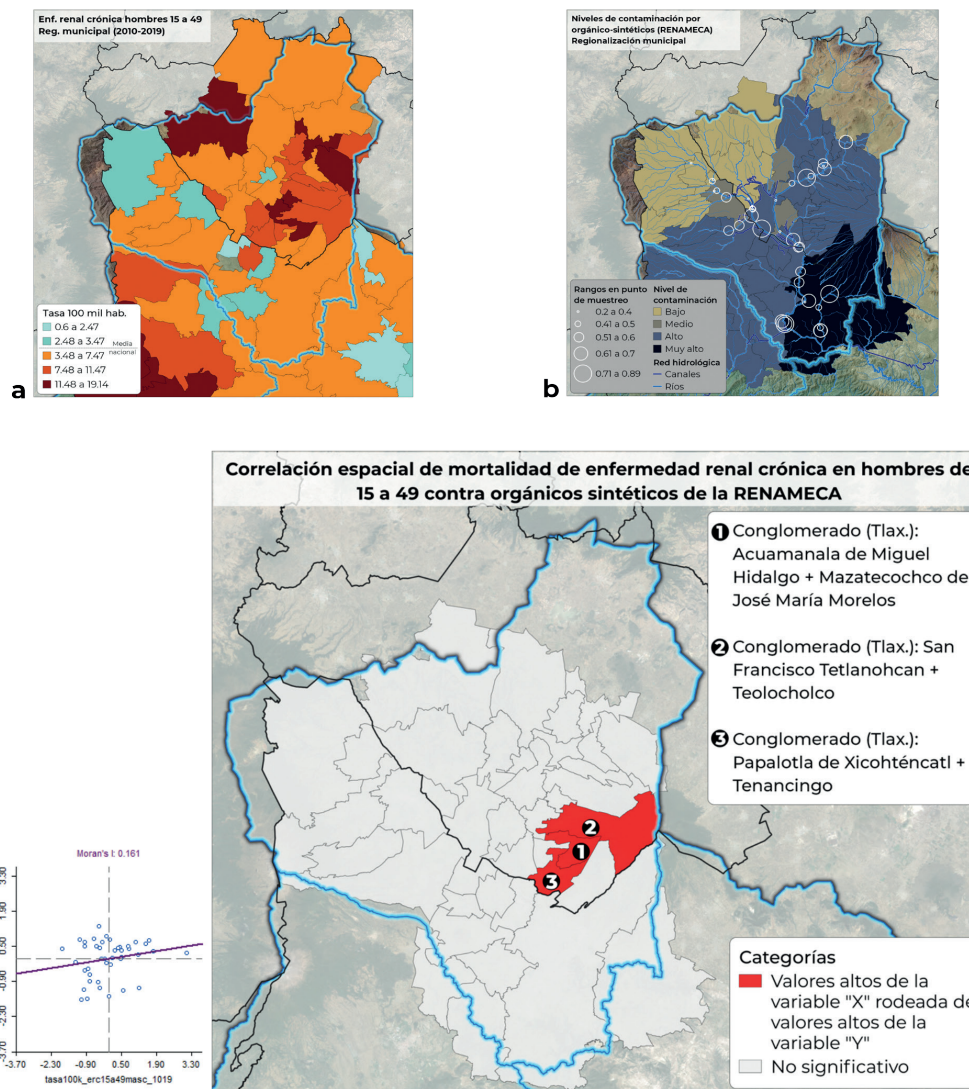


FIGURA 43.

Correlación espacial entre el indicador de contaminación por orgánicos sintéticos medidos el río (Renameca) y las tasas de mortalidad por ERC de 15 a 49 años en hombres: a) tasas de mortalidad por ERC en hombres de 15 a 49 años; b) el indicador de contaminantes orgánicos sintéticos sobre el río; c) I. de Morán de 0.161 y mapa de Clústers BiLISA.

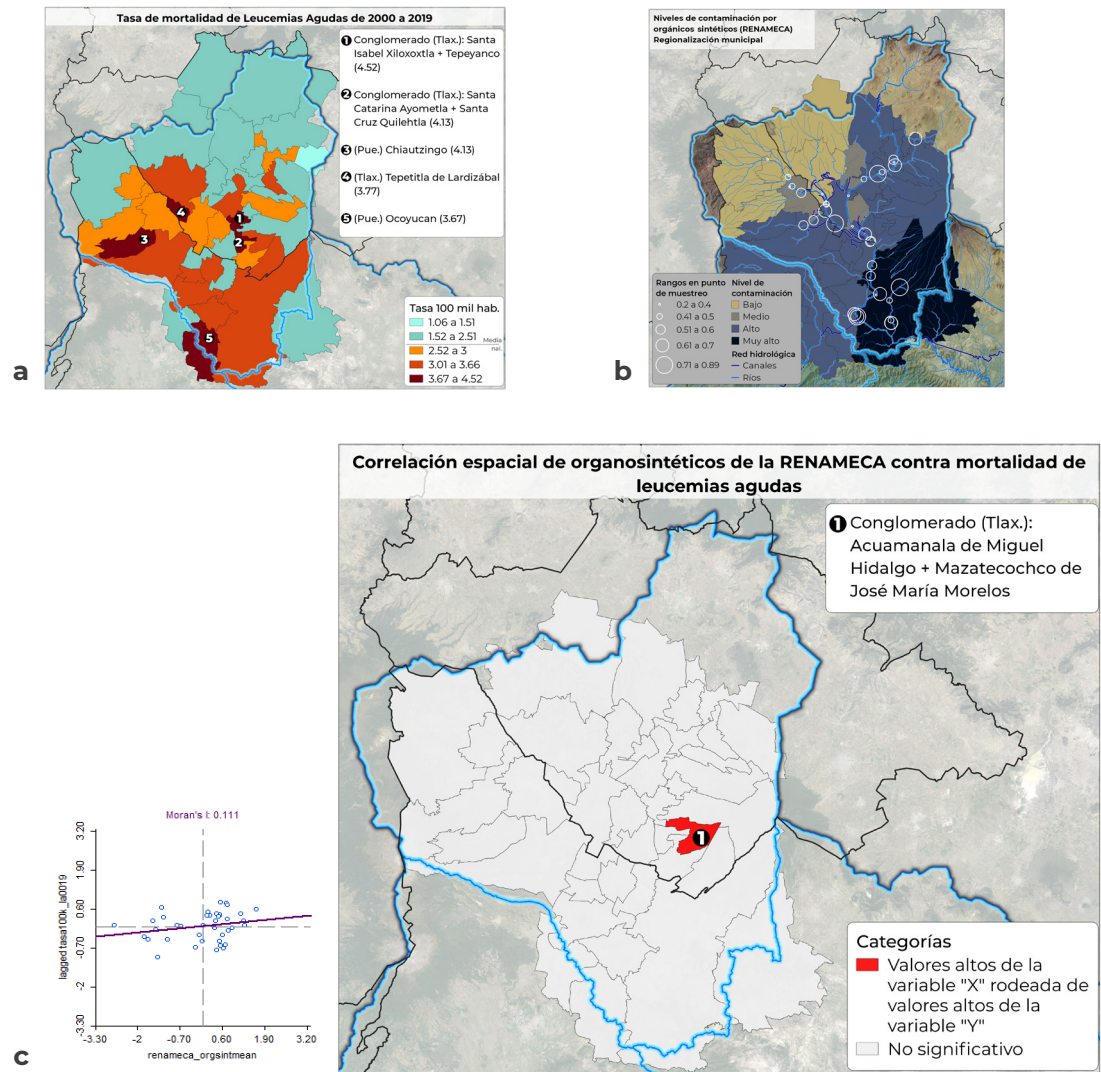
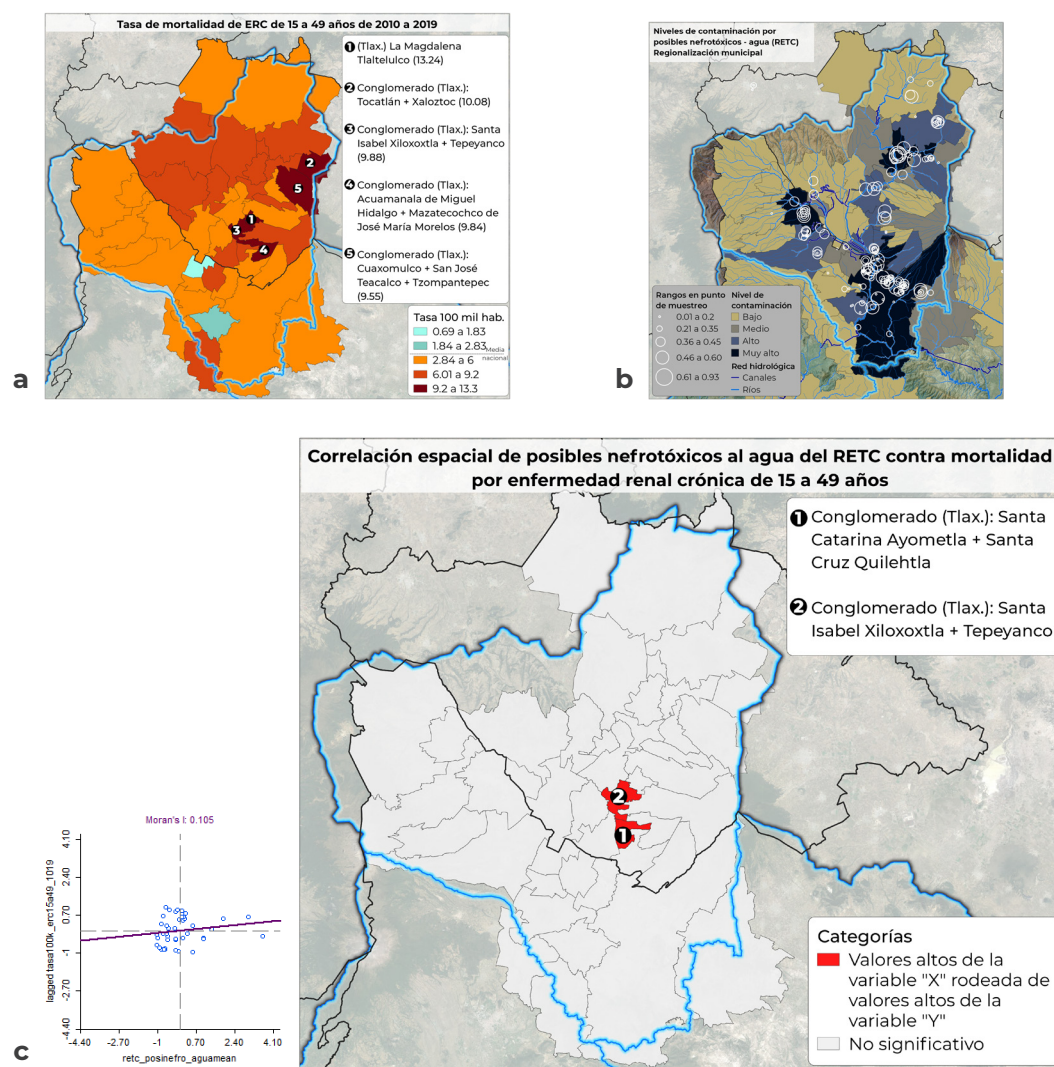


FIGURA 44.

Correlación espacial entre el indicador de contaminación por orgánicos sintéticos medidos en río (Renameca) y las tasas de mortalidad por leucemias agudas. a) tasas de mortalidad por leucemias agudas; b) el indicador de contaminantes orgánicos sintéticos sobre el río; c) I. de Morán de 0.111 y mapa de Clústers BiLISA.

**FIGURA 45.**

Correlación espacial entre el indicador de emisiones contaminantes de posibles nefrotóxicos al agua (RET) y las tasas de mortalidad por ERC de 15 a 49 años: a) tasas de mortalidad por ERC de 15 a 49 años; b) el indicador de emisiones contaminantes de posibles nefrotóxicos al agua; c) I. de Morán de 0.105 y mapa de Clústers BiLISA.

4.4 Sistema comunitario de vigilancia: indicadores tempranos de exposición y de efectos adversos en salud

Los efectos de la exposición crónica a contaminantes se pueden observar mediante biomonitoreo, un recurso para la vigilancia en materia de salud en sitios altamente contaminados, o en sitios donde se ha emprendido un plan de saneamiento. En el primer caso, sirve para identificar riesgos asociados a esta exposición como el desarrollo prematuro de enfermedades crónicas o el aumento en la susceptibilidad a enfermedades de tipo infeccioso. La identificación temprana de estos riesgos permite iniciar intervenciones preventivas, curativas o paliativas con el objetivo específico de ofrecer a las poblaciones afectadas mejoras en términos de salud y bienestar. En el segundo caso, en sitios donde se ha emprendido un saneamiento, el biomonitoreo es de utilidad para evaluar las intervenciones y guiar mejoras.

Desde la década pasada ha habido esfuerzos importantes en temas de biomonitoreo (de exposición o efectos) en la CAA. De estos estudios quedó demostrado un nivel de riesgo permanente relacionado con efectos genotóxicos en habitantes de la zona ribereña del río Atoyac (López et al., 2018; Montero et al., 2006; Montero et al., 2020). Con el objetivo de dar seguimiento a estas observaciones, el Pronaii de Sistema Comunitario de Vigilancia inició un biomonitoreo en comunidades de cinco zonas de la CAA para determinar si las diferencias en las actividades económicas y ambientales crean condiciones diferentes de riesgos y efectos en salud. Las zonas del biomonitoreo fueron elegidas con la colaboración del Centro Fray Julián Garcés, Derechos Humanos y Desarrollo Local A. C. Las características de las zonas que se valoraron fueron las siguientes: formar parte geográficamente de la Cuenca Atoyac-Zahuapan, contar con un grupo de apoyo comunitario relacionado con el Centro Fray Julián Garcés a partir de trabajos previos, contar con Escuelas Secundarias con una población suficiente para realizar los estudios y ser regiones de interés basadas en los datos de salud del Pronaii de Ciencia de datos en la CAA. Las zonas que se tienen contempladas para el biomonitoreo, siguiendo las características mencionadas para su selección, son las siguientes:

- Españita, Tlaxcala: zona región agroecológica.
- Apizaco, Tlaxcala: zona industrial urbana.
- Santa Ana Nopalucan: zona industrial semiurbana.
- Santa Rita Tlahuapan, Puebla: zona boscosa con actividad silvícola.
- Atlangatepec, Tlaxcala: zona de agricultura con uso de plaguicidas.

El proyecto está en curso y a continuación se muestran los resultados hasta el momento en tres zonas de estudio.

4.4.1 Biomonitorio: Española, Apizaco y Santa Ana Nopalucan

Este biomonitorio se basa en un estudio epidemiológico transversal observacional descriptivo. Se ha determinado recabar 80 muestras biológicas de personas de entre 12 a 15 años en cada zona, con un muestreo aleatorio estratificado. Previo a la toma de muestras, para eliminar cofactores y para recabar información relevante sobre exposiciones, se realizaron entrevistas a los padres de familia de las personas participantes, en las cuáles se descartaron del estudio a todos aquellos que contaran con un diagnóstico de enfermedad.

De estas tres zonas 159 personas participaron en el estudio de biomonitorio: 69 de Española, 36 de Apizaco y 54 de Nopalucan. La toma de muestras se realizó entre el 16 de noviembre del 2022 y el 31 de mayo del 2023, iniciando en Española y culminado en Nopalucan. La metodología analítica de las cuantificaciones de metales, plaguicidas organoclorados y bifenilos policlorados en muestras humanas se detalla en el **Anexo I**.

En la **Tabla 11** se conjuntan las características sociodemográficas generales registradas de los participantes que tuvieron un rango de edad de 12-15 años, y las frecuencias de sexo femenino fueron 45%, 58% y 59% para Española, Apizaco y Napolucan, respectivamente.

TABLA 11.

Variables sociodemográficas del biomonitorio en población juvenil en Española, Apizaco y Santa Ana Nopalucan

VARIABLES	COMUNIDAD	MEDIA	MIN	MAX	SD
Edad	Españita	12.52	12	13	0.633
	Apizaco	13.06	12	15	0.924
	Santa Ana N	13.33	12	15	1.009
Peso	Españita	49.87	30.6	74.1	10.43
	Apizaco	55.17	31.9	79.8	11.61
	Santa Ana N	52.98	34.9	116.8	13.54
Talla	Españita	1.56	1.43	1.73	0.719
	Apizaco	1.60	1.39	1.73	0.074
	Santa Ana N	1.58	1.42	1.75	0.076
Índice de masa corporal	Españita	20.38	13.60	30.05	3.657
	Apizaco	21.47	13.85	28.33	4.077
	Santa Ana N	38.14	16.02	38.14	4.317

A) Niveles de exposición a plomo, arsénico, cromo y cadmio en Españita y Apizaco

En la **Tabla 12** se presentan los niveles de exposición a cromo, arsénico, cadmio y plomo cuantificados en muestras de sangre de la población participante en las zonas evaluadas de Españita y Apizaco. En términos generales, Españita tiene niveles más elevados de estos elementos tóxicos que Apizaco.

En Españita, más del 50% de los jóvenes tuvieron valores por encima de los valores recomendados por la OMS para plomo ($5 \mu\text{g}/\text{dl}=50 \mu\text{g}/\text{l}$). El 50% de los participantes en Españita y el 10% en Apizaco tienen niveles de exposición a cromo que sobrepasan los recomendados ($5 \mu\text{g}/\text{l}$). En ambas zonas más del 50% de las personas participantes tuvieron niveles elevados de cadmio ($>0.28 \mu\text{g}/\text{l}$) y solo el 5% tuvieron niveles superiores a $12 \mu\text{g}/\text{l}$ de arsénico, nivel máximo recomendado por la OMS.

TABLA 12.

Niveles de exposición a metales y arsénico en las zonas de estudio en Españita y Apizaco

EXPOSICIÓN A METALES Y ARSÉNICO								
	Españita Metales en sangre ($\mu\text{g}/\text{l}$)				Apizaco Metales en sangre - ($\mu\text{g}/\text{l}$)			
	Cr	As	Cd	Pb	Cr	As	Cd	Pb
mediana	5.8	3.0	0.4	46.0	2.1	2.6	0.5	28.7
1er cuartil	3.2	1.8	0.3	30.0	0.8	1.7	0.2	17.8
3er cuartil	10.2	5.5	0.6	65.3	3.4	6.2	1.1	50.4
Mínimo	0.2	0.1	0.1	13.3	0.3	0.9	0.0	3.6
Máximo	63.1	56.2	2.5	261.1	10.8	28.1	8.2	186.7

B) Niveles de exposición a bifenilos policlorados (PCB) tipo dioxina y plaguicidas organoclorados en Españita y Apizaco

La exposición a PCB105 se encontró en 99% de los jóvenes estudiados, y el PCB189, en 50% en Españita, mientras en Apizaco la exposición principal fue a otros congéneres. El perfil de exposición a ellos es distinto en cada municipio, pero la mayor variación se presenta en Apizaco. La presencia en ambiente y cualquier nivel de exposición representan un riesgo a la salud, debido a que son sustancias confirmadas como cancerígenos y disruptores hormonales. Esta clase de tóxicos pueden causar alteraciones en dosis muy bajas, actuando en el organismo como hormonas reguladoras de crecimiento y la maduración sexual. Además, existen evidencias de que estos compuestos también causan daño renal (Djordjevic et al., 2023).

La **Tabla 13** muestra la distribución de estos niveles de exposición en ambas zonas de estudio, y en general puede comentarse que, si bien en ambas zonas existe la presencia de estos agentes tóxicos en la población, esta es mayor en Apizaco. (**Figura 46**)

En el caso de la exposición a plaguicidas organoclorados, también es importante señalar que la sola detección (presencia) de estos compuestos es un signo de alarma y un riesgo confirmado de efectos adversos en salud. En ambas zonas estudiadas la población tuvo niveles detectables de plaguicidas organoclorados en una proporción similar **Tabla 14**.

TABLA 13.
Niveles de exposición a Bifenilos Policlorados (PCB) tipo dioxina, clasificados como cancerígenos por la IARC

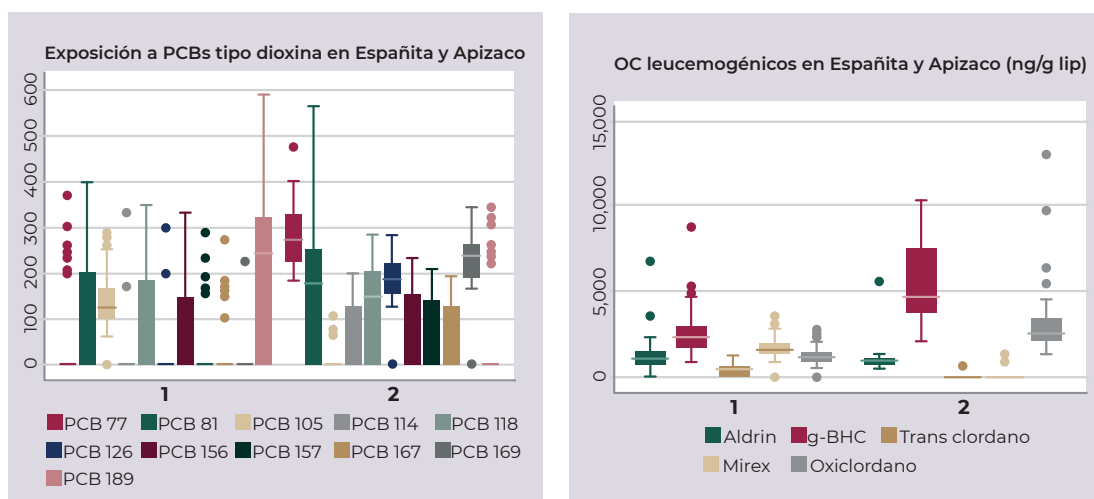
PCBs EN ESPAÑITA (ng/g LIP EN PLASMA)											
	PCB 77	PCB 81	PCB 105	PCB 114	PCB 118	PCB 126	PCB 156	PCB 157	PCB 167	PCB 169	PCB 189
med.	0.0	0.0	122.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	243.7
1 ^{er} cuartil	0.0	0.0	100.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3 ^{er} cuartil	0.0	201.0	163.8	0.0	181.3	0.0	143.7	0.0	0.0	0.0	319.5
mín.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
máx.	366.7	396.0	282.0	330.0	347.5	296.6	331.3	286.9	270.7	223.1	589.7
PCBs EN APIZACO (ng/g LIP EN PLASMA)											
med.	272.7	227.7	103.1	144.1	197.0	187.7	170.3	154.8	138.8	235.6	249.6
1 ^{er}	229.2	185.7	66.9	112.8	160.5	157.0	153.7	136.9	126.5	191.2	228.6
3 ^{er}	325.7	260.1	104.2	171.5	228.6	219.0	221.5	193.6	182.1	263.3	317.1
mín.	180.0	169.1	63.0	102.8	133.8	125.8	150.7	134.1	103.5	164.1	226.1
máx.	475.7	562.7	104.8	197.7	281.5	281.5	233.4	206.8	192.1	344.7	339.8

Nota: los niveles 0.0 representan los valores menores al límite de cuantificación.

TABLA 14.
Niveles de exposición a plaguicidas organoclorados en plasma

	ESPAÑITA					APIZACO				
	Aldrin	g-HCH	Trans clorda-no	Mirex	Oxi-clorda-no	Aldrin	g-HCH	Trans clorda-no	Mirex	Oxi-clorda-no
med.	1034.7	2261.9	423.9	1565.9	1127.6	794.4	4647.0	660.9	1231.2	2485.4
1 ^{er} cuartil	722.9	1692.7	0.0	1324.4	890.0	663.5	3733.7	560.9	909.2	2059.6
3 ^{er} cuartil	1459.5	2900.1	569.7	1940.3	1405.2	1034.3	7358.8	691.8	1250.4	3349.5
mín.	0.0	833.7	0.0	0.0	0.0	435.1	2049.7	535.4	909.2	1289.8
máx.	6677.6	8800.0	1169.3	3555.5	2648.6	5582.3	10352.8	694.3	1250.4	13029.4

Nota: los niveles 0.0 representan los valores menores al límite de cuantificación.

**FIGURA 46.**

Niveles de PCBs y plaguicidas en plasma de los participantes en España y Apizaco (ng/g lip).

Las personas participantes de las zonas estudiadas en España y Apizaco, están expuestos a metales pesados, como cromo y cadmio (conocidos nefrotóxicos), en especial en España. También existe exposición a plaguicidas y PCBs, carcinógenos y disruptores endócrinos confirmados.

C) Evaluaciones de parámetros clínicos para evaluar el estado general de salud de la población participante

Se realizaron pruebas clínicas tradicionales para valorar el estado general de salud las personas participantes y poder evaluar de manera indirecta las alteraciones inducidas por la exposición a inmunosupresores, tóxicos renales y disruptores hormonales. Las alteraciones en estos parámetros se observaron en la población desde edades tempranas, y este tipo de alteraciones pueden tener una evolución negativa si no son atendidas oportunamente. En la **Tabla 15** se muestra una versión sintetizada de todos los marcadores clínicos evaluados en ambas zonas (**Anexo I, Tablas 1-4**). En general, se observaron mayores alteraciones en las personas participantes residentes de la zona de Apizaco.

TABLA 15.
Frecuencia de adolescentes con alteraciones en los parámetros clínicos estudiados en dos campañas dentro de la Cuenca

ALTERACIONES	ESPAÑITA	APIZACO
Vías urinarias	17%	29%
Hormonales	11%	30%
Hematológicas	7%	8%
Sobrepeso	13%	36%

Los signos subclínicos encontrados en las personas participantes de las zonas estudiadas en Españita y Apizaco, muestran la necesidad de emprender una campaña de vigilancia epidemiológica sistematizada y coordinada desde el sistema de salud para dar seguimiento a la salud de estas personas y sus comunidades, con el fin de prevenir la evolución a enfermedades crónicas incapacitantes y muertes evitables.

4.5 Salud laboral

La alfarería en Mesoamérica es milenaria, se utiliza como ornato, para actos religiosos y en la preparación de alimentos. Su producción fue abruptamente modificada durante la colonia al introducir el vidriado con óxidos de plomo (greta) y la cerámica talavera, la cual también contiene este metal en su esmaltado. Tlaxcala es uno de los 20 estados de la república mexicana donde se siguen produciendo estas cerámicas predominantemente vidriadas con plomo. Las condiciones de trabajo de las personas alfareras las pone en riesgo, tanto a ellas como a sus familias, a los efectos adversos en salud producidos por la exposición a plomo.

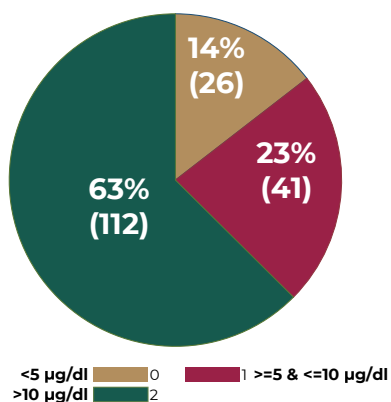
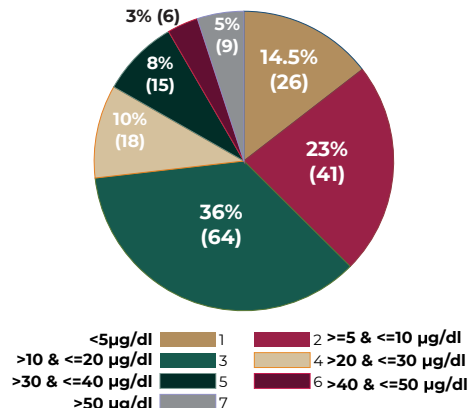
En Tlaxcala, las personas alfareras en su mayoría no cuentan con seguridad social, además de vivir en comunidades afectadas por otras fuentes de contaminación ambiental como la contaminación industrial. El Pronaii “Los riesgos ocupacionales y ambientales para la ERC y los biomarcadores de su diagnóstico precoz para una mejor prevención y atención en los artesanos adultos en riesgo”, se ha encargado de monitorear, además de la concentración de metales en poblaciones laboralmente expuestas al plomo, la prevalencia de otros factores de riesgo, principalmente para riesgo cardiovascular (RCV) y ERC.

En el 2023 se realizó un muestreo con la participación de 184 alfareros de comunidades en los municipios de Españita, San Salvador Tzompantepec, San Pablo del Monte y la Trinidad Tenexyecac (**Anexo**

J). El promedio de edad de los participantes (55% mujeres) fue de 42.6 años. El 67% reportó un consumo frecuente de alcohol. El 70% de la población tuvo un nivel de escolaridad de secundaria o menor. La edad promedio de práctica de este tipo de alfarería fue de 18.4 años y el 90% utiliza este tipo de utensilios para cocinar y servir sus alimentos.

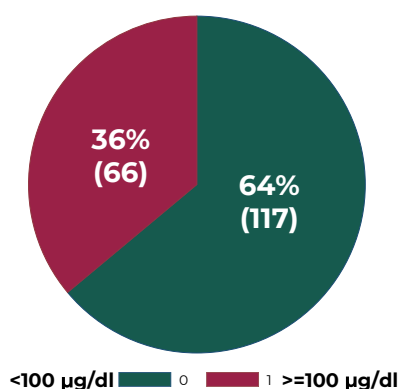
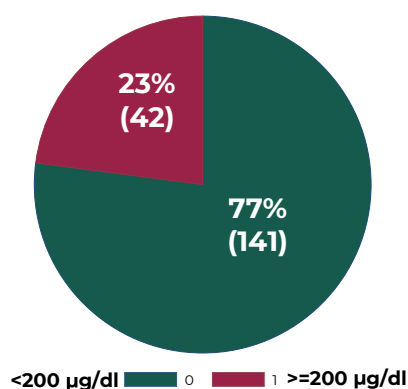
El plomo es un conocido tóxico renal y cardiovascular, causante de múltiples daños a la salud de quienes se ven expuestos. De acuerdo con la NOM-199-SSA1-2000, no se ha establecido una concentración segura de plomo en el organismo, ni siquiera a concentraciones iguales o menores a 5 µg/dl de plomo en sangre (PbS). Siendo mayores las establecidas para personas expuestas a este metal en el trabajo (NOM-047-SSA1-2011), donde los valores reportados son del doble en las mujeres (10 µg/dl de PbS) y de hasta seis veces más en los hombres (30 µg/dl de PbS).

Los resultados obtenidos a partir del estudio realizado con la muestra de personas alfareras mostraron que existen concentraciones iguales o mayores a 5 µg/dl de PbS en el 86% de las y los participantes; es decir sólo el 14% estuvo por debajo de la NOM-199-SSA1-2000 (**Figura 47a**); además, es importante destacar que un 16% presentó concentraciones mayores a 30 µg/dl (**Figura 47b**). El 36% de los participantes presentaron concentraciones mayores a 10 y menores a 20 µg/dl de plomo en sangre.

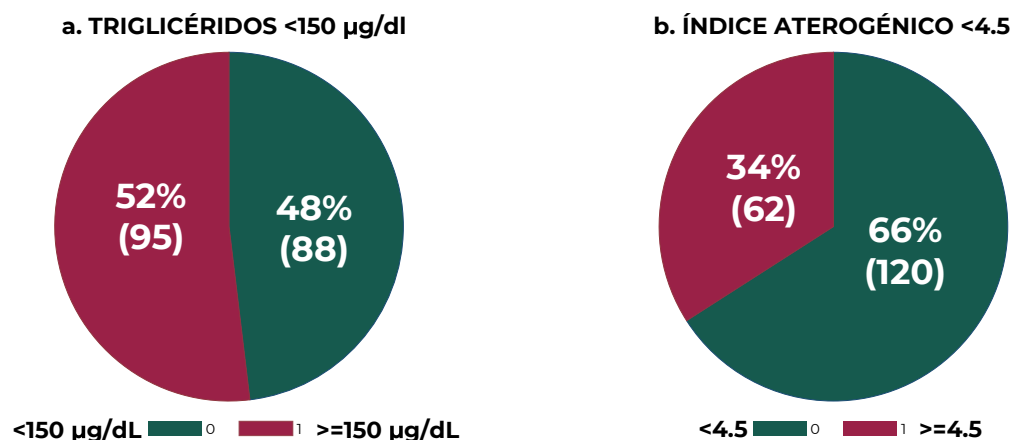
a. PLOMO EN SANGRE EN TRES CATEGORÍAS (µg/dl)**b. PLOMO EN SANGRE EN SIETE CATEGORÍAS (µg/dl)****FIGURA 47.**

Niveles de plomo en sangre en personas alfareras en los municipios de Españita, San Salvador Tzompantepec, San Pablo del Monte y la Trinidad Tenexyecac.

Entre los efectos negativos posiblemente causados por la exposición a plomo, se observaron prevalencias altas de marcadores asociados con enfermedades crónicas. Por ejemplo, se observó una concentración de glucosa mayor a 100 µg/dl en el 36% de los participantes (**Figura 48a**). Para contextualizar esta cifra, la prevalencia de la diabetes mellitus a nivel nacional es de 10.2 (Ensanut, 2021) siendo esta de 9.3 en el estado de Tlaxcala (Ensanut, 2018). Asimismo, en el 23% de los participantes se observó una concentración de colesterol mayor a 200 µg/dl (**Figura 48b**) mientras que en el 52% de ellos, se observó una concentración de triglicéridos mayor a 150 µg/dl (**Figura 49a**), la prevalencia a nivel nacional de ambos marcadores es de 19.5% (ENSANUT, 2018). El índice aterogénico, como indicador de riesgo cardiovascular presentó una concentración mayor a 4.5 µg/dl en el 34% de los participantes (**Figura 49b**).

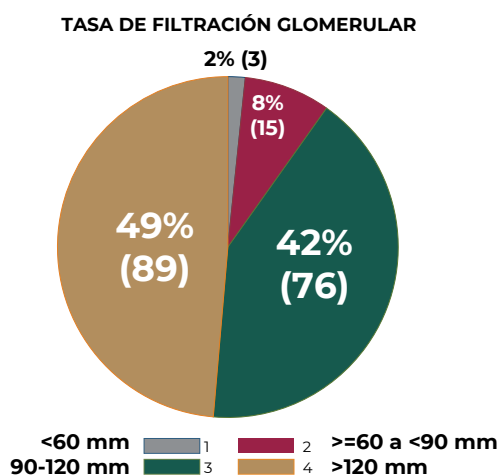
a. GLUCOSA EN SANGRE <100 µg/dl**b. COLESTEROL TOTAL <200 µg/dl****FIGURA 48.**

Hiperglicemia e hipercolesterolemia en personas alfareras en los municipios de Españita, San Salvador Tzompantepec, San Pablo del Monte y la Trinidad Tenexyecac.

**FIGURA 49.**

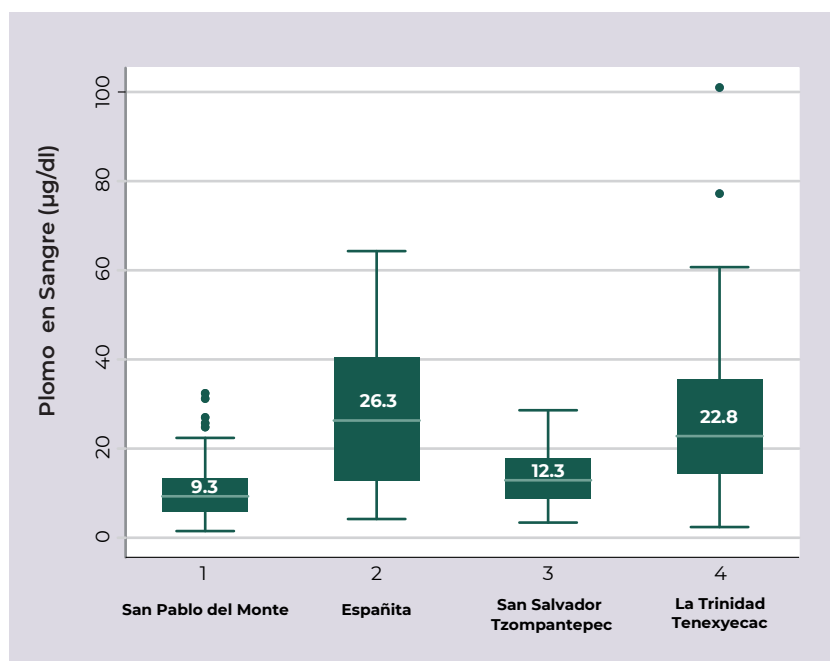
Hipertrigliceridemia e índice aterogénico en personas alfareras en los municipios de Españaíta, San Salvador Tzompantepec, San Pablo del Monte y la Trinidad Tenexyecac.

Con respecto a la tasa de filtración glomerular, el 49% de los participantes presentaron hiperfiltración (proceso que denota un riesgo de desarrollo de ERC con niveles mayores a 120 ml/min/m² (Figura 50).

**FIGURA 50.**

Tasa de filtración glomerular en personas alfareras en los municipios de Españaíta, San Salvador Tzompantepec, San Pablo del Monte y la Trinidad Tenexyecac.

Los participantes de las cuatro comunidades presentaron concentraciones elevadas de PbS (Figura 51), lo que podría estar asociado con un mayor riesgo de desarrollar ERC o alguna ECV.

**FIGURA 51.**

Niveles de plomo en sangre en personas alfareras en los municipios de Españita, San Salvador Tzompantepec, San Pablo del Monte y la Trinidad Tenexyecac.

El 86% de las personas alfareras presentan niveles de PbS ≥ 5 µg/dl; mientras que el 49% tienen hiperfiltración >120 ml/min/m². Es decir, existen altas frecuencias de exposición a plomo en personas alfareras de las localidades participantes, a la par se presentan rasgos clínicos que podrían representar un riesgo elevado para el desarrollo de enfermedades crónicas como la ERC.

5. ACCIONES
PARA LA DEFENSA
Y PROMOCIÓN
DE LA SALUD
CON Y PARA
LAS COMUNIDADES
EN LA CUENCA
DEL ALTO ATOYAC



5. ACCIONES PARA LA DEFENSA Y PROMOCIÓN DE LA SALUD CON Y PARA LAS COMUNIDADES EN LA CUENCA DEL ALTO ATOYAC

5.1 Registro estatal de enfermos renales

Los registros de enfermedades renales son esenciales para guiar la planeación y evaluación de los sistemas de salud, vigilar su desempeño y, por ende, mejorar su calidad. Desde el punto de vista de salud pública el registro sirve para cuantificar la carga de la enfermedad, y con ello guiar estrategias de prevención, intervención o planeación de la infraestructura en salud.

En el mundo existen 61 registros nacionales activos (Ng et al., 2022), sin embargo, en México no contamos con uno. Existen iniciativas regionales y estatales muy heterogéneas. Una a resaltar por ser una de las más integradas es la que se ha implementado en Aguascalientes desde el 2018. Se trata del primer registro público de enfermedad renal en México, bajo la dirección de la Secretaría de Salud del Estado y con la participación del Instituto Mexicano del Seguro Social y del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado, así como de Instituciones privadas.

Es necesario contar con un registro de este tipo en los estados de Tlaxcala y Puebla, donde a lo largo de este documento hemos señalado que se vive una situación inusual con altas incidencias de esta enfermedad. Con esto se apoyaría a la planeación y optimización del uso de los recursos; la implementación de medidas de control de la calidad y la definición de políticas de salud.

En el Pronaii de Salud Renal, el Conahcyt impulsa una iniciativa para consolidar las bases para un registro estatal de enfermedad renal en Tlaxcala que considere la totalidad de los actores que deben involucrarse, los esfuerzos locales y las experiencias nacionales al respecto.

Hasta ahora se ha logrado el desarrollo de una plataforma digital que, de momento, sirve como censo de los casos que se registran, denominada Sistema Estatal de Registro y Vigilancia Integral en Salud Renal (SERVIR) <https://saludrenal.cinvestav.mx/index.php/servir/> (Figura 52). Actualmente se trabaja en la articulación de voluntades de los distintos servicios de salud en el estado para lograr la integración de un registro interinstitucional, uno de los mayores retos para constituir cualquier registro de enfermedad.

Para su correcta operación se requiere:

- a) Convocatoria de autoridad sanitaria a participar de manera sincronizada en el registro.
- b) Obligatoriedad de reporte por las instituciones públicas y privadas.



FIGURA 52.

Plataforma Sistema Estatal de Registro y Vigilancia Integral en Salud Renal (SERVIR). <https://saludrenal.cinvestav.mx/index.php/servir>

5.2 Registro de casos incidentes de leucemia infantil en la región de la Cuenca del Alto Atoyac y la zona de influencia

Los registros de cáncer de base poblacional (RCBP), también llamados centrales, son reconocidos como la base para la prevención y control del cáncer. A través de un RCBP se recolectan y clasifican de forma sistemática los datos de pacientes que debutan con cáncer en una población definida con el objetivo de generar información que ayude a conocer mejor a este grupo de enfermedades. Inicialmente, los registros poblacionales solo permitían a los médicos conocer la historia natural y medidas de frecuencia del cáncer (incidencia, tendencias y sobrevivencia); pero con el paso del tiempo se convirtieron en una herramienta poderosa para la investigación de posibles causas, así como para la evaluación de programas de prevención, tamizaje y tratamiento.

El Conahcyt conociendo de la importancia de los RCBP para el estudio y control de las enfermedades oncológicas, en el año 2020, en el marco del Pronaii Leucemia Infantil, financió el arranque y establecimiento del primer registro de estas características en zonas marginadas de los estados de Puebla, Tlaxcala y Oaxaca.

Desde el 1 de enero de 2021, se lleva a el activo prospectivo de los casos nuevos de leucemia aguda que se presentan en menores de 20 años. Para ello, se conformó una red interinstitucional de 20 hospitales públicos (IMSS, ISSSTE, Secretaría de Salud y servicios de salud estatales) y tres hospitales privados que atienden a niños, niñas y adolescentes que viven con leucemia en estos estados. El tamaño de la población de referencia del Pronaii Leucemia es de poco más de 4,440,000 niños, niñas y adolescentes. Adicionalmente, los equipos de salud de estos hospitales participantes reportan de manera pasiva los casos nuevos de leucemia diagnosticados en sus servicios, sirviendo como fuente secundaria para validar el registro prospectivo implementado por Conahcyt.

El personal a cargo del registro es capacitado y sensibilizado con fines del registro. En aquellos casos que son confirmados con leucemia aguda a través del aspirado de médula ósea, se registran datos de la enfermedad como la fecha en que su hijo(a) inició con signos y síntomas, datos sobre la vivienda, entre otros datos los cuales son obtenidos a través de una entrevista cara a cara a los padres o tutores del paciente y a través de la revisión del expediente clínico previa firma de las cartas de consentimiento informado y asentimiento según corresponda. Además, a cada paciente se le realiza un seguimiento clínico durante las diferentes fases del tratamiento para evaluar su apego al tratamiento médico, la presencia o no de eventos de toxicidad por la quimioterapia, frecuencia de recaídas, muertes, entre otras variables.

Conahcyt implementó el primer registro interinstitucional de leucemia infantil en áreas marginadas de México, lo cual, ha permitido investigar las causas ambientales de la enfermedad con la finalidad de prevenir su desarrollo.

5.3 Herramientas para la promoción de la salud y capacitación del personal de salud: enfermedad renal crónica

El desarrollo de las herramientas para la promoción y capacitación del personal de salud considera la entrega de servicios de promoción y productos de difusión de la salud a la población y a los profesionales de la salud como una prioridad inscrita en el Programa Sectorial de Salud, 2020-2024. El Conahcyt, a través del Pronaii de Salud Renal, apoya el desarrollo de herramientas específicas que se crearon con los hallazgos del grupo de trabajo en la CAA y promueven la concientización, el entrenamiento y la capacitación como elementos clave para fortalecer la atención primaria de la salud (Lazcano-Ponce y Alpuche, 2020). Para lo que se desarrollaron contenidos en la plataforma “Salud Renal. Aprende y cuida de ti mismo” (<https://saludrenal.cinvestav.mx/>) confiables, accesibles e integradores del saber comunitario (**Figura 53**).

Los profesionales de la salud, a su vez son sensibles a la problemática del cambio epidemiológico y los fenómenos sindémicos actuales; desarrollan competencias en la atención efectiva para prevenir, cuidar y controlar las Enfermedades Crónicas No Transmisibles (ECNT), además de favorecer la detección temprana de las complicaciones de estas mismas y otras patologías concomitantes (Lopes, 2020).

Algunas de las herramientas desarrolladas en la Plataforma “Salud Renal. Aprende y cuida de ti mismo” son:

- a) Una plataforma de libre acceso para el almacenaje de los contenidos informativos, recursos multimedia, didácticos y la gestión de la matrícula.
- b) El desarrollo de 6 cursos CLiMA para la capacitación.
- c) Cápsulas -Reels: videos cortos para difundir mensajes concretos que inviten a continuar conociendo sobre el tema y cursar algún CLiMA.
- d) Infografías e instrumentos lúdicos: para aprender jugando con crucigramas, sopas de letras, etc.

La plataforma es un Sistema de Gestión de Aprendizaje (LMS) robusto y versátil, diseñado específicamente para la formación en ECNT. Esta plataforma permite la integración de Cursos en Línea Masivos y Abiertos (CLiMA), facilitando la creación y gestión de contenido educativo interactivo y multimedia. La flexibilidad de la formación en línea permite a los usuarios aprender a su propio ritmo y en su propio horario, superando las barreras geográficas. Su potencial radica en su capacidad para proporcionar formación accesible y de alta calidad a los profesionales de la salud.

**FIGURA 53.**

Portada de la página web de Salud Renal (<https://saludrenal.cinvestav.mx/>).

El desarrollo de los cursos se ha realizado desde una visión clínica y bajo la perspectiva comunitaria y con la coordinación de un grupo de expertos en temas específicos y un equipo de profesionales en materia de tecnología educativa que se encarga del diseño, con base en lo siguiente: Educación basada en competencias, Integra el saber (contenido teórico), el saber-hacer y el saber-ser (desarrollo de actitudes); Andragogía, donde se concibe al aprendiz como adulto consciente que asume el compromiso de su propio aprendizaje; y desde el enfoque del Constructivismo, con un diseño de interfaz a través de un proceso de aprendizaje secuencial.

Los cursos CLiMA son de 10 horas cada uno y tienen los siguientes contenidos:

- 1) Prevención y atención oportuna de la ERC, dirigido a profesionales de la salud;
- 2) Conoce tus riñones, diseñado para el público en general;
- 3) Cuidado de los riñones. Prevención de la ERC para personas funcionarias;
- 4) Alimentación infantil, dirigido a madres, padres y cuidadores;
- 5) Alimentación, Nutrición y Dieta, diseñado para el público en general, y
- 6) Nutrición para personas con ERC, desarrollado para pacientes de la enfermedad renal, familiares y cuidadores. Actualmente, se desarrollan tres nuevos cursos que tienen como temática central el cuidado del ambiente.

5.4 Sistematización de la ruta de atención: Pronaii Leucemia Infantil

Una de las estrategias pilares del Pronaii Leucemia Infantil es el funcionamiento óptimo de “La ruta de atención”. A través de un algoritmo sistematizado, desde la llegada del paciente al hospital hasta la emisión del reporte estandarizado al médico tratante, su objetivo es asegurar la oportunidad diagnóstica y el seguimiento preciso, integral e ininterrumpido para cada niña, niño y adolescente con sospecha de leucemia infantil.

El riguroso apego y conducción de esta ruta ha permitido, por primera vez incidir en regiones vulnerables de México con alto riesgo de desarrollar leucemias agudas infantiles. A través de esta se da apoyo a pacientes y médicos tratantes con estudios de inmunofenotipo y detección de enfermedad mínima/medible residual (EMR), los cuales son fundamentales para el diagnóstico y seguimiento preciso de la quimioterapia, lo que reduce complicaciones relacionadas con la toxicidad. La colaboración con Epidemiología investiga factores de riesgo modificables para la prevención primaria. La red colaborativa de 50 especialistas cerciora un abordaje efectivo y centrado en la atención del paciente, con la consigna de no dejar a nadie atrás, no dejar a nadie fuera.

Como se muestra en la (Figura 54), la ruta se compone de múltiples etapas, las cuales están cuidadosamente sistematizadas.

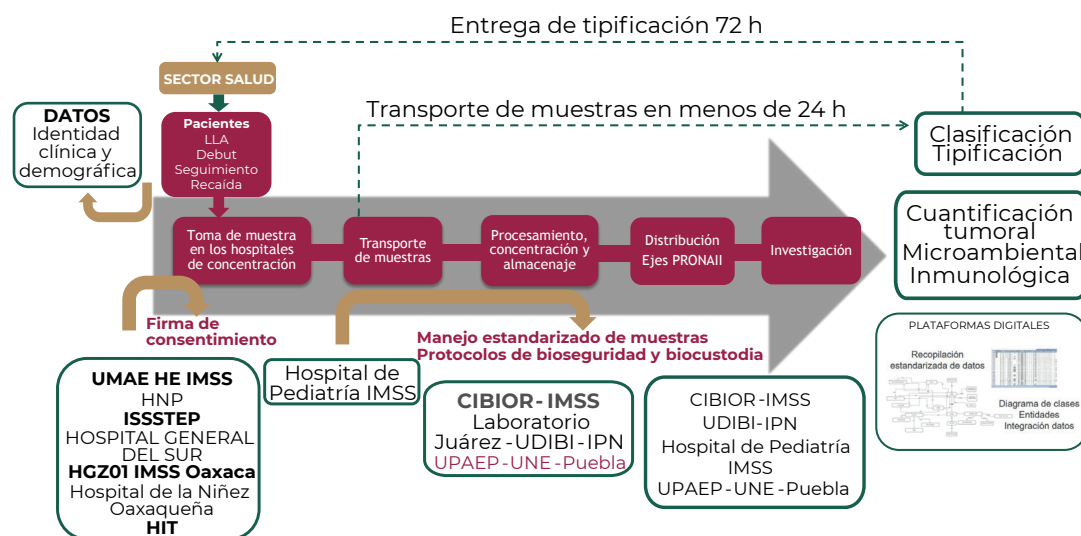


FIGURA 54.

Ruta de atención del Pronaii de Leucemia Infantil. El proceso se divide en siete etapas esenciales para asegurar el manejo exhaustivo de cada muestra de pacientes con leucemia, así como para la concentración, gestión y análisis de la información generada.

En cada hospital, se solicita al tutor del paciente los datos de identidad clínica y demográfica, previa firma de consentimiento informado, autorizando el uso exclusivo de las muestras y datos para fines de investigación. La muestra de médula ósea se transporta al Laboratorio de Citómica del Cáncer Infantil en menos de 24 horas para garantizar la

calidad del resultado, y la tipificación se realiza en un plazo máximo de 72 horas desde la llegada de la muestra, proporcionando una oportunidad y calidad diagnóstica óptimas para decidir el tratamiento adecuado. El remanente de la muestra de médula ósea se procesa junto con muestras de sangre periférica y orina, creando un valioso acervo celular para la investigación de la leucemia infantil. Otros laboratorios, como el Laboratorio Juárez de Oaxaca y el Laboratorio de Una Nueva Esperanza (UNE), también participan en el procesamiento de muestras, garantizando la integridad y trazabilidad de estas. Los estudios genéticos, microambientales e inmunológicos, contribuyen al conocimiento y manejo de casos atípicos y de alto riesgo. El uso de plataformas digitales facilita la colaboración entre especialistas y el análisis de datos epidemiológicos y factores de riesgo.

A) Laboratorio de investigación y atención del cáncer infantil

Puebla es uno de los principales estados de la república con mayor incidencia de leucemia infantil. En respuesta a esta situación, en el marco del Pronaii de Leucemia Infantil, se ha establecido el Laboratorio de Citómica del Cáncer Infantil dentro de las instalaciones del Centro de Investigación Biomédica de Oriente (CIBIOR), el cual forma parte del Hospital General de Zona No. 5 del IMSS en Atlixco, Puebla. Su principal objetivo es poner al servicio de las poblaciones vulnerables de México todas las capacidades diagnósticas y pronósticas de última generación para prevenir desenlaces desfavorables y aumentar las expectativas de vida y bienestar.

El laboratorio cuenta con tecnología de vanguardia y un equipo multidisciplinario de especialistas en cáncer infantil. Utilizan paneles citómicos de inmunofenotipificación para analizar células en muestras de médula ósea y detectar células asociadas con la leucemia. Emplean citometría de flujo multiparamétrica y de selección celular para una tipificación precisa y purificación de células de interés, incluidas las iniciadoras de la leucemia, para pruebas de sensibilidad terapéutica. También utilizan un innovador citómetro de masas para analizar hasta 50 marcadores en una sola célula, proporcionando un panorama completo de las leucemias de mayor agresividad. El citómetro de masas es el primero en México y América Latina. Actualmente, desarrollan un modelo de predicción de recaída para mejorar la capacidad pronóstica y la toma de decisiones clínicas en el manejo de la enfermedad.

B) Capacitación: Armonización nacional de sistemas de registro y diagnóstico por citometría de flujo para la leucemia infantil

La Armonización de Sistemas de Inmunofenotipificación (ASI) para la leucemia infantil es un esfuerzo coordinado para establecer una red de colaboración que acuerde un reporte armonizado del inmunofenotipo analizado utilizando citometría de flujo estandarizada. Esta iniciativa permite el diagnóstico y seguimiento de la leucemia infantil en México. Se ha encontrado una solución práctica mediante la homologación de procesos a través de un reporte con valores mínimos necesarios, permitiendo que los laboratorios utilicen sus propios métodos, pero el reporte final debe estandarizarse

en marcadores y unidades. Se establecerá un registro nacional de inmunofenotipos que ayudará a identificar asociaciones y factores de riesgo en la población pediátrica mexicana. Actualmente, se han realizado 245 entrevistas a diversos actores, identificando 42 laboratorios en 16 entidades de la república que realizan inmunofenotipificación, siendo el 73% son de carácter público y pertenecen a la Secretaría de Salud federal, Secretarías de Salud estatales, el IMSS, el ISSSTE y los servicios de salud de PEMEX.

Se ha establecido una página oficial (<https://www.asileucemiainfantil.org/>) que sirve como una fuente confiable y accesible de información, así como también redes sociales como Facebook (<https://www.facebook.com/ASILEucemia>) y Twitter (https://twitter.com/ASI_leucemia), donde los profesionales involucrados pueden compartir información y establecer contactos.

5.5 Tableros de visualización de datos en salud y del sistema agroalimentario en la Cuenca del Alto Atoyac

El Pronaii de Ciencia de Datos y Salud es una iniciativa del Pronaces de Salud que tuvo el objetivo de apoyar proyectos de investigación e incidencia para integrar, procesar, analizar y visualizar grandes bases de datos en salud. De los proyectos apoyados, tres de ellos cuentan con tableros específicos de temáticas complementarias que ponen a disposición información de la CAA y su región de incidencia. En la **(Tabla 16)**, se hace un resumen de cada una de estas plataformas de información y algunas de sus características más relevantes.

TABLA 16.

Plataformas de visualización de datos en la CAA y sus regiones de influencia

NOMBRE DE LA PLATAFORMA	CONTENIDOS Y RECURSOS DE INFORMACIÓN	LIGA DE ACCESO
A) Sistema de Información Geográfica (SIG) de la CAA	Conflictos ambientales Ambiental - Características biofísicas - Calidad ambiental Salud ambiental - Salud - Calidad ambiental - Indicadores de pobreza Bases de datos	https://geoinformatica.mx/webappcca/capas
B) Plataforma Geoespacial del Sistema Agroalimentario y la Nutrición en México	Entornos alimentarios Unidades de producción Acceso desigual a los alimentos Impactos de la agricultura	http://salud.centrogeo.org.mx/
C) Unidad de Inteligencia en Salud Pública UISP	Características sociodemográficas de la población Medición de la pobreza e indicadores de carencia social Accesibilidad y cobertura efectiva Principales causas de defunción Principales egresos hospitalarios.	https://uisp.insp.mx/

Nota: Toda la información está con un nivel de desagregación espacial municipal, datos históricos desde 2000 y hasta 2020, y los datos crudos disponibles para su descarga.

A) Sistema de Información Geográfica (SIG) de la Cuenca del Alto Atoyac

El SIG de la CAA (**Figura 55**) es una herramienta de gran utilidad para visualizar y analizar información de salud pública ambiental en el territorio. Posibilita la perspectiva espacial de las ECNT en relación con diversos elementos que inciden en la salud de la población como por ejemplo las industrias, los ríos contaminados, los rellenos sanitarios, zonas urbanas, entre otros. Además, facilita la toma de decisiones en la planificación de los servicios de salud, en función de las necesidades territoriales identificadas.

También es una plataforma ideal para la transferencia de la información generada, ya que ésta, se puede descargar y utilizar libremente. Lo anterior contribuye a una mejor comprensión de los problemas de salud, la toma de decisiones informada y la implementación de estrategias efectivas para la prevención y control de enfermedades (Khashoggi y Murad, 2020).

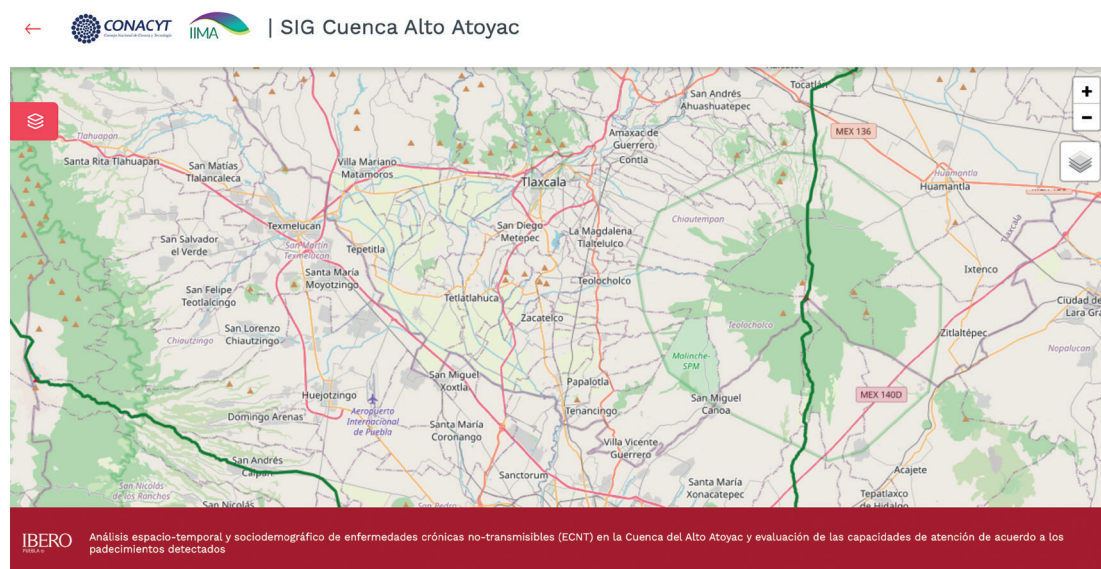


FIGURA 55.

Sistema de Información Geográfica (SIG) de la CAA. <https://geoinformatica.mx/webappcca/capas>

B) Plataforma Geoespacial del Sistema Agroalimentario y la Nutrición en México

Esta plataforma de información geoespacial es de libre acceso y busca contribuir con la consulta, visualización, descarga y socialización del estatus de diversos componentes de los sistemas agroalimentarios y la salud alimentaria en México. Esto mediante información y las herramientas necesarias para entender la dinámica espacio-temporal de las métricas de salud alimentaria y el sistema agroalimentario.

En la sección “CAA” el tablero de entornos alimentarios contiene la distribución de comercios minoristas, comercios de antojitos mexicanos, establecimientos de cadenas comerciales y franquicias de comida ultraprocesada, fondas y cocinas económicas, así como supermercados y tiendas de conveniencia. En cada uno de estos, se despliega a nivel municipal el número de establecimientos, la densidad por cada 1,000 habitantes, así como sus porcentajes de cambio 2010-2020. Adicionalmente se incorpora la tasa de mortalidad por mala alimentación por causas múltiples en 2010 y 2020.

El tablero de acceso desigual a la alimentación contiene el comportamiento de indicadores de desigualdad social como es la marginación, indicadores de pobreza y según una diversidad de carencias.

El tablero de impactos de la agricultura presenta una sección de gases de efecto invernadero asociado con la labor agropecuaria, y otra sección con los porcentajes de insumos químicos, fertilizantes y herbicidas químicos empleados en la labor agropecuaria.

Finalmente, el tablero de características de las unidades de producción contiene porcentajes en torno a una tipología de las unidades de producción, el origen de los ingresos y sobre derechos de la tierra (**Figura 56**).

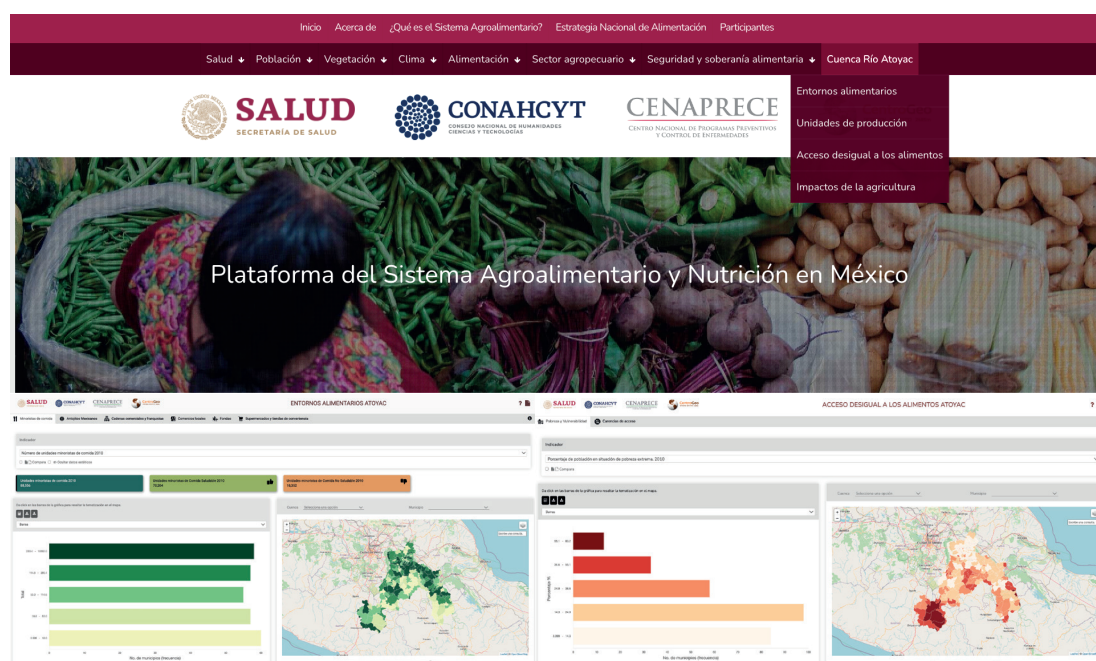


FIGURA 56.

Plataforma Geoespacial del Sistema Agroalimentario y la Nutrición en México

<http://salud.centrogeo.org.mx/dashboard/entornosatoyac>

<http://salud.centrogeo.org.mx/dashboard/produccionatoyac>

<http://salud.centrogeo.org.mx/dashboard/alimentosatoyac>

<http://salud.centrogeo.org.mx/dashboard/agriatoyac>

C) Unidad de Inteligencia en Salud Pública (UISP)

La UISP es una plataforma para la generación de evidencia para la evaluación y monitoreo del sistema de salud, mediante la vigilancia de la salud pública, la investigación en el uso de la información en salud, la aplicación de métodos estadísticos avanzados para su análisis sistemático y la difusión de resultados que contribuyan a la identificación de los principales retos en salud y sus determinantes sociales.

Tiene la capacidad para evaluar el desempeño de los sistemas de información en salud en términos de la calidad, cobertura y oportunidad de los datos que producen, su análisis y el uso de la información en la toma de decisiones, la evaluación del desempeño y la formulación de políticas públicas.

Recientemente, se creó el tablero “CAA” en la sección de ciencia de datos de la plataforma (**Figura 57**). Este tablero contiene información a nivel municipio, por subcuencas y por estado, de datos sobre las características de la población residente en esta Cuenca, indicadores de medición de la pobreza o carencia social, entre ellos, la accesibilidad y cobertura efectiva (población con acceso y tiempos de viaje hacia las unidades de atención, entre otros) y sus principales causas de defunciones y egresos hospitalarios.

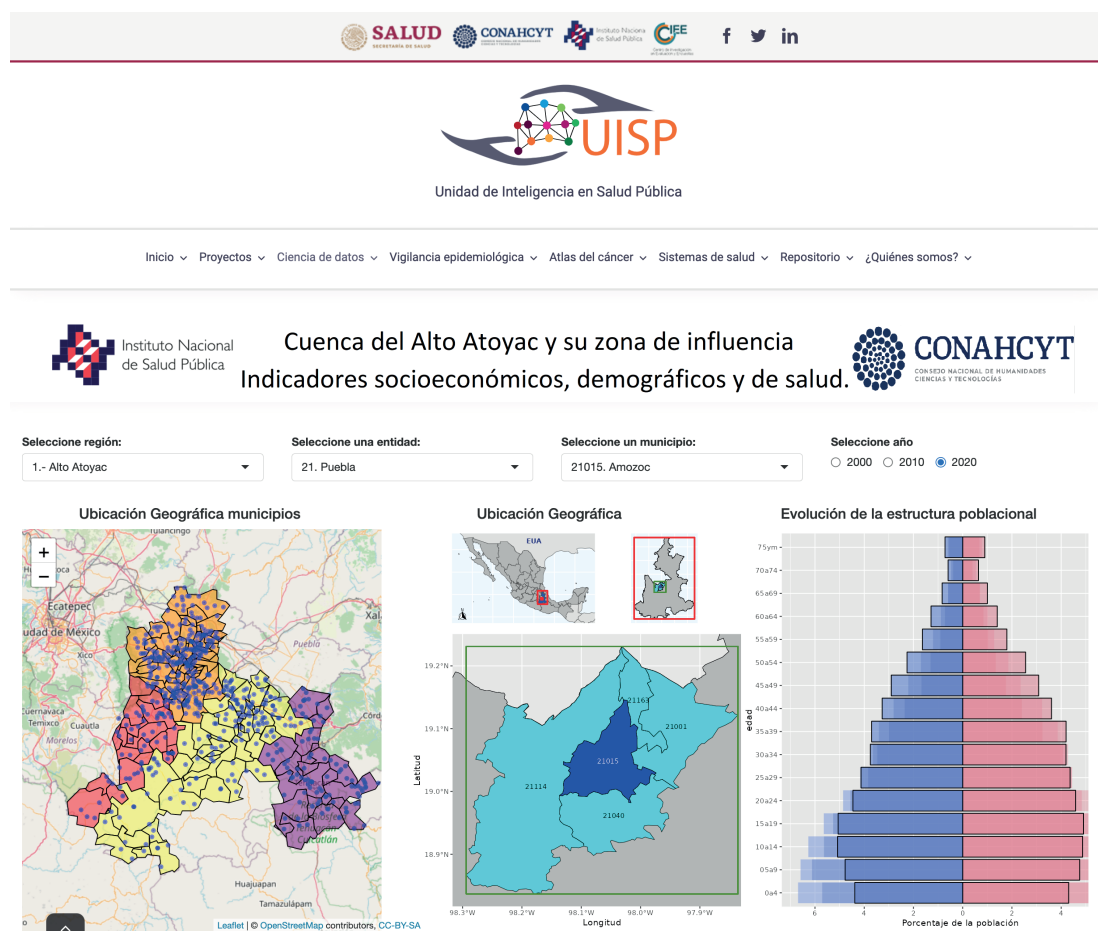
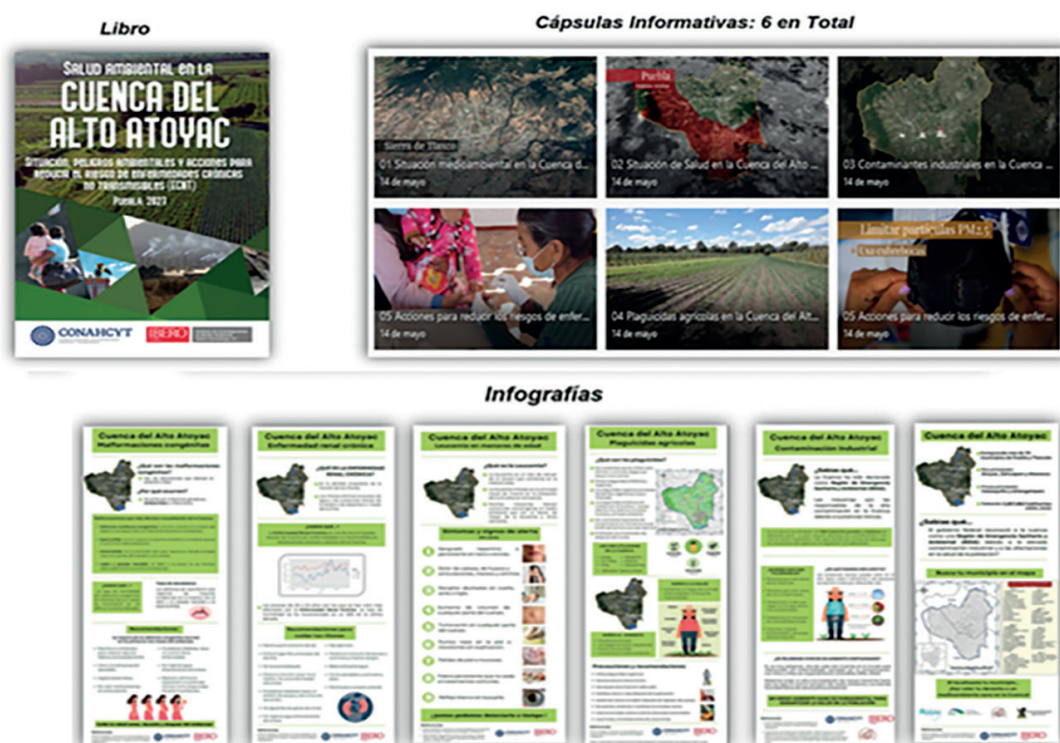


FIGURA 57.

Unidad de Inteligencia en Salud Pública. Sección Ciencia de Datos/Tablero Cuencas. <https://uisp.insp.mx/wp/index.php/cuenca-del-alto-atoyac/>

- Libro *Salud ambiental en la CAA: situación, peligros ambientales y acciones para reducir el riesgo de ECNT*.
- Cápsulas informativas e infografías sobre: 1. Situación medioambiental en la CAA; 2. Situación de Salud de la población de la CAA; 3. Contaminantes industriales; 4. Plaguicidas agrícolas y 5. Acciones para reducir los riesgos de ECNT ante el riesgo de la contaminación. El propósito de este material es dar a conocer a las y los habitantes de la CAA la situación de salud ambiental en el territorio y los riesgos a los que se exponen por la contaminación industrial y por el uso de agroquímicos (**Figura 59**). Asimismo, brindar información de algunas de las acciones que se pueden llevar a cabo para fortalecer la salud individual, familiar y comunitaria ante el peligro de la contaminación ambiental.

**FIGURA 59.**

Material de divulgación sobre la problemática socioambiental y de salud en la CAA.

C) Pronaii de Salud Renal: Actividades de Investigación Acción Participativa

En el Pronaii de Salud Renal dentro de uno de sus ejes de implementación, se llevan a cabo actividades a través de la metodología Investigación Acción-Participativa con las comunidades de los municipios de Tlaxcala de Xicohténcatl, Apetatitlán de Antonio Carvajal y Chiautempan, principalmente en escuelas de educación secundaria, media superior y superior, con grupos de niños en cursos de verano, personas de la tercera edad y grupos de mujeres.

Este trabajo comunitario tiene dos enfoque principales: una mirada interseccional, que implica desentrañar la sobreposición de capas de desigualdad entre las condiciones de género, generación y clase, que viven las diferentes poblaciones de Tlaxcala y con base en lo cual se configuran su percepción y actuar sobre la salud; y el diálogo de saberes, el cual implica un intercambio, ampliación, incorporación, valoración horizontal y praxis de los diferentes saberes, experiencias y recursos de todos los actores involucrados.

Asimismo, opera a través de tres grandes métodos:

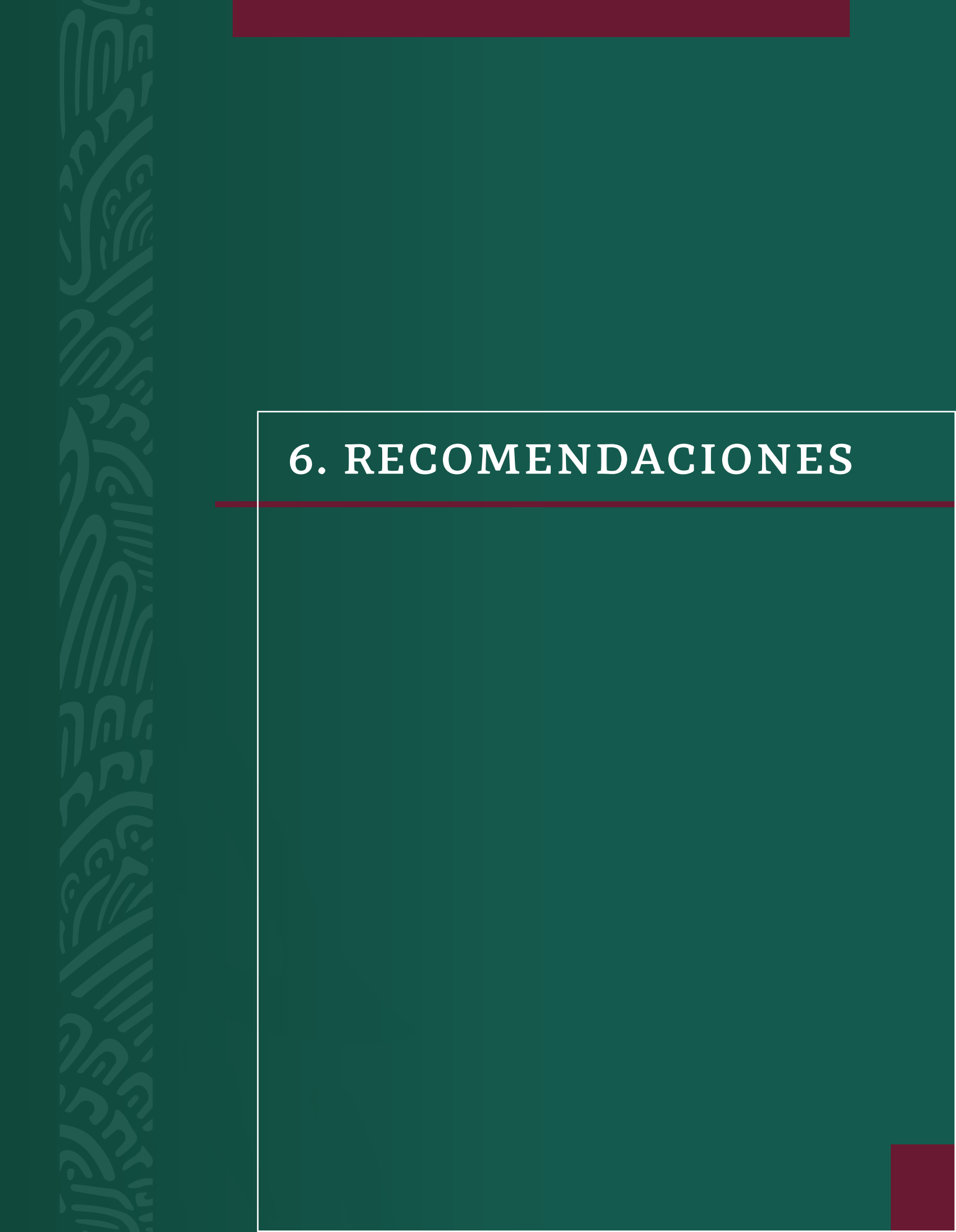
- **Etnografía:** ésta implica estar en la comunidad, caminar, conversar con las personas y registrar todo lo observado con una intención reflexiva y comprometida.
- **Talleres comunitarios:** implica el uso de herramientas de construcción colectiva, enfocadas en impulsar, escuchar, comprender, revalorar y acompañar la participación de la comunidad como vía de empoderamiento. Durante el año 2022 y parte del 2023 se han empleado técnicas como: 1) cartografías participativas para conocer las transformaciones del territorio; 2) rallies para conocer la percepción de la salud-enfermedad renal, así como la estructura y funcionamiento del sistema urinario y principalmente de los riñones; 3) mapas cuerpo-territorio para pensar la experiencia del malestar corporal como un reflejo de las alteraciones medioambientales locales; 4) el buen comer comunitario y talleres agroecológicos, con la intención de pensar en la forma habitual de la alimentación, desde una perspectiva saludable, a bajo costo y con alimentos comunes incorporados al paladar; 5) el desempaque de derechos humanos, para que los y las jóvenes puedan reconocer los diferentes derechos que están relacionados al ámbito de la salud y reconozcan cuáles han sido invisibilizados; una jornada de salud renal para divulgar información sobre los factores sociales y ambientales de riesgo y conocer la percepción de la población sobre la salud renal; entre otros.
- **Artes participativas:** éstas implican una apropiación, expresión y construcción compartida de imágenes, manuscritos y gráficos, expuestos en espacios públicos para propiciar la reflexión, la información, el diálogo, las experiencias significativas y acciones de la colectividad. A nivel comunitario se han realizado 1) stencils para visibilizar el riñón; 2) fotobordado para expresar las transformaciones territoriales (dinámica de cambio y ausencia); 3) paste up para compartir información sobre la salud-enfermedad renal y los factores socioambientales que la repercuten; 4) Infografías juveniles colectivas donde se expresa información sobre los riesgos, el cuidado y reflexiones sobre aspectos ambientales, sociales, familiares, individuales dirigidos a la prevención y cuidado de la salud renal de la comunidad; y, 5) murales comunitarios como un medio de sensibilización sobre la importancia de colectivizar la salud renal; lo cual se encuentra en proceso de desarrollo (**Figura 60**).



FIGURA 60.

Mural realizado en el municipio de Tlaxcala como parte de las actividades de los grupos de promoción de salud renal comunitaria del Pronaii de Salud Renal.

Los esfuerzos articulados desde el Conahcyt se integran hacia una meta común: identificar y prevenir los riesgos ambientales en la CAA, ofrecer diagnósticos oportunos, desarrollar herramientas de punta para la mejora de los servicios de salud, y promover el cuidado y la defensa de la salud desde la participación ciudadana y comunitaria.



6. RECOMENDACIONES



6. RECOMENDACIONES

Los habitantes de la RESA-CAA padecen el riesgo constante de exposición a elementos y compuestos químicos con alto potencial tóxico, sustancias emitidas al aire, agua y suelo desde fuentes diversas asociadas principalmente a giros económicos industriales. El proceso de industrialización que ha persistido en la región obedece entre otras cosas a una falta de planeación ecológica-territorial que realmente considere los factores de riesgo para la salud humana y ambiental. Además de esto, ha habido un rezago histórico en la atención sanitaria por parte de las autoridades de salud y una falta de estrategia e infraestructura para el monitoreo ambiental, particularmente en aquellos municipios en los que se concentran establecimientos industriales de alta peligrosidad como la petroquímica y la metalúrgica.

El abordaje eficaz y eficiente de los determinantes socioambientales en la Cuenca y sus consecuencias sobre la salud, por parte de las entidades responsables, conlleva la vigilancia de la salud ambiental desde una base científica y humanística sólida, que oriente las políticas, programas y prioridades en la protección equitativa de la salud de la población de la RESA-CAA.

En función de lo anterior, se recomienda para la RESA-CAA las siguientes acciones particulares enumeradas con base en la temática principal a la que atienden:

I. MONITOREO Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL

Establecimiento de una red de monitoreo ambiental orientada a la vigilancia de las condiciones de la salud pública de la RESA-CAA y su área de influencia que incluya:

- 1) Incorporar nuevos sitios de muestreo de agua, de acuerdo con un criterio de prevención y protección contra el riesgo sanitario-ambiental actual. Se deben incluir las corrientes más vulnerables a los procesos contaminantes y pasivos ambientales de todos los corredores y parques industriales, de la industria aislada (fuera o dentro de zonas urbanas), de los vertederos de residuos sólidos (controlados y no controlados) y de las minas en operación o abandonadas.
- 2) Llevar a cabo el monitoreo sistemático y permanente de la calidad del agua potable en zonas rurales y en entornos urbanos. Se recomienda el análisis de la calidad de agua proveniente de pozos comunitarios y potabilizadoras con puntos de venta de agua purificada de acuerdo con la NOM-127-SSA-2021.
- 3) Diseñar e implementar un programa de monitoreo permanente y análisis de sedimentos y suelos en la zona federal de la red fluvial de la RESA-CAA y su área de

influencia (incluyendo la infraestructura de canales de riego) que contemple todos los metales, metaloides, no metales, plaguicidas y sustancias orgánicas sintéticas identificadas en el RETC, Renameca y en estudios independientes en la RESA-CAA.

- 4) Ampliar el programa ProAire con la instalación de estaciones de monitoreo atmosférico en todos los parques y corredores industriales, poblaciones vulnerables (áreas de invernaderos, cementeras, incineradoras de residuos, ladrilleras, etc.) y sitios de referencia dentro de la RESA-CAA. Deben ser suficientes para integrar una red completa para el seguimiento de los escenarios de calidad del aire y establecer programas de regulación para todas las actividades industriales y los procesos contaminantes que inciden negativamente en la calidad de la salud pública.
- 5) Establecer un programa de análisis químico atmosférico para sustancias orgánicas sintéticas, plaguicidas y para determinar la composición y tamaño de partículas atmosféricas en las zonas donde residen las poblaciones identificadas de alta vulnerabilidad por la actividad industrial y los indicadores de salud pública.
- 6) Establecer un programa de monitoreo y evaluación de los procedimientos de gestión de diversos tipos de residuos y de los sitios donde se disponen: sitios de disposición final de residuos sólidos municipales, de lodos residuales generados por las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y de la gestión integral del manejo y disposición final de residuos peligrosos y de manejo especial; así como, de los depósitos subterráneos de residuos industriales altamente tóxicos identificados por la población.
- 7) Elaborar un Programa de vigilancia para determinar la presencia de ciertos elementos y sustancias químicas de interés contextual en hortalizas y otros alimentos. Se recomienda incluir de manera prioritaria: arsénico, metales pesados, amianto, plaguicidas (organofosforados y organoclorados), dioxinas y bifenilos policlorados.

Diseño y ejecución de una estrategia integral de respuesta y restauración ambiental, en coordinación con las comunidades de toda la RESA-CAA y su área de Influencia:

- 1) Diseñar un Plan de Respuesta Ambiental que parta de la información acumulada hasta ahora y considere la que en el futuro arroje el monitoreo de la red fluvial, la atmósfera y el suelo. Este plan debe contemplar una fase de acciones de prevención, una de contingencia y otra de emergencia. Debe estar basada en umbrales definidos por tipo de contaminante, su concentración y exposición, e involucrar acciones concretas para detener o revertir los procesos contaminantes hasta que se hallen debajo el umbral establecido.
- 2) Integrar un Inventario de Sitios Prioritarios de Atención en materia de saneamiento, remediación y restauración ambiental, con base en un estudio diagnóstico exhaustivo y el saber comunitario orientado a la recuperación de la calidad de la salud pública y ambiental. Este listado debe estar coordinado con el Plan de Respuesta Ambiental.

- 3) Establecer un Plan Integral de Restauración Ecológica de toda la RESA-CAA y su Área de Influencia, incluyendo el agroecosistema de los distritos y unidades de riego y las zonas cabeceras de cuenca, para recuperar paulatinamente la capacidad de asimilación de toda la cuenca.
- 4) Elaborar el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos aplicable a la RESA-CAA en su conjunto, con atención especial a los procesos contaminantes presentes en las cadenas de generación, manejo y disposición final, y en los procesos laborales formales e informales.

II. ATENCIÓN A LA SALUD

Diseño e implementación de un programa integral y permanente de atención y prevención del daño a la salud en la región de emergencia sanitaria y ambiental RESA-CAA en Tlaxcala:

Este programa deberá contemplar la prevención y atención del daño a la salud en las áreas críticas en fases de corto y largo plazo, así como un mecanismo de seguimiento por parte de las organizaciones de base comunitaria, quienes han guiado la priorización de localidades y evaluarán en primera instancia los avances y alcances de este programa.

Creación de un organismo para el diagnóstico de la salud pública ambiental.

Se propone incorporar a los Distritos de Salud para el Bienestar un organismo para el diagnóstico de la salud pública ambiental cuyas funciones sean:

- 1) Conducir estudios de epidemiología ambiental sobre los efectos adversos en salud humana que tiene la exposición crónica y subcrónica a elementos y compuestos químicos generados por la actividad industrial en la RESA-CAA.
- 2) Caracterizar detalladamente la exposición (fuentes, vías de exposición, tiempo de exposición y poblaciones vulnerables) y sus efectos sobre la salud humana.
- 3) Evaluar de manera sistemática la situación de salud poblacional en relación con los peligros ambientales dentro del territorio sanitario.

Se propone que la evaluación de la exposición a estas sustancias se lleve a cabo a través de los laboratorios de salud en el trabajo del IMSS con el apoyo técnico-analítico de la Red de Laboratorios de Toxicología coordinada desde el Conahcyt.

Programa de sensibilización sobre la importancia de la determinación socioambiental en los procesos de salud-enfermedad:

Elaborado y promovido por los diferentes órdenes de gobierno, este programa deberá centrarse en sensibilizar (y, en su caso, capacitar) a tomadores de decisiones, personal de salud, estudiantes en el campo de la medicina y enfermería y al público en general,

sobre la conexión indisoluble que existe entre la salud y su determinación social y ambiental.

Se deberá hacer uso de los medios de comunicación masivos al alcance de las Secretarías de salud, ambiente, educación y el Conahcyt.

Implementación de un programa de tamizaje para detección temprana de ERC, retomando la experiencia del Pronaii de Salud Renal.

Se recomienda el establecimiento de un programa permanente de tamizaje costo-efectivo para facilitar el diagnóstico temprano y manejo oportuno de las complicaciones de la ERC. Para su implementación, este programa puede servir-se de la experiencia del Pronaii de Salud Renal, que ha identificado biomarcadores de función y daño renal subclínico de alta sensibilidad y especificidad.

Las campañas de tamizaje deberán contar con una ruta de atención clara y articulada que asegure la atención pronta y oportuna de todos los casos diagnosticados.

Elaborar una metodología compartida para transferir, integrar y desarrollar los registros de base poblacional y hospitalario derivados de distintas experiencias, incluyendo la de la Secretaría de Salud del gobierno del estado de Tlaxcala y del Conahcyt en temas de ERC y leucemias.

Con esta metodología se podrá, en los años subsecuentes, evaluar el impacto de las medidas de prevención, diagnóstico temprano y tratamiento oportuno implementadas en materia de salud pública para reducir la carga de estas enfermedades en la RESA-CAA. Esta metodología permitirá hacer un uso eficiente de los recursos públicos asignados a las

dependencias responsables a través de una planeación basada en evidencia científica sólida. Por otro lado, se podrán iniciar nuevos registros de base poblacional para otras enfermedades con alta incidencia y mortalidad en la región, para su atención desde el primer nivel.

En una metodología también compartida para la elaboración de los expedientes clínicos, incorporar indicadores de riesgo desarrollados para las zonas críticas de la RESA-CAA en los perfiles pronósticos y en la estratificación diagnóstica en todos los niveles de atención.

Para el expediente clínico, se recomienda incluir las zonas de alto riesgo ambiental a la salud y otras variables de riesgos socioambientales como la ocupación, como variables de riesgo en los algoritmos y expedientes clínicos para la subclasificación de pacientes, inicialmente renales y oncológicos, pero eventualmente en cualquier persona durante la ruta de atención y en todos los niveles de atención.

Establecimiento de unidades médicas móviles enfocadas en la detección temprana de enfermedades.

Establecimiento de un programa permanente de atención a la salud a través de unidades médicas móviles que brinden consultas gratuitas en las comunidades, particularmente en aquellas donde no hay centros de salud. El programa deberá enfocarse en la detección temprana de enfermedades como ERC, leucemias y otras enfermedades de alta incidencia en la región.

Instauración de una contraloría social de salud ambiental mediante el trabajo articulado entre las organizaciones comunitarias de base y los colectivos de investigación e incidencia de los Pronaces.

Dicha contraloría contribuirá a vigilar el cumplimiento cabal de los programas, acciones o proyectos en materia de salud ambiental, emprendidos por los diferentes órdenes de gobierno en la región. Además, promoverá la participación de las comunidades en los procesos de priorización, planeación, vigilancia, supervisión y evaluación de sus intervenciones en la materia. Se recomienda que esta contraloría social se integre por representantes de las comunidades afectadas y por expertos técnicos en temas de salud y ambiente trabajando en la región a través de los distintos Pronaces del Conahcyt.

Reiteramos que el desarrollo y ejecución del saneamiento ambiental y la recuperación de la salud humana son tareas en las que se articulan las capacidades y los saberes de las organizaciones sociales de base comunitaria y los grupos de expertos para la observación y vigilancia crítica del entorno, la discusión de la salud ambiental y la remoción de los vacíos legales que han permitido el deterioro ambiental de la RESA-CAA.

Desarrollo de planes de contingencia frente a accidentes industriales adecuados a las condiciones de riesgo de la RESA en caso de accidentes industriales y planes de seguridad laboral para trabajadores formales e informales.

Se recomienda la publicación de planes de contingencia para los distintos escenarios laborales de la RESA, para la adopción de medidas adecuadas de seguridad. Estos planes deben de contar con la claridad y contextualización pertinentes, así como las acciones o mecanismos para su prevención.

Se recomienda también planes y protocolos de seguridad laboral contextualizados para los trabajadores formales, y para los informales como son los artesanos-alfareros, jornaleros agrícolas y los pepenadores.

III. LEGISLACIÓN Y POLÍTICA AMBIENTAL

Las siguientes recomendaciones en materia de legislación y política ambiental se dirigen hacia la consolidación de una normatividad aplicable y eficiente para la protección de los ecosistemas y la salud humana. Se enfatizan los mecanismos legales de corto plazo que fortalecen la declaración efectiva de las sustancias emitidas o transferidas por las industrias o previenen una profundización de la problemática.

Declarar la RESA de la CAA como zona prioritaria de investigación y atención sanitaria, ambiental y social, y crear los programas oficiales integrales correspondientes, con plazos claros y explícitos y una asignación de recursos financieros suficientes y etiquetados.

Promover la figura legal de la RESA de la CAA, mediante un decreto presidencial, para fortalecer el reconocimiento otorgado en el Convenio marco de coordinación celebrado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Secretaría de Salud y el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías el 21 de julio de 2021, donde las partes se comprometieron a establecer las Regiones de Emergencia Sanitaria y Ambiental y las actividades prioritarias para su atención.

Reorganización de la política ambiental en materia de agenda gris, regulación industrial y ordenamiento ecológico y territorial.

- 1) Recuperar y publicar las bases de datos de los registros de emisiones de toda la industria, comercio y servicios responsables de emisiones y/o transferencia de contaminantes y que involucra el uso de alguna de las 200 sustancias listadas en la NOM-165-Semarnat-2013, incluso en cantidades inferiores a las que obligan a reportar al RETC.
- 2) Establecer un mecanismo de obligatoriedad para toda la industria, comercio y servicios de competencia federal de reportar cualquier cantidad superior al límite de detección, que le permita la tecnología más avanzada de cuantificación existente, de las sustancias listadas en la NOM-165-Semarnat-2013 a partir de 2023, y publicar esta información para consulta de acceso abierto a todo público.
- 3) Delimitar y formalizar en los POET/POEL como áreas en restauración y con restricciones de actividades económicas contaminantes, a los polígonos de los espacios o microcuencas identificados como zonas críticas de la RESA.
- 4) Restringir en estas Zonas Críticas, en sus áreas de influencia y en otras zonas de la RESA-CAA que se considere necesario, el emplazamiento de nuevos núcleos y/o procesos generadores de contaminantes en tanto no se tengan resultados favorables para recuperar la capacidad de carga del sistema fluvial en su conjunto, y la calidad ambiental de las comunidades de más alto riesgo sanitario-ambiental.

Actualización de la Declaratoria de clasificación que incluya los contaminantes considerados en la Renameca e identificados en la cuenca en el periodo 2012-2020.

Actualizar la Declaratoria de clasificación del Río Atoyac y sus afluentes, dado que el horizonte planteado para el 2015 no se logró y el número e intensidad de los procesos de devastación socioambiental siguen aumentando. Para el logro de los objetivos planteados en este documento es necesario ampliar los principios sobre los que se basan las metas de concentración y los parámetros integrados. La estrategia exige la instalación de una comisión técnica para la elaboración de un nuevo documento actual y pertinente.

Procedimientos legales de corto plazo.

Se requieren para:

- a. Facilitar la revisión de sustancias y límites mínimos de reporte en el RETC (NOM-165-Semarnat-2013), de acuerdo con los criterios internacionales más estrictos;
- b. Actualizar los criterios de monitoreo y seguimiento de sustancias y emisiones del RETC, el REPDA, el Renameca y de los demás procedimientos ya establecidos dentro del marco legal por la LGEEPA, para terminar con los privilegios de las empresas

de establecer los niveles de contaminación permisibles y a declarar sus emisiones voluntariamente, en función de sus intereses;

- c. Armonizar el RETC, el REPDA, el Renameca y los demás procedimientos con registros equivalentes en otros países en los que operan los mismos sectores industriales;
- d. Obligar la declaración de todas las sustancias emitidas o transferidas, y establecer mecanismos de control y verificación para asegurar que las empresas cumplan con esta obligación.

Procedimientos legales de largo plazo. Reformas legales.

Las recomendaciones que requieren de transformaciones más profundas y a largo plazo, incluyen el diseño de instrumentos de aplicación dirigidos a la actualización de las sustancias tóxicas sujetas a reporte de la NOM-165-Semarnat-2015 y las sustancias sujetas a planes de manejo especial de la NOM-161-Semarnat-2013.

La actualización de la NOM-165-Semarnat-2013 debe ampliar el número de sustancias de acuerdo con los criterios más estrictos vigentes internacionalmente, revisar la obligación de su cumplimiento al interior de las RESA y eliminar los umbrales de reporte en vistas a posibilitar el cálculo acumulado de emisiones o transferencias en las diferentes regiones del país.

Se deben establecer reglamentos municipales y leyes estatales para la prevención, gestión integral y economía circular social y solidaria de los residuos en Tlaxcala y Puebla, que brinden las bases para establecer los RETC a nivel estatal y municipal. Los RETC a nivel estatal y municipal permitirán un mejor control de las emisiones y transferencias, así como de la trazabilidad de los materiales.

IV. RECOMENDACIÓN DE ACCIONES GENERALES DE FONDO PARA ESTA Y OTRAS RESA DURANTE EL SIGUIENTE SEXENIO

Las RESA en México representan un problema histórico profundo y complejo. Debemos evitar la ilusión de pensar que los problemas expuestos en este documento pueden solucionarse con simples acciones inmediatas o propuestas de corto o mediano plazo. Teniendo en cuenta que el presente sexenio toca a su fin, ahora ofreceremos de forma general un conjunto de recomendaciones generales que consideramos indispensables de ser atendidas por el próximo gobierno.

La Semarnat necesita corregir el papel secundario que ha otorgado a la agenda gris dentro de su política ambiental, por las gravísimas consecuencias que este sesgo estructural ha provocado. Un nuevo espacio real y urgente a esta agenda implica que dicha secretaría tome como punto de partida de sus acciones correctivas una

descripción científica y humanística real de los desastres ambientales económicamente producidos en el país, del costo económico que significan los mismos y la manera en que en que se han creado estos lesivos vacíos históricos.

Para remontar el problema se recomienda:

1. Fortalecer y extender la iniciativa de la Secretaría de Salud en la CAA hacia otras RESA, en vistas a crear un Programa Nacional Emergente de Atención a la Salud ambiental. La Semarnat debe considerar este programa como base de una nueva agenda gris encaminada a la atención de las RESA.
2. Elaborar planes integrales dirigidos a detener los problemas de violencia social y pobreza estructural profundas a la que están sujetas las poblaciones de las RESA, los activistas y las organizaciones sociales maduras que se enfrentan al problema de la degradación de la salud, la contaminación y la pérdida del medio ambiente.
3. Visibilizar ante el público en general, pero sobre todo entre los servidores que ocupan puestos estratégicos en el gobierno:
 - a. La gravedad y urgencia que tienen los centros laborales de las RESA en sus centros laborales, en los que prevalecen procesos de contaminación tóxica de los trabajadores y de sus familias;
 - b. El costo humano, económico y ambiental que implica la acendrada desatención del problema;
 - c. El extraordinario atraso científico, legislativo y de atención institucional que tiene el país en esta materia;
 - d. La corresponsabilidad en el origen del problema (empresarial, urbana, institucional y ciudadana), que a su vez implica la atención compartida de este tipo de problemas.
4. Conformar una Comisión Nacional interdisciplinaria de alto nivel, gobernada por expertos sin conflicto de interés, que identifique y determine, de manera sistematizada, otras RESA que actualmente existen dentro del país y contribuya a elaborar las leyes, normas y programas específicos necesarias para la remediación y atención en materia social, de salud y medio ambiente.
5. Conformar comisiones específicas de científicos, comunidades de afectados y servidores públicos que sean apropiadas para identificar, jerarquizar y atender los problemas de cada RESA.
6. Articular el sistema de competencias institucionales (ambientales, hídricas, atmosféricas, sanitarias, etc.) que permita la prevención, el diagnóstico, la atención apropiada y el tratamiento integral del sistema de problemas presentes en las RESA.

7. Para alcanzar estos objetivos, se requiere de la creación de un organismo encargado de la salud pública ambiental con competencias para elaborar el programa articulador que permita evaluar la salud y el medioambiente en sus mutuas interacciones causales y promover acciones concretas para reducir las exposiciones medioambientales nocivas y promover la sostenibilidad medioambiental. En este organismo debe radicar el poder y la voluntad política que contrarreste la fragmentación de competencias, leyes y normas y mentalidades burocráticas que el neoliberalismo dolosamente arraigó en las instituciones públicas, de modo que pueda trabajar en sintonía efectiva y real con todas las demás secretarías y entidades con competencias en el tema. También es necesario un programa de atención inmediata y seguimiento a la población enferma y de prevención y detección de nuevos casos. Todo esto requiere de la concurrencia eficiente de diversas secretarías y dependencias del gobierno, y de recursos humanos, financieros y técnicos suficientes. También se requiere un conjunto de reformas al marco normativo que atiendan a las causas estructurales, o faciliten la acción coordinada de los poderes y niveles del Estado.

Finalmente, es necesaria una revisión de la totalidad de la legislación vigente, en vistas a redactar un nuevo sistema orgánico de leyes y normatividades con la capacidad de atender, remediar e impedir la acumulación catastrófica de sustancias tóxicas dentro de las RESA. Para ello es necesario iniciar la construcción de un código sanitario-ambiental que aglutine, sistematice y armonice la totalidad de la materia, unificando conceptos, criterios, etc., y que dé pie a la creación de tribunales especializados en materia sanitaria-ambiental. De esta manera se comenzará a remontar el sesgo disciplinario que lleva a los ambientalistas a no considerar los temas humanos de salud como parte de los ecosistemas, a los médicos a desdeñar los temas ambientales como condicionantes de la salud, y a los abogados especializados en medio ambiente o en salud a separar los temas.





7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES



7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El presente documento tiene el propósito de servir como un instrumento para sustentar las luchas en defensa del territorio de las comunidades en la CAA y, por lo tanto, ser un insumo para la definición de las políticas públicas integrales para la región.

A) La degradación socioambiental y su relación con la emergencia de salud en la Cuenca del Alto Atoyac

La condición ambiental en la CAA está severamente impactada por las intervenciones que se han hecho sobre el hábitat, especialmente a partir de los cambios de uso de suelo a favor de las actividades industriales y la expansión urbana. Esta presión ha provocado una competencia por el suelo y el recurso hídrico con la comunidad original de la Cuenca, provocando el desplazamiento de actividades primarias y afectando las áreas forestales, encadenando consecuentemente la degradación socioambiental de la Cuenca. Uno de los aspectos más críticos de esta degradación es la dinámica de contaminantes antropogénicos y sus efectos en la salud que ha impuesto el emplazamiento de la industria en toda la Cuenca y que se refleja nítidamente en los resultados de los análisis realizados por la propia autoridad al agua de la red fluvial, en la región de la Cuenca alta del Balsas. Esta dinámica ha traído como consecuencia un escenario complejo de fuentes, rutas, vías y matrices de exposición; desde fuentes puntuales de contaminación identificables en las descargas industriales, las municipales y las emisiones al aire, hasta fuentes difusas originadas en el intenso tráfico de vehículos pesados en la red de carreteras y en las escorrentías que arrastran agroquímicos. Esto, además de aquellos eventos azarosos consistentes en el transporte clandestino al río de pipas con residuos, o en las reacciones químicas que ocurren en el ambiente al coincidir ciertas especies químicas que generan nuevos contaminantes, como los trihalometanos en agua, o el ozono en el aire.

En la región, los padecimientos como las enfermedades renales crónicas y las leucemias agudas tienen tasas de mortalidad superiores a la media nacional y estatal, especialmente en las infancias y juventudes. Se trata de enfermedades complejas asociadas a factores múltiples, entre ellos los socioambientales como la exposición a xenobióticos. Dicha exposición también ocurre durante la etapa fetal, a través de la exposición materna a sustancias tóxicas, impactando el desarrollo adecuado de órganos y sistemas, incluyendo los relacionados con las enfermedades mencionadas, incrementando la aparición de alteraciones y patologías en etapas tempranas de la vida. Lo anterior representa una señal tácita de la presencia de otras afectaciones en salud igualmente complejas asociadas a la degradación socioambiental de este lugar.

La tasa de mortalidad es un indicador con ciertas limitaciones, pero es el único dato que se registra de manera robusta y puede interpretarse no sólo como el número de fallecimientos en un periodo de tiempo específico, también señala posibles deficiencias en el sistema de atención en salud, una incidencia elevada de la enfermedad, o ambas.

Para la toma de decisiones, en este trabajo se ha puesto sobre la mesa de discusión el papel que pueden estar jugando los contaminantes presentes en la Cuenca en relación con el incremento de la mortalidad –y seguramente la incidencia– por ERC y leucemias. El énfasis particular ha sido el cotejo de las bases de datos oficiales en materia de contaminantes ambientales y mortalidad con los resultados de dos proyectos específicos, uno de biomarcadores de la función renal y de exposición a contaminantes ambientales, y otro en materia de incidencia regional de leucemias agudas y sus subtipos. El propósito ha sido delimitar, de manera fundamentada, los espacios prioritarios de intervención de acuerdo con la correlación que arrojan los análisis con modelos geoestadísticos para la presencia de contaminantes, la ERC y las leucemias.

Las evidencias presentadas en este documento dan pruebas sólidas de que la salud renal de la población en la CAA se encuentra en un riesgo elevado de daño e insuficiencia. La ERC no es solo una enfermedad crónica de elevados costos para el sistema de salud, es una enfermedad desmoralizante para los enfermos y sus familias, es una enfermedad prevenible que en la Cuenca está causando la muerte -evitable- de jóvenes de entre 15-49 años. El origen de esta enfermedad en jóvenes no está ligado a los principales factores de riesgo para su desarrollo (diabetes o glomerulonefritis), sino que existe una asociación

estadísticamente significativa con la presencia de contaminantes industriales. En este trabajo se documentó la asociación del daño renal, evento subclínico previo al desarrollo de enfermedades renales crónicas (Ferenbach y Bonventre, 2015), con la exposición a arsénico, cobre, fluoruro, plomo, vanadio, y adicionalmente, con los plaguicidas AMPA, glufosinato, malatión y picloram. Estas mismas alteraciones renales tempranas se asociaron con la presencia de contaminantes nefrotóxicos en aire y se encontró que la posibilidad de presentar estos signos tempranos de daño es 36% mayor si se radica en una zona con altos niveles de contaminación. También se identificó que las agrupaciones municipales con las tasas de mortalidad más altas por ERC y la presencia –exposición potencial– de los niveles más elevados de compuestos orgánico-sintéticos en agua, se ubican al oriente de la Cuenca, principalmente en el estado de Tlaxcala, sobre la ruta de la carretera federal 121 (vía corta) Puebla-Santa Ana Chiautempan. Cabe considerar, en esta misma temática, la salud renal de los trabajadores alfareros de la región. Los datos presentados indican altas frecuencias (90%) de exposición a plomo y una prevalencia anormal (50%), de alteraciones en la función renal.

En el caso de las leucemias agudas, los resultados demuestran que la mayor incidencia, en población de 0-19 años, se concentra mayormente al sur de la Cuenca (meandro sur del río Atoyac, antes del espejo del embalse de la presa Valsequillo), principalmente en municipios de Puebla. Se identificaron 4 zonas en la CAA donde las tasas de incidencia y mortalidad altas coinciden espacialmente, apuntando a la existencia de un elemento ajeno que incrementa las muertes y la aparición de nuevos casos en estas regiones, y que posiblemente (probablemente) es de origen socioambiental. Lo anterior se pudo

constatar al identificar, por un lado, que el riesgo a desarrollar leucemias agudas en la Cuenca es 2 veces mayor al residir en una zona con elevada exposición potencial a metales y arsénico, y, por otro lado, al encontrar una fuerte correlación geoespacial entre los niveles más altos de estos elementos tóxicos en agua y las tasas de mortalidad más elevadas al sur de la CAA. Cabe resaltar, que los resultados obtenidos podrían implicar que estas asociaciones puedan ser inducidas también por la mezcla compleja de contaminantes que existe en la CAA, algunos de los cuales no son reportados por las industrias, pero que entidades oficiales como la CONAGUA y los Pronaii de Agua y Sistema Comunitario de Vigilancia han determinado en agua y muestras humanas, respectivamente. Dichos contaminantes, como benceno, el tricloroetileno, los bifenilos policlorados, y plaguicidas como el aldrín y el lindano son reconocidas por la Agencia Internacional de Estudios sobre el Cáncer IARC como sustancias inductoras de leucemia (leucemógenos).

En otras palabras, el haber encontrado ciertos elementos y compuestos tóxicos en los estudios presentados en este informe, no limita la posibilidad de la presencia -y exposición- de muchos más que no se evaluaron, pero que, igualmente representan riesgos a la salud humana. Mención aparte merece la exposición a mezclas, de lo cual se sabe poco en términos toxicológicos, pero que claramente es una determinante para sumar en este escenario de riesgos múltiples. Algo semejante ocurre al momento de valorar los efectos en salud de los tóxicos estudiados. Los elementos y compuestos encontrados en los habitantes de las zonas evaluadas para este primer informe son moléculas con características químicas muy diversas, pero que en general se trata de tóxicos cuyos efectos adversos en salud son ampliamente conocidos

y que no se limitan a una célula, órgano o sistema. Es decir, los tóxicos encontrados en estas personas son capaces de alcanzar diversos órganos y sistemas del cuerpo, lo que representa que hay riesgo de sufrir daños a todos los niveles: neurocognitivo, cardiovascular, inmunológico, hormonal, entre muchos otros. También es sabido que puede ocurrir el almacenamiento temporal de estas sustancias en compartimentos del cuerpo como huesos y tejido adiposo, que eventualmente se concentrarán y liberarán en el cuerpo de nueva cuenta con un alto potencial de daño en diversas etapas de la vida. Por ejemplo, durante el desarrollo embrionario o la lactancia materna ocurre la movilización de lípidos del tejido adiposo de la madre, hacia el feto o hacia el recién nacido a través de la leche materna.

El biomonitoreo que actualmente se lleva a cabo con la participación de habitantes de dos zonas en los extremos occidental y oriental de la CAA, de rasgos socioambientales distintos, muestra en sus resultados iniciales niveles de exposición elevada a cromo, cadmio, plomo, 11 bifenilos policlorados tipo dioxina y 5 plaguicidas organoclorados. Es decir, se trata de una exposición compleja a distintas sustancias entre tóxicos renales, disruptores endócrinos y leucemógenos. Además, estas personas ya muestran alteraciones en parámetros clínicos generales, posiblemente relacionados con su exposición ambiental.

El tipo de exposición compleja descrita en este documento es similar a la reportada en otras ciudades de México y el resto del mundo. Hay variantes en la composición, dependiendo del tipo de combustibles que se quemen, y dependiendo de la agrupación de industrias que se tenga, pero los grupos de compuestos químicos encontrados son muy comparables, ya que en todos estos sitios se encuentran

metales, compuestos orgánicos sintéticos, compuestos orgánicos persistentes, y los hidrocarburos generados por los energéticos, todos ellos, presentes en ríos, el aire y en el suelo (tanto urbano como agrícola). Este tipo de exposición compleja se considera la principal causa de muerte prematura en el mundo (Fuller et al., 2022).

Es urgente establecer las condiciones y las estrategias para tomar las medidas de prevención más pertinentes para atender éstas y otras enfermedades relacionadas con el deterioro ambiental y la vulnerabilidad social en esta región. Además de la implementación de sistemas de atención de calidad y vigilancia epidemiológica eficiente en aquellas zonas donde se ha identificado una elevada vulnerabilidad socioambiental, el impulso hacia una nueva manera de promover la salud, desde la participación ciudadana, requiere de un esfuerzo intersectorial de largo aliento, dirigido y bien articulado.

B) Uso de datos oficiales para generar información pertinente para toma de decisiones informadas

Los resultados de los análisis de la Renameca reportan datos de concentración en el momento y lugar de la toma de muestra. En ese sentido, y para el ejercicio de este documento, se decidió tomar el valor de la concentración máxima como un indicador de la presencia del contaminante y por lo tanto de que la exposición a dicha sustancia ha ocurrido en el espacio que influye a tal punto de muestreo. Dentro de este espacio de influencia puede o no encontrarse población humana, y esta ha sido la premisa para usar estos datos en el trabajo con los modelos geoestadísticos de correlación. Es decir, las correlaciones entre sitios contaminados, mortalidad e incidencia (en su caso) son principalmente cualitativas y atendiendo al principio precautorio, ya que son las que se requieren para tomar decisiones en materia de política pública, tanto para la atención de la salud como para la regulación de las actividades contaminantes. Si bien, es necesario un análisis más detallado cuantitativamente para diagnosticar el comportamiento hidrológico para soportar acciones más específicas en materia de remediación y restauración del sistema fluvial, los datos de este documento dotan de un insumo pertinente para iniciar acciones de manera inmediata y en paralelo seguir con la generación información complementaria.

La geolocalización de las empresas que reportan al RETC es una referencia espacial de las fuentes reguladas a nivel federal, técnicamente, las fuentes más contaminantes de manera individual. Esta información ha sido muy valiosa para modelar el espacio geográfico de influencia de los grandes generadores de contaminantes y, en combinación con la información de la Renameca, distinguir los espacios de atención prioritaria en materia regulatoria. Sin embargo, interpretando el escenario descrito por los resultados oficiales de la Renameca -y como ya ha sido ya ampliamente discutido en este documento-, es claro que el panorama de las fuentes de emisión es mucho más de lo que deja ver el RETC. Por ello, es necesario enfatizar que se requiere incrementar el nivel de exigencia de la normatividad para el reporte de sustancias tóxicas por parte de las clases de actividad económica que declaran tanto a la autoridad ambiental federal como a la local, particularmente en lo que concierne a todos los compuestos orgánicos, cuya importancia en la generación de las enfermedades que nos ocupan se ha venido entendiendo con claridad en la última década (Montero et al., 2018).

El análisis crítico realizado a las tres bases de datos oficiales: RETC, REAMECA e INEGI, ha dado información relevante en la reconstrucción de una parte fundamental del escenario cualitativo de exposición que afecta a la CAA. Estos, aunados con los datos sobre el incremento de enfermedades crónicas no transmisibles, particularmente de los dos grupos de padecimientos elegidos como centinelas, la ERC y las leucemias, deben pesar en la toma de decisiones para aplicar el Principio Precautorio con el fin de proteger la salud de los habitantes de esta región, considerando además, que se tiene información sobre el incremento de otros padecimientos que afectan la calidad de vida y la esperanza de vida, como son los padecimientos cardiovasculares en edades tempranas.

C) ¿Qué nos dice realmente el río?

El río es, actualmente, un testigo de la contaminación que ocurre en la Cuenca y no sólo una fuente de exposición. Es decir, los resultados de los análisis reportados por la Renameca son un reflejo de lo que se descarga directamente en sus aguas, pero también de todo aquello depositado en el suelo de los espacios industriales, urbanos, agropecuarios o forestales y que es arrastrado por la escorrentía o percolado hacia los tributarios y que, eventualmente, pasa por un punto de muestreo. Otro tanto puede decirse que ocurre con la deposición atmosférica, principalmente de contaminantes particulados, y cuyas fuentes pueden ser los propios depósitos en el suelo, pero también las emisiones directas a la atmósfera. Esto es importante mencionarlo porque el río, además, debería tener una capacidad de asimilación y dilución, que solo al rebasarse permitiría la detección de ciertas sustancias como las reportadas por la Renameca, especialmente si su presencia se confirma en más de un sitio y fecha de muestreo. En otras palabras, en los datos oficiales analizados, se ha detectado constantemente (en distintos semestres y años) un gran cóctel de sustancias sintéticas de uso industrial en muy diversos sitios a lo largo del río e incluso en lugares donde ni siquiera existe algún tipo de conectividad hidráulica (como el río Zahuapan), lo que significa que actualmente la capacidad de asimilación ha sido rebasada. En este sentido, la presencia de un contaminante en el río es parte de la reconstrucción de un escenario de exposición (múltiple) en la Cuenca y no solamente una magnitud de la contaminación que logró llegar a sus aguas por las descargas directas.

Asimismo, la contaminación que afecta al río, igual afecta al aire y a los suelos, ya que el ambiente no es inerte y el intercambio entre estas tres matrices es un evento continuo que el tomador de decisiones debe considerar.

D) Conclusión

El ejercicio plasmado en el cuerpo principal de este documento se ha cimentado en acercarse al entendimiento de la dinámica de procesos que ocurren a una escala regional –es decir, en una escala más allá de lo local en términos espaciales, pero también temporales– ya que los fenómenos analizados –como la contaminación ambiental, la ERC y las leucemias– requieren que el diagnóstico situacional se enfoque en identificar los hilos que los entrelazan causalmente. Desde el desgaste progresivo de la calidad ambiental hasta la dinámica social y económica que lo ha promovido y

que ha desatendido la salud preventiva, usar un lente a escala regional nos permitirá también indagar sobre el derrotero que han seguido otras enfermedades y de la inercia de deterioro en términos socio ecosistémicos, incluso hacia otras regiones del país. Esta visión es necesaria también para el entendimiento sistémico de la problemática, para evitar pretender reducir la solución a la instalación de drenajes y plantas de tratamiento de aguas residuales, o la de clínicas de diálisis, esperando resultados inmediatos, efectivos y de largo plazo. Identificar este derrotero es urgente para anticipar y mitigar los daños que se esperan y redirigir la política de planeación regional hacia una ruta integral y justa en términos ambientales y sociales, que permita un desarrollo económico razonable, que no agote los recursos más elementales para la vida, como el agua y el aire, y que no ponga en riesgo la salud de las poblaciones. Para esto, es imprescindible que este esfuerzo de comprensión se tome en cuenta para la política pública de la CAA y que se siga nutriendo, dirigida y articuladamente, de información y de acciones, y crezca con

todo el compromiso científico, intersecretarial (político) y, sobre todo, con la acción comunitaria de los pobladores de esta región.

Finalmente, para garantizar que este esfuerzo logre trascender la realidad actual y derive en una política de planeación ad hoc, la Semarnat, la Secretaría de Salud y Conahcyt, además de las autoridades estatales y locales correspondientes, deben integrar una estrategia de seguimiento permanente de la mano con las comunidades, e incidir no solo en la atención de la contingencia de salud pública y ambiental, sino en establecer estrategias y acciones dirigidas a eliminar las causas de fondo, priorizando la observancia, actualización o adecuación de las normas existentes, procurando así la reapropiación de la salud humana y ambiental. Subrayamos la observancia de las normas porque es la base para que se cumpla la protección al ambiente; nadie debe estar por encima del cumplimiento de estas normas que integran el convenio social en que todos nos desenvolvemos, incluidas las empresas, tanto nacionales como extranjeras.



8. REFERENCIAS





8. REFERENCIAS

- Afsar, B., Elsurur, R., Kanbay, A., Covic, A., Ortiz, A. y Kanbay, M. (2019). Air pollution and kidney disease: review of current evidence. *Clinical Kidney Journal*, 12(1), 19–32. <https://doi.org/10.1093/ckj/sfy111>
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades ([ATSDR] 2023). *ATSDR en Español*. <https://www.atsdr.cdc.gov/es/index.html>
- Agudelo-Botero, M., Valdez-Ortiz, R., Giraldo-Rodríguez, L., González-Robledo, M.C., Mino-León, D., Rosales-Herrera, M. F., Cahuana-Hurtado, L., Rojas-Russell, M.E. y Dávila-Cervantes, C.A. (2020). Overview of the burden of chronic kidney disease in Mexico: secondary data analysis based on the Global Burden of Disease Study 2017. *BMJ Open*, 10(3), e035285. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-035285>
- Andrassy, K. M. (2013). Comments on 'KDIGO 2012 clinical practice guideline for the evaluation and management of chronic kidney disease' (2013). *Kidney International*, 3(1), 1–150. <https://doi.org/10.1038/ki.2013.243>
- Anselin, L. (10 de octubre de 2020). *Local Spatial Autocorrelation* (2). GeoDa. An Introduction to Spatial Data Science. https://geodacenter.github.io/workbook/6b_local_adv/lab6b.html
- Arellano-Aguilar, O., Solis-Angeles, S., Serrano-García, L., Morales-Sierra, E., Méndez-Serrano, A. y Montero-Montoya, R. (2015). Use of the zebrafish embryo toxicity test for risk assessment purpose: case study. *Journal of Fisheries Sciences.com*, 9(4), 52.
- Atlas Nacional de los Pueblos Indígenas (2015). *Pueblos indígenas*. <http://atlas.inpi.gob.mx/pueblos-indigenas/>
- Buha Djordjevic, A., Milovanovic, V., Curcic, M., Antonijevic Miljakovic, E., Bulat, Z., Djukic-Cosic, D., Jankovic, S., Vučinić, S., Hayes, A.W. y Antonijevic, B. (2023). New insight into the perplexing toxic features of PCBs: A study of nephrotoxicity in an animal model. *Environmental Research*, 217, 114829. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114829>
- Bunei, M., Muturi, P., Otiato, F., Njuguna, H. N., Emukule, G. O., Otieno, N. A., Dawa, J. y Chaves, S.S. (2019). Factors influencing acceptance of post-mortem examination of children at a tertiary care hospital in Nairobi, Kenya. *Annals of Global Health*, 85(1). <https://doi.org/10.5334/aogh.2504>

- Cárdenas-González, M., Osorio-Yáñez, C., Gaspar-Ramírez, O., Pavković, M., Ochoa-Martínez, A., López-Ventura, D., Medeiros, M., Barbier, O. C., Pérez-Maldonado, I. N., Sabbisetti, V. S., Bonventre, J. V. y Vaidya, V. S. (2016). Environmental exposure to arsenic and chromium in children is associated with kidney injury molecule-1. *Environmental Research*, 150, 653–662. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.06.032>.
- Casiano Flores, C., y Bressers, H. (2015). Changes without Changes: The Puebla's Alto Atoyac sub-basin case in Mexico. *Water Governance*, 2015(1-2), 12-16.
- Casian Flores, C., Vikolainen, V. y Bressers, H. (2016). Water Governance Decentralisation and River Basin Management Reforms in Hierarchical Systems: Do They Work for Water Treatment Policy in Mexico's Tlaxcala Atoyac Sub-Basin? *Water*, 8(5), 210. <https://doi.org/10.3390/w8050210>
- Castresana, G. P., Roldán, E. C., García Suastegui, W. A., Morán Perales, J. L., Cruz Montalvo, A. y Silva, A. H. (2019). Evaluation of Health Risks due to Heavy Metals in a Rural Population Exposed to Atoyac River Pollution in Puebla, Mexico. *Water*, 11(2), 277. <https://doi.org/10.3390/w11020277>
- Castro-González, N. P., Calderón-Sánchez, F., Castro de Jesús, J., Moreno-Rojas, R., Tamariz-Flores, J. V., Pérez-Sato, M. y Soní-Guillermo, E. (2018). Heavy metals in cow's milk and cheese produced in areas irrigated with waste water in Puebla, Mexico. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 11(1), 33-36.
- Castro-González, N. P., Calderón-Sánchez, F., Moreno-Rojas, R., Tamariz-Flores, J. V. y Reyes-Cervantes, E. (2019). Nivel de contaminación de metales y arsénico en aguas residuales y suelos en la subcuenca del Alto Balsas en Tlaxcala y Puebla, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(2), 335-348.
- Centro Fray Julián Garcés (2019). *Propuesta comunitaria para el saneamiento integral de la Cuenca Atoyac-Zahuapan y la reparación del daño a las comunidades*. <https://www.centrofrayjuliangarcés.org.mx/wp-content/uploads/2019/11/Propuesta-comunitaria-27-10-17.pdf>
- Comisión Nacional del Agua ([Conagua] 2022). *Calidad del agua en México*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social ([Coneval] 2019). Metodología de medición multidimensional de la pobreza. *En Metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México*, (3ª ed.) Coneval. <https://www.coneval.org.mx/InformesPublicaciones/InformesPublicaciones/Documents/Metodologia-medicion-multidimensional-3er-edicion.pdf>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social ([Coneval] 2020). *Medición de la pobreza, 2016-2020*. https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Pobreza_2020.aspx

- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social ([Coneval] 5 de agosto de 2021a). *Medición multidimensional de la pobreza en México 2018-2020*. https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Documents/MMP_2018_2020/Pobreza_multidimensional_2018_2020_CONEVAL.pdf%0Ahttps://www.coneval.org.mx/Informes/Coordinacion/Publicacionesoficiales/FOLLETO_MEDICION_MULTIDIMENSIONAL.pdf
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social ([Coneval] 5 de agosto de 2021b). *Nota técnica sobre el ingreso en el espacio del bienestar económico, 2018-2020*. https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Documents/MMP_2018_2020/Notas_pobreza_2020/Nota_tecnica_bienestar_economico_2018_2020.pdf
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social ([Coneval] 5 de agosto de 2021c). *Nota técnica sobre el rezago educativo, 2018-2020*. https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Documents/MMP_2018_2020/Notas_pobreza_2020/Nota_tecnica_sobre_el_rezago%20educativo_2018_2020.pdf
- Consejo Nacional de Población ([Conapo] 2010). *Índice absoluto de marginación 2000-2010*. <http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Resource/1755/1/images/01Capitulo.pdf>
- Cortés-Valencia, A., Ortiz-Rodríguez, S., Balderas-Arteaga, N., Catzin-Kuhlmann, A., Correa-Rotter, R., González-Villalpando, C., Jiménez-Corona, A., López-Ridaura, R., Mejía, M., Salmerón, J., Tamayo, J., Lajous, M. y Denova Gutiérrez, E. (2022). The Mexican Consortium of Epidemiological Studies for the Prevention, Diagnosis, and Treatment of Chronic Kidney Disease: a review of collaborating studies. *Salud Pública de México*, 64(4), 434–442. <https://doi.org/10.21149/13101>
- De la Luz Degante, M. (16 de marzo de 2021). La mayoría de rellenos sanitarios del estado sólo tienen tres años de vida útil: CGE. *La Jornada de Oriente*. <https://www.lajornadadeoriente.com.mx/tlaxcala/rellenos-sanitarios-tres-anos-util/DENUE>
- Diario Oficial de la Federación ([DOF] 1 de junio de 1998). Decreto para el fomento y operación de la industria maquiladora de exportación. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4880755&fecha=01/06/1998#gsc.tab=0
- Diario Oficial de la Federación ([DOF] 6 de julio de 2011). Declaratoria de Clasificación de la Calidad del Agua para los ríos Atoyac y Xochiac. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5199672&fecha=06/07/2011#gsc.tab=0
- Diario Oficial de la Federación ([DOF] 24 de enero de 2014). Norma Oficial Mexicana NOM-165-Semarnat-2013, Que establece la lista de sustancias sujetas a reporte para el registro de emisiones y transferencia de contaminantes. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5330750&fecha=24/01/2014#gsc.tab=0

Directorio Automotriz (2023). *Página principal*. <https://www.directorioautomotriz.com.mx/>

Ferenbach, D. A. y Bonventre, J. V. (2015). Mechanisms of maladaptive repair after AKI leading to accelerated kidney ageing and CKD. *Nature Reviews Nephrology*, 11(5), 264–276. <https://doi.org/10.1038/nrneph.2015.3>

Flores-López, G., Méndez-Hernández, P., Cuacenetl-Jiménez, J. J. R., E. Rojas-Lima, Nava-Cruz, C. B., Mauricio-García, J. F. y Cruz-Angulo, M. D. C. (2015). Riesgos ambientales y alimentarios en niños y adolescentes con diagnóstico de leucemia en Tlaxcala. *Salud Quintana Roo*, 8(31), 12-16.

Fuller, R., Landrigan, P. J., Balakrishnan, K., Bathan, G., Bose-O'Reilly, S., Brauer, M., Caravanos, J., Chiles, T., Cohen, A., Corra, L., Cropper, M., Ferraro, G., Hanna, J., Hanrahan, D., Hu, H., Hunter, D., Janata, G., Kupka, R., Lanphear, B., Lichtveld, M., ... Yan, C. (2022). Pollution and health: a progress update. *The Lancet Planetary Health*, 6(6), e535–e547. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00090-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00090-0)

Gamboa-Ojeda, L., y Santibañez, L. (1994). Tropiezos y logros de la metalurgia en el XIX. La fundición de Panzacola, Tlaxcala. *Revista de Estudios Históricos*, 19, 5-28.

García-Nieto, E., Juárez-Santacruz, L., Ortiz-Ortiz, E., Luna-Zendejas, H. S., Frías-Márquez, D. M., Muñoz-Nava, H. y Romo-Gómez, C. (2019). Ecotoxicological assessment of sediment from Texcalac River and agricultural soil of riverside area, in Tlaxcala, Mexico. *Chemistry and Ecology*, 35(4), 300-318.

Getis, A., y Ord, J. K. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis*, 24, 189–206.

Gobierno del estado de Puebla (2020). *Página principal*. <https://puebla.gob.mx/>

Gutiérrez-Álvarez, C. (2000). *Experiencias contrastadas: industrialización y conflictos en los textiles del centro-oriente de México, 1884-1917*. El Colegio de México/BUAP.

Hajat, A., Hsia, C. y O'Neill, M. S. (2015). Socioeconomic Disparities and Air Pollution Exposure: a Global Review. *Current Environmental Health Reports*, 2(4), 440–450. <https://doi.org/10.1007/s40572-015-0069-5>

Hernández García, M. G. (2019). Las organizaciones locales frente al riesgo socioambiental en la Cuenca del Alto Atoyac, Tlaxcala-Puebla. *Textual* 74, 185-227. <https://doi.org/10.5154/r.textual.2018.74.04>

Hernandez-Ramirez, A. G., Martinez-Tavera, E., Rodriguez-Espinosa, P. F., Mendoza-Pérez, J. A., Tabla-Hernandez, J., Escobedo-Urías, D. C., Jonathan, M. P. y Sujitha, S. B. (2019). Detection, provenance and associated environmental

- risks of water quality pollutants during anomaly events in River Atoyac, Central Mexico: A real-time monitoring approach. *The Science of the Total Environment*, 669, 1019–1032. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.138>
- Ibañez Gonzalez, L. A. (2012). La evolución de las fábricas textiles de Puebla en el corredor Atoyac. *Boletín De Monumentos Históricos*, 25, 37–56. <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/boletinmonumentos/article/view/2191>
- Institute for Health Metrics and Evaluation ([IHME] 2023). *GBD Compare*. <http://vizhub.healthdata.org/gbd-compare>
- Institute of Medicine (2001). *Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/10026>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía ([INEGI] 2020). Censo de población y vivienda 2020. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Datos_abiertos
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía ([INEGI] 2021a). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía ([INEGI] 2021b). *Mortalidad*. <https://www.inegi.org.mx/temas/mortalidad/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía ([INEGI] 27 de febrero de 2023). *Estadística de defunciones registradas (EDR). Enero a septiembre de 2022 (Preliminar)* [Comunicado de Prensa]. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/EDR/EDR2022_3t.pdf
- Instituto Nacional de Salud Pública ([INSP] 2018). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018. Presentación de resultados*. https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut_2018_presentacion_resultados.pdf
- Instituto Nacional de Salud Pública ([INSP] 2022). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2021 sobre Covid-19. Resultados nacionales. México*. https://www.insp.mx/resources/images/stories/2022/docs/220804_Ensa21_digital_4ago.pdf
- Kabir, E., S. Ray, Kim, K. H., Yoon, H. O., Jeon, E. C., Kim, Y. S., Cho, Y. S., Yun, S. T. y Brown, R. J. (2012). Current status of trace metal pollution in soils affected by industrial activities. *The Scientific World Journal*, 2012, 916705. <https://doi.org/10.1100/2012/916705>
- Karalexi, M. A., Tagkas, C. F., Markozannes, G., Tseretopoulou, X., Hernández, A. F., Schüz, T. I., Halldorsson, J., Psaltopoulou, T., Petridou, E. T., Tzoulaki, I. y Ntzani, E. E. (2021). Exposure to pesticides and childhood leukemia risk: A systematic review

and meta-analysis. *Environmental Pollution*, 285, 117376. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117376>

Khashoggi, B. F. y Murad, A. (2020). Issues of healthcare planning and GIS: A review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/ijgi9060352>

Kovesdy C. P. (2022). Epidemiology of chronic kidney disease: an update 2022. *Kidney International Supplements*, 12(1), 7–11. <https://doi.org/10.1016/j.kisu.2021.11.003>

Landrigan, P. J., Fuller, R., Acosta, N. J. R., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N. N., Baldé, A. B., Bertollini, R., Bose-O'Reilly, S., Boufford, J. I., Breysse, P. N., Chiles, T., Mahidol, C., Coll-Seck, A.M., Cropper, M. L., Fobil, J., Fuster, V., Greenstone, M., Haines, A., Hanrahan, D., ... Zhong, M. (2018). The Lancet Commission on pollution and health. *Lancet*, 391(10119), 462–512. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0)

Landrigan, P. J., H. Raps, M. Cropper, C. Bald, M. Brunner, E.M. Canonizado, D. Charles, T.C. Chiles, M.J. Donohue, J. Enck, P. Fenichel, L.E. Fleming, C. Ferrier-Pages, R. Fordham, A. Gozt, C. Griffin, M.E. Hahn, B. Haryanto, R. Hixson... S. Dunlop (2023). The Minderoo-Monaco Commission on Plastics and Human Health. *Annals of Global Health*, 89(1), [23]. <https://doi.org/10.5334/aogh.4056>

Lazcano-Ponce, E., y Alpuche-Aranda, C. (2020) Alfabetización en salud pública ante la emergencia de la pandemia por covid-19. *Salud Publica de México*, 62(3), 331-340. <https://doi.org/10.21149/11408>

Lee, K. S., Min, W. K., Choi, Y. J., Jin, S., Park, K. H., y Kim, S. (2023). The Effect of Maternal Exposure to Air Pollutants and Heavy Metals during Pregnancy on the Risk of Neurological Disorders Using the National Health Insurance Claims Data of South Korea. *Medicina*, 59(5), 951. <https://doi.org/10.3390/medicina59050951>

Lopes, H., y McKay, V. (2020). Adult learning and education as a tool to contain pandemics: The COVID-19 experience. *International Review of Education*, 66(4), 575–602. <https://doi.org/10.1007/s11159-020-09843-0>

Luyckx, V. A., Cherney, D. Z. I. y Bello, A. K. (2019). Preventing CKD in Developed Countries. *Kidney International Reports*, 5(3), 263–277. <https://doi.org/10.1016/j.ekir.2019.12.003>

Martínez Vázquez, F. (2006). *El carnaval como forma de diferenciación social en San Nicolás de Bari, Panotla, Tlaxcala* [Tesis de Maestría], Universidad Iberoamericana Ciudad de México.

Montero-Montoya, R., Serrano, L., Araujo, A., Dávila, V., Ponce, J., Camacho, R., Morales, E. y Méndez, A. (2006). Increased cytogenetic damage in a zone in transition from agricultural to industrial use: Comprehensive analysis of the micronucleus test in peripheral blood lymphocytes. *Mutagenesis*, 21(5), 335–342. <https://doi.org/10.1093/mutage/gel040>

- Montero-Montoya, R., López-Vargas, R. y Arellano-Aguilar, O. (2018). Volatile Organic Compounds in Air: Sources, Distribution, Exposure and Associated Illnesses in Children. *Annals of Global Health*, 84(2), 225–238. <https://doi.org/10.29024/aogh.910>
- Montero-Montoya, R., López-Vargas, R., Méndez-Serrano, A., Galicia-Alonso, I., García-Vargas, G., Serrano-García, L., Beltrán-Portugal, R., Rosado-Zaidi, S., Albores-Medina, A., Oropeza-Hernández, L., Hernández-Cadena, L., Mercado-Calderón, F., Alvarado-Toledo, E., Herrera-Morales, S. y Arellano-Aguilar, O. (2020). Increased micronucleus frequencies in reticulocytes of children exposed to industrial pollution: oxidative stress and the OGG1 S326C polymorphism. *Mutation Research–Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 853, 503170. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2020.503170>
- Mora, A., García-Gamboa, M., Sánchez-Luna, M. S., Gloria-García, L., Cervantes-Avilés, P. y Mahlkecht, J. (2021). A review of the current environmental status and human health implications of one of the most polluted rivers of Mexico: The Atoyac River, Puebla. *The Science of the Total Environment*, 782, 146788. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146788>
- Morales-García, S. S., Martínez-Tavera, E., Rodríguez-Espinosa, P. F., Shruti, V. C., Sujitha, S. B. y Muñoz-Sevilla, N. P. (2017). Monitoring the seasonal dynamics of physico-chemical parameters from Atoyac River basin (Puebla), Central Mexico: multivariate approach. *Environmental Earth Sciences*, 76(2), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6406-2>
- Mundo-Rosas, V., Shamah-Levy, T. y Rivera-Dommarco, J. A. (2013). Epidemiología de la inseguridad alimentaria en México. *Salud Pública de México*, 55(1), S206–S213. https://www.scielo.org/scielo.php?pid=S0036-36342013000800018&script=sci_arttext&lng=pt
- Navarro González, I. (2007). *Evaluación de los riesgos potenciales de cáncer de los triahlometanos en el suministro de agua en las comunidades rurales mexicanas* [Ponencia]. Simposio Internacional sobre Nuevas Direcciones en la Gestión del Agua Urbana. París, Francia.
- Ng, M. S. Y., Charu, V., Johnson, D. W., O'Shaughnessy, M. M. y Mallett, A. J. (2022). National and international kidney failure registries: characteristics, commonalities, and contrasts. *Kidney International*, 101(1), 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.kint.2021.09.024>
- Nicholas, S. B., K. Kalantar-Zadeh y K. C. Norris (2015). Socioeconomic disparities in chronic kidney disease. *Advances in Chronic Kidney Disease*, 22(1), 6–15. <https://doi.org/10.1053/j.ackd.2014.07.002>
- NOM-001-Semarnat (2021). Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. *Diario Oficial de la Federación*. El 11 marzo 2022. México.

NOM-127-SSA1-1994 (Mod 2000). Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salud. *Diario Oficial de la Federación* el 22 noviembre 2000. México.

Onyije, F. M. (2022). Environmental Risk Factors for Childhood Acute Lymphoblastic Leukemia: An Umbrella Review. *Cancers*, 14(2), 382. <https://doi.org/10.3390/cancers14020382>

Organización Mundial de la Salud ([OMS] 2023). *Brote de enfermedad por coronavirus (COVID-19)*. <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019>

Orr, S. E., y Bridges C .C. (2017). Chronic Kidney Disease and Exposure to Nephrotoxic Metals. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(5), 1039. <https://doi.org/10.3390/ijms18051039>

Ortega-Romero, M., Méndez-Hernández, P., Cruz-Angulo, M. D. C., Hernández-Sánchez, A. M., Álvarez-Elías, A. C., Muñoz-Arizpe, R., Sales-Heredía, F., Aguilar-Madrid, G., Juárez-Pérez, C. A., Soto, V. , Valadés, T., Olvera-Rivas, N., Obrador-Vera, G. T., Barbier O. C. y Medeiros, M. (2019). Chronic Kidney Disease in Children Aged 6-15 Years and Associated Risk Factors in Apizaco, Tlaxcala, Mexico, a Pilot Study. *Nephron*, 143(4), 264–273. <https://doi.org/10.1159/000502481>

Ortega-Romero, M., Jiménez-Córdova, M. I., Barrera-Hernández, A., Sepúlveda-González, M. E., Narvaez-Morales, J., Aguilar-Madrid, G., Juárez-Pérez, C. A., Del Razo, L. M., Cruz-Angulo, M. D. C., Méndez-Hernández, P., Medeiros, M. y Barbier, O. C. (2023). Relationship between urinary biomarkers of early kidney damage and exposure to inorganic toxins in a pediatric population of Apizaco, Tlaxcala, Mexico. *Journal of Nephrology*, 36(5), 1383–1393. <https://doi.org/10.1007/s40620-023-01598-9>

Palarea-Albaladejo, J. y Martín-Fernández, J. A. (2015). ZCompositions - R package for multivariate imputation of left-censored data under a compositional approach. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 143, 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2015.02.019>

Paleta-Pérez, G. (2017). *Conformación histórico-territorial y productiva en la segunda mitad del siglo XIX en Nativitas, Tlaxcala. La construcción en el tiempo de un territorio rural*. Instituto de Investigaciones Antropológicas-UNAM.

Pan American Health Organization ([PAHO] 2021). *Leading causes of death, and disability*. <https://www.paho.org/en/enlace/leading-causes-death-and-disability>

Park, A. S., Ritz, B., Yu, F., Cockburn, M. y Heck, J. E. (2020). Prenatal pesticide exposure and childhood leukemia - A California statewide case-control study. *International*

Journal of Hygiene and Environmental Health, 226(113486). <https://doi.org/10.1016/j.jjheh.2020.113486>

Pérez Castresana, G., Tamariz Flores, V., López Reyes, L., Hernández Aldana, F., Castelán Vega, R., Morán Perales, J., García Suastegui, W., Díaz Fonseca, A. y Handal A. (2018). Atoyac River Pollution in the Metropolitan Area of Puebla, México. *Water*, 10(3), 267. <https://doi.org/10.3390/w10030267>

Pries, L. (2000). Reestructuración productiva y estrategias de aprovisionamiento: el caso de la Volkswagen de México en la región de Puebla. *Región y sociedad*, 12(19), 161-179. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252000000100005&lng=es&tlng=es

Programa de Acciones de Saneamiento ([PAS] 2023). *Página principal*. <https://pas.gob.mx/>

PubChem. (s.f.). *Explore Chemistry*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>

Ramírez Varela, A., y López Santos, J. D. (2018). ¡Luchamos por un Atoyac con Vida! La lucha contra la contaminación del Río Atoyac y los daños a la salud que origina en el sur de Tlaxcala, México. *Bajo el Volcán*, 18(28), 95-108.

Rasking, L., Vanbrabant, K., Bové, H., Plusquin, M., De Vusser, K., Roels, H. A. y Nawrot, T. S. (2022). Adverse Effects of fine particulate matter on human kidney functioning: a systematic review. *Environmental Health: a Global Access Science Source*, 21(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s12940-021-00827-7>

Rodríguez-Espinosa, P. F., Shruti, V. C., Jonathan, M. P. y Martínez-Tavera, E. (2018). Metal concentrations and their potential ecological risks in fluvial sediments of Atoyac River basin, Central Mexico: Volcanic and anthropogenic influences. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 1020-1033. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.068>

Rodríguez-Tapia, L., y Morales-Novelo, J. A. (2017). Bacterial Pollution in River Waters and Gastrointestinal Diseases. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(5), 479. <https://doi.org/10.3390/ijerph14050479>

Saydah, S. H., Xie, H., Imperatore, G., Burrows, N. R. y Pavkov, M. E. (2018). Trends in Albuminuria and GFR Among Adolescents in the United States, 1988-2014. *American Journal of Kidney Diseases*, 72(5), 644-652. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2018.04.021>

Shruti, V. C., Jonathan, M. P., Rodríguez-Espinosa, P. F. y Rodríguez-González, F. (2019). Microplastics in freshwater sediments of Atoyac River basin, Puebla City, Mexico. *The Science of the Total Environment*, 654, 154-163. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.054>

Stekhoven, D. J., y Bühlmann, P. (2012). Missforest-Non-parametric missing value imputation for mixed-type data. *Bioinformatics*, 28(1), 112-118. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btr597>

- Stern-Zimmer, M., Calderon-Margalit, R., Skorecki, K. y Vivante, A. (2021). Childhood risk factors for adulthood chronic kidney disease. *Pediatric Nephrology*, 36(6), 1387–1396. <https://doi.org/10.1007/s00467-020-04611-6>
- T3BD (s.f.). Browsing Toxin. <http://www.t3db.ca/toxins/>
- Tsai, H. J., Wu, P. Y., Huang, J. C. y Chen, S. C. (2021). Environmental Pollution and Chronic Kidney Disease. *International Journal of Medical Sciences*, 18(5), 1121–1129. <https://doi.org/10.7150/ijms.51594>
- U.S. Department of Health and Human Services (2005). *The Fourth Report on the Diagnosis, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure in Children and Adolescents*. National Institute of Health.
- Velasco-Santos, P. (2015). Repensando el pasado agrícola para entender el presente rural. En H. Salas Quintanal y M. L. Rivermar (Eds.), *Nativitas, Tlaxcala. La construcción en el tiempo de un territorio rural*. Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades-BUAP.
- Whitehead, T. P., Crispo Smith, S., Park, J.-S., Petreas, M. X., Rappaport, S. M. y Metayer, C. (2015). Concentrations of persistent organic pollutants in California children's whole blood and residential dust. *Environmental Science & Technology*, 49(15), 9331–9340. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02078>
- World Health Organization (WHO) (2021). *The public health impact of chemicals: knowns and unknowns. Data addendum for 2019*. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-HEP-ECH-EHD-21.01>
- Wu, Y.-H., Lin, J.-C., Wang, T.-Y., Lin, T.-J., Yen, M.-C., Liu, Y.-H., Wu, P.-L., Chen, F.-W., Shih, Y.-L. y Yeh, I.-J. (2020). Hexavalent chromium intoxication induces intrinsic and extrinsic apoptosis in human renal cells. *Molecular Medicine Reports*, 21(2), 851–857. <https://doi.org/10.3892/mmr.2019.10885>
- Zamora Almazán, M. J. (2019). Factores de vulnerabilidad socioambiental en relación con fuentes de contaminación en Puebla- Tlaxcala. [Tesis de Maestría], Universidad Nacional Autónoma de México. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3489952>.
- Zhao, J., Zhang, Y., Qiu, J., Zhang, X., Wei, F., Feng, J., Chen, C., Zhang, K., Feng, S. y Li, W. D. (2022). An early prediction model for chronic kidney disease. *Scientific Reports*, 12(1), 2765. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06665-y>
- Zhou, Y., Zhang, S., Li, Z., Zhu, J., Bi, Y., Bai, Y. y Wang, H. (2014). Maternal benzene exposure during pregnancy and risk of childhood acute lymphoblastic leukemia: a meta-analysis of epidemiologic studies. *PloS One*, 9(10), e110466. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110466>

FIGURAS

NÚM. DE FIGURA	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Figura I	Delimitación geográfica de la CAA y geolocalización de los sectores económicos por tipo de actividad y tamaño de la empresa.	16
Figura II	Análisis de datos del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes de agua, alcantarillado, suelo y aire (sin incluir CO ₂ , y otros gases de efecto Invernadero) en el periodo 2004- 2021.....	18
Figura III	Resultados del análisis de autocorrelación geoespacial entre indicadores de contaminación detectados en el río y las tasas de mortalidad por Enfermedad Renal Crónica (a) y de leucemia (b).	22
Figura 1	Delimitación de la Cuenca del Alto Atoyac y su red fluvial en los estados de Puebla y Tlaxcala	34
Figura 2	Población total y distribución de la población por grupos de edad en los municipios dentro de la CAA (INEGI, 2020)	42
Figura 3	Porcentaje de la población mayor a 12 años de la región de la CAA: a) no afiliada a servicios de salud, b) que labora en sector primario, c) que labora en sector terciario, d) en hogares indígenas, e) que labora en sector secundario	43
Figura 4	Hitos del desarrollo industrial en la CAA durante la segunda mitad de los siglos XX y XXI	45
Figura 5	Presentación de avances de investigación del Pronaii "Reapropiación socioambiental para el manejo integral y comunitario de la cuenca Atoyac-Zahuapan" del Pronaces Agua (Ocotlán, Tlaxcala, 2023)	48
Figura 6	Diagrama hidráulico de la CAA y su área de influencia.....	50
Figura 7	Hidrología de la CAA y su área de influencia	51
Figura 8	Distribución de las localidades en la CAA y su área de influencia	52

Figura 9	Emisiones de bióxido de carbono al aire de cada sector económico por zona.....	55
Figura 10	Emisiones contaminantes al aire reportadas al RETC (excepto GEI) de cada sector económico por zona	55
Figura 11	Emisiones contaminantes al agua reportadas al RETC de cada sector económico por zona	56
Figura 12	Emisiones contaminantes al suelo reportadas al RETC de cada sector económico por zona.....	57
Figura 13	Tasas de mortalidad por ERC en los años 1990, 2000, 2010 y 2019, para todas las edades, ambos sexos, en cada una de las entidades de México.....	62
Figura 14	Tasas de mortalidad por ERC en los años 1990, 2000, 2010 y 2019, en el grupo de edad de 15 a 49 años, ambos sexos, en cada una de las entidades de México.....	62
Figura 15	Comparativo de la tasa de mortalidad ajustada y razón estandarizada de mortalidad por insuficiencia renal crónica (CIE-N18 y N19-X) en la población de 10 a 19 años, en el periodo 2019-2021	65
Figura 16a	Tasas de mortalidad por: a) leucemia linfoblástica aguda y b) ERC por grupo etario (2000-2019)	65
Figura 16b	Tasas de mortalidad por ERC por grupo etario (2000-2019)	66
Figura 17	Proyección al 2030 de las tasas de mortalidad por ECNT en la población de la CAA (modelos ARIMA).....	68
Figura 18	Indicador para la medición de pobreza multidimensional en la población participante	81
Figura 19	Pronóstico de ERC según las categorías de eGFR y de albuminuria	83
Figura 20	Porcentajes de la población que sobrepasa los niveles de referencia (guinda) para 9 elementos químicos con conocidos efectos tóxicos (arsénico y metales).....	84
Figura 21	Porcentajes de la población con niveles de plaguicidas en orina superiores al límite de detección (LDD)	84
Figura 22	Asociación entre la tasa de filtración glomerular, albuminuria y los marcadores de daño renal temprano con la exposición a metales, arsénico y fluoruro	89

Figura 23	Asociación entre la tasa de filtración glomerular, albuminuria y los marcadores de daño renal temprano con la exposición a plaguicidas90
Figura 24	Mapa representativo de la distribución geoespacial de las personas con alteraciones renales subclínicas, con respecto a la distribución de conocidos tóxicos renales en el aire en la CAA91
Figura 25	Porcentajes de personas que viven en condición de pobreza según la medición multidimensional de CONEVAL 2020, nacional y por entidad federativa93
Figura 26	Municipios con la mayor tasa de incidencia por leucemias agudas en menores de 20 años para el periodo 2021-2022.....94
Figura 27	Características sociodemográficas, ambientales y clínicas de la población participante para el análisis de casos y controles.....96
Figura 28	Resultados del análisis de regresión logística en donde la variable dependiente es desarrollar leucemias agudas o algún subtipo de leucemia y el factor de exposición es ser residente de los municipios que conforman la zona de alta exposición potencial a mezclas complejas de metales tóxicos y arsénico97
Figura 29	Tasa de mortalidad (regionalizada) por ERC, todas las edades, ambos sexos, en el periodo 2010-2019100
Figura 30	Tasa de mortalidad (regionalizada) por ERC en población de 15 a 49 años, ambos sexos, en el periodo 2010-2019100
Figura 31	Tasa de mortalidad (regionalizada) por ERC en población de 15 a 49 años, hombres, en el periodo 2010-2019.....100
Figura 32	Tasa de mortalidad (regionalizada) por leucemias agudas en población de 0 a 19 años, ambos sexos, en el periodo 2000-2019.....102
Figura 33	Tasa de mortalidad (regionalizada) por leucemias agudas en población total, ambos sexos, en el periodo 2000-2019102
Figura 34	Sobreposición de la tasa de mortalidad por leucemias agudas de 0 a 19 años (2000-2019) y la concentración relativa de casos de leucemias agudas.....102

Figura 35	Autocorrelación espacial de las tasas de mortalidad por ERC, todas las edades (2010-2019).....	105
Figura 36	Autocorrelación espacial de las tasas de mortalidad por leucemias agudas, todas las edades (2000-2019)	105
Figura 37	Autocorrelación espacial de la tasa por ERC en personas de 15 a 49 años, ambos sexos (2010-2019).....	105
Figura 38	Autocorrelación espacial de la tasa por ERC en hombres de 15 a 49 años (2010-2019)	105
Figura 39	Niveles de contaminación por metales y arsénico, Renameca	107
Figura 40	Niveles de contaminación por orgánicos sintéticos, Renameca	107
Figura 41	Niveles de contaminación por posibles nefrotóxicos en agua y alcantarillado.....	108
Figura 42	Correlación espacial entre el indicador de contaminación por metales y arsénico medidos en el río (Renameca) y la mortalidad por leucemias agudas.....	110
Figura 43	Correlación espacial entre el indicador de contaminación por orgánicos sintéticos medidos en río (Renameca) y las tasas de mortalidad por ERC de 15 a 49 años en hombres.....	112
Figura 44	Correlación espacial entre el indicador de contaminación por orgánicos sintéticos medidos en río (Renameca) y las tasas de mortalidad por leucemias agudas.....	113
Figura 45	Correlación espacial entre el indicador de emisiones contaminantes de posibles nefrotóxicos al agua (RETC) y las tasas de mortalidad por ERC de 15 a 49 años.....	114
Figura 46	Niveles de PCBs y plaguicidas en plasma de los participantes en Españita y Apizaco (µg/g lip)	119
Figura 47	Niveles de plomo en sangre de personas alfareras en los municipios de Españita, San Salvador Tzompantepec, San Pablo del Monte y la Trinidad Tenexyecac	122
Figura 48	Hiperglicemia e hipercolesterolemia en personas alfareras en los municipios de Españita, San Salvador Tzompantepec, San Pablo del Monte y la Trinidad Tenexyecac.....	122
Figura 49	Hipertrigliceridemia e índice aterogénico en personas alfareras en los municipios	

Figura 50	de Españita, San Salvador Tzompantepec, San Pablo del Monte y la Trinidad Tenexyecac.....	123
Figura 51	Tasa de filtración glomerular en personas alfareras en los municipios de Españita, San Salvador Tzompantepec, San Pablo del Monte y la Trinidad Tenexyecac.....	123
Figura 52	Niveles de plomo en sangre en personas alfareras en los municipios de Españita, San Salvador Tzompantepec, San Pablo del Monte y la Trinidad Tenexyecac.....	124
Figura 53	Plataforma Sistema Estatal de Registro y Vigilancia Integral en Salud Renal (SERVIR).....	128
Figura 54	Portada de la página web de Salud Renal	131
Figura 55	Ruta de atención del Pronaii de Leucemia Infantil.....	132
Figura 56	Sistema de Información Geográfica (SIG) de la CAA	136
Figura 57	Plataforma Geoespacial del Sistema Agroalimentario y la Nutrición en México.....	137
Figura 58	Unidad de inteligencia en Salud Pública.....	138
Figura 59	Infografía de daños y alteraciones en la salud y medidas utilizadas por personas artesanas	139
Figura 60	Material de divulgación sobre la problemática socioambiental y de salud en la CAA.....	140
	Mural realizado en el municipio de Tlaxcala como parte de las actividades de los grupos de promoción de salud renal comunitaria del Pronaii de Salud Renal.....	142



TABLAS

NÚM. DE TABLA	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Tabla 1	Artículos relevantes sobre factores biológicos, ambientales y sociales asociados con la problemática ambiental en la CAA (2000-2023).....	35
Tabla 2	Comparativo de la concentración máxima semestral promedio de diez metales y arsénico en cada subzona de la CAA.....	53
Tabla 3	Comparativo de la concentración máxima semestral promedio para 2012-2020	54
Tabla 4	Tendencia en el lugar que ocupa la leucemia infantil entre las causas de muerte para el periodo 2000-2019 entre los distintos grupos de edad	63
Tabla 5	Años de vida perdidos por leucemia infantil de acuerdo con las defunciones reportadas para el año 2019 entre los distintos grupos de edad	64
Tabla 6	Registro de sustancias químicas reportadas en el río Atoyac sujetas a la NOM-001-Semarnat-2021	71
Tabla 7	Características generales sociodemográficas y de salud de la población de estudio y el estado de salud renal	80
Tabla 8	Descripción de las características de especificidad de cada uno de los biomarcadores de daño renal temprano evaluados.....	83
Tabla 9	Compilado de efectos adversos en salud de los elementos químicos encontrados a altos niveles en la población participante	85
Tabla 10	Compilado de efectos adversos en salud de los plaguicidas detectados en la población participante.....	86
Tabla 11	Variables sociodemográficas del biomonitoreo en población juvenil en Españita, Apizaco y Santa Ana Nopalucan.....	116
Tabla 12	Niveles de exposición a metales y arsénico en las zonas de estudio en Españita y Apizaco	117
Tabla 13	Niveles de exposición a Bifenilos Policlorados (PCB) tipo dioxina, clasificados como cancerígenos por la IARC	118

Tabla 14	Niveles de exposición a plaguicidas organoclorados en plasma	118
Tabla 15	Frecuencia de adolescentes con alteraciones en los parámetros clínicos estudiados en dos campañas dentro de la Cuenca.....	120
Tabla 16	Plataformas de visualización de datos en la CAA y sus regiones de influencia.....	135

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AVPP	Años de vida potenciales perdidos	eGFR	Tasa de filtración glomerular estimada (del inglés Estimated Glomerular Filtration Rate)
CAA	Cuenca del Alto Atoyac		
CIE-10	Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud, décima edición	EMR	Enfermedad mínima/medible residual
		ERC	Enfermedad renal crónica
CLiMA	Cursos en Línea Masivos y Abiertos de autogestión	IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social
CNDH	Comisión Nacional de Derechos Humanos	INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
Cofepris	Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios	Insabi	Instituto de Salud para el Bienestar
Conahcyt	Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías	IRC	Insuficiencia renal crónica
Conapo	Consejo Nacional de Población	ISSSTE	Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado
DENUE	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas	KDIGO	Kidney Disease Improving Global Outcomes
ECNT	Enfermedades Crónicas No Transmisibles	KDOQI	Kidney Disease Outcomes Quality Initiative

LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	Pronaii	Proyectos Nacionales de Investigación e Incidencia
LMS	Sistema de Gestión de Aprendizaje (del inglés Learning Management System)	REM	Razón estandarizada de mortalidad
PTAR	Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales	Renameca	Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua
Profepa	Procuraduría Federal para la Protección al Ambiente	RESA	Regiones de Emergencia Sanitaria y Ambiental
Pronaces	Programas Nacionales Estratégicos	RETC	Registro de emisiones y transferencia de contaminantes

GLOSARIO

Agentes tóxicos: Fuentes fijas de contaminación atmosférica, hídrica y de suelo. En la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente se incluyen 11 tipos de fuentes fijas y 11 sectores industriales como fuentes fijas. En la conceptualización de la RESA incluimos, además de estas fuentes fijas consideradas en la LGEEPA, fuentes de área como presas, rellenos sanitarios o zonas agrícolas en las que se utilizan intensivamente agroquímicos.

Albuminuria (RAC): La albuminuria, signo de enfermedad renal, es una proteína que se encuentra en la sangre. Un riñón sano no permite que la albúmina pase de la sangre a la orina, mientras que un riñón dañado sí deja pasar la albúmina a la orina. Entre menos albúmina haya en la orina, mejor.

Andragogía: Teoría pedagógica donde se concibe al aprendiz como adulto consciente que asume el compromiso de su propio aprendizaje.

Años de vida perdidos: Es un estimador que representa la pérdida de un año de vida. Los años de vida perdidos se calculan a partir del número de muertes multiplicado por una esperanza de vida estándar global a la edad a la que se produce la muerte.

Años de vida potenciales perdidos (AVPP): Suma del número de años adicionales que pudieron haber vivido las personas que ya fallecieron por una causa específica en una población. El cálculo del tiempo perdido se basa en la diferencia entre la edad al morir y la esperanza de vida estándar a esa edad.

Bioequivalente (BE): Los equivalentes de biomonitoreo son herramientas de detección para interpretar los datos de biomonitoreo en un paradigma de evaluación de riesgos para la salud pública. Brindan una herramienta simple para delinear rápidamente porciones de poblaciones que tienen niveles de biomonitoreo que exceden los valores guía de exposición fácilmente aceptados, como la dosis de referencia (RfD) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) y para identificar poblaciones con biocontrol (niveles de seguimiento por debajo de los valores orientativos de exposición).

Biomarcador: Un biomarcador es cualquier característica molecular, histológica, radiográfica y/o fisiológica que se puede medir como un indicador o predictor de un proceso biológico normal, proceso patológico o respuesta a una intervención terapéutica. Las variaciones en esos procesos biológicos deben ocasionar cambios en el biomarcador que pueden ser medidos y evaluados de forma objetiva.

Biomarcador de daño renal temprano: Es un biomarcador que puede ser utilizado en procesos renales y es invasivo. Puede detectarse con facilidad en muestras como orina o sangre. La determinación debe ser rápida y precisa, debe tener aplicación para establecer causas y/o mecanismos en el desarrollo de daño renal, ser precoz y detectar cambios mínimos en el filtrado glomerular incluso antes de observar alteraciones en la creatinina o la tasa de filtración glomerular, debe poder realizar seguimiento de la enfermedad, no verse afectado por características biológicas propias del individuo, entre otras.

Caso: Se le denomina así a aquel niño, niña y/o adolescente que ha sido diagnosticado con leucemia aguda y que aceptó participar en el Pronaii de Leucemia Infantil.

Cistatina C: Es una proteína de bajo peso molecular (13 kDa), inhibidor de la proteasa de cisteína, sintetizada en todas las células nucleadas. Se filtra libremente en los glomerulos y es completamente reabsorbida en los túbulos. El incremento en los niveles de Cistatina-C en orina se relaciona con alteraciones funcionales y estructurales a nivel del túbulo proximal.

Citometría de flujo: Es la tecnología más eficaz para realizar el inmunofenotipo de células normales y patológicas.

Cursos en Línea Masivos y Abiertos de Autogestión (CLiMA): Cursos en línea donde el participante recibe retroalimentación y evaluación de lo aprendido. También conocidos como MOOC.

Coeficiente beta (β): Un coeficiente beta es un recurso que compara la fuerza del efecto de cada variable independiente individual con la variable dependiente. Cuanto mayor sea el valor absoluto del coeficiente beta, más fuerte será el efecto. Esto significa que las variables se pueden comparar fácilmente entre sí.

Competencias: Habilidades, conocimientos y capacidades que una persona posee y que le permiten desempeñarse de manera efectiva en diversas situaciones y roles.

Conectividad industrial: La conectividad industrial ha nacido a la luz de la cuarta Revolución Industrial, también llamada industria inteligente. Se trata de un proceso presente en prácticamente todo el mundo, que se orienta a digitalizar cada vez más el ámbito industrial. Hablamos de la nueva industria 4.0, que consiste en la digitalización de la maquinaria y de los procesos de producción que se conectan entre sí dentro de una empresa. Se sirven del internet y utilizan tecnologías que permiten simplificar y digitalizar el manejo de la maquinaria. Para lograr esto ya existe en el mercado cualquier cantidad de herramientas entre las que se cuentan equipos inalámbricos, redes GSM y GPRS, conectores para comunicación industrial y tecnologías innovadoras. Todo ello permite a los responsables de los procesos monitorear, gestionar y programar funciones de su maquinaria, bien sea de forma presencial o remota. Con tales herramientas tecnológicas las empresas ahora son capaces de conectar, por ejemplo, las áreas de producción y suministros, entre otras cosas. Digitalizar las máquinas industriales es el inicio del proceso de transformación hacia la industria 4.0.

Conectividad: En el lenguaje empresarial se denominan conectividades o “proyectos estructurados a las obras consideradas prioritarias para la integración de una región particular”. Las conectividades “pueden ser obras puntuales”, como el desarrollo de carreteras o supercarreteras, puentes, pasos a desnivel, entronques, tramos ferroviarios faltantes de una red ya existente, o bien la construcción de pasos de fronteras clave para las conexiones fluidas entre países, o corredores bioceánicos muy extensos y que involucran a varios países.

Constructivismo: Teoría pedagógica donde se considera el proceso de aprendizaje secuencial.

Corredor industrial: “Los corredores industriales son grandes extensiones de espacio que brindan las condiciones necesarias para que empresas nacionales e internacionales de un sector industrial en específico puedan llevar a cabo sus operaciones de forma eficiente. Con frecuencia, la producción de las empresas que utilizan un corredor industrial está destinada a la exportación, por lo que su actividad se ve muy beneficiada por el régimen de excepcionalidad arancelaria que se aplica en esas zonas.”

Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE): Directorio en el que “se ofrecen los datos de identificación, ubicación, actividad económica y tamaño de más de 5 millones de unidades económicas activas en el territorio nacional, cuyas características se describen en el documento metodológico que se puede consultar en la sección Documentación”. Como en versiones anteriores, el Directorio es actualizado en forma continua por los informantes autorizados, quienes pueden poner al día o complementar los datos de sus negocios e incorporar en línea información comercial mediante la aplicación que se encuentra en la ficha técnica de cada unidad económica. Esta información es validada previamente por el INEGI.

Enfermedad mínima/medible residual (EMR): Se refiere a la presencia de una pequeña cantidad de células leucémicas residuales después del tratamiento inicial, que permite determinar el pronóstico, la estratificación de riesgo y la respuesta al tratamiento.

Enfermedad renal crónica (ERC): Es una afección de larga duración con una pérdida progresiva de la función renal. La ERC puede empeorar con el tiempo y, a la larga, los riñones pueden dejar de funcionar del todo. Ello depende de los estadios 1, 2 y 3 de la clasificación y estratificación de tasas de filtración glomerular de KDOQI.

Enfermedad: Es una alteración del estado de salud normal asociado a signos y síntomas ocasionados por uno o más agentes causales.

Enfermedad transmisible: Se incluye a las enfermedades infecciosas y parasitarias, complicaciones del embarazo, del parto y del puerperio y ciertas afecciones originadas en el periodo perinatal.

Enfermedades no transmisibles: Son un grupo de afecciones que no están causadas principalmente por una infección aguda, tienen consecuencias para la salud a largo plazo y suelen generar la necesidad de tratamiento y atención a largo plazo. Entre ellas se encuentran el cáncer (p. ej. la leucemia), la diabetes, las enfermedades cardiovasculares, pulmonares y renales crónicas.

Epidemiología: Estudio de la distribución, frecuencia y determinantes del proceso salud-enfermedad en poblaciones humanas.

Frecuencia: En epidemiología se refiere a la aparición de una enfermedad o de otro atributo o hecho en una población, sin hacer distinción entre incidencia y prevalencia.

Función renal: Se usa para describir el buen funcionamiento de los riñones. Los riñones eliminan los desechos y el exceso de agua de la sangre (como la orina) y ayudan a mantener equilibradas las sustancias químicas (como el sodio, el potasio y el calcio) en el cuerpo. También producen hormonas que ayudan a controlar la presión arterial y estimulan la médula ósea para que produzca glóbulos rojos.

Incidencia (epidemiológica): Medida epidemiológica que expresa el volumen de casos nuevos que aparecen en un periodo determinado de tiempo entre la población en riesgo. Se le define como el número de casos de enfermedad que comienzan o de personas que se enferman durante un periodo dado en una población determinada. Número de nuevos casos de una enfermedad.

Inmunofenotipo: Técnica que utiliza anticuerpos fluorocromados para identificar, cuantificar y caracterizar a las células normales y/o malignas, basada en la detección de marcadores reconocidos por dichos anticuerpos. La inmunotipificación de las hemopatías malignas ha demostrado su utilidad para el diagnóstico de precisión o clasificación, con implicaciones para el pronóstico y monitorización de la leucemia al tratamiento en leucemia infantil.

Intervalo de confianza (IC): Describe la variabilidad entre la medida obtenida en un estudio y la medida real de la población (el valor real). Corresponde a un rango de valores, cuya distribución es normal y en el cual se encuentra, con alta probabilidad, el valor real de una determinada variable. Esta «alta probabilidad» se ha establecido por consenso en 95%. Así, un intervalo de confianza de 95% nos indica que dentro del rango dado se encuentra el valor real de un parámetro con 95% de certeza.

Insuficiencia renal crónica (IRC): Pérdida gradual de la función renal. Para su detección se consideran los estadios 4 y 5 de la clasificación y estratificación de tasas de filtración glomerular de KDOQI.

Kidney Disease Improving Global Outcomes (KDIGO): Es una organización global que desarrolla e implementa guías de práctica clínica basadas en evidencia en enfermedades renales. Es una fundación independiente, dirigida y autogestionada por voluntarios, constituida en Bélgica y responsable ante el público y los pacientes a los que atiende.

Leucemia: Enfermedad maligna progresiva en la que la médula ósea y otros órganos hematopoyéticos producen un mayor número de leucocitos inmaduros o anormales. Estos suprimen la producción de células sanguíneas normales, lo que provoca anemia y otros síntomas.

Límite de detección (LDD): Se define habitualmente como la cantidad o concentración mínima de sustancia que puede ser detectada con fiabilidad por un método analítico determinado. Intuitivamente, el LDD sería la concentración mínima obtenida a partir de la medida de una muestra (que contiene el analito) que seríamos capaces de discriminar de la concentración obtenida a partir de la medida de un blanco, es decir, de una muestra sin analito presente.

Mapeo de actores en el contexto de ASI Leucemia Infantil: Implica identificar las diferentes personas (entiéndase: especialistas/citometristas, especialistas médicos: oncólogos, hematólogos, consultores, jefes de laboratorio, investigadores citometristas y otros profesionales de la salud involucrados en las instituciones, tanto públicas como privadas, que en las entidades del país, ofertan la realización y/o requieren la utilización de la información del inmunofenotipo para el diagnóstico de precisión y evaluación del seguimiento terapéutico de la leucemia infantil.

Medidas de asociación: Son indicadores epidemiológicos que evalúan la fuerza con la que una determinada enfermedad o evento en salud, que se presume como causa, se asocia con un determinado factor, que se presume como causa, ejemplo de estos es la razón de momios.

Niveles de prevención: Hace referencia a Prevención Primaria y son las medidas orientadas a evitar la aparición de una enfermedad o problema de salud, mediante el control de los agentes causales y factores de riesgo. Prevención Secundaria: Son aquellas medidas orientadas a detener o retardar el progreso de una enfermedad o problema de salud, ya presente en un individuo en cualquier punto de su aparición.

Prevención terciaria: Son las medidas orientadas a evitar, retardar o reducir la aparición de las secuelas de una enfermedad o problema de salud.

Percentil: Los cuantiles son puntos tomados a intervalos regulares de la función de distribución de una variable aleatoria. Los cuantiles suelen usarse por grupos que dividen la distribución en partes iguales; entendidas estas como intervalos que comprenden la misma proporción de valores. Los percentiles se caracterizan por la división de la variable en 100 partes iguales.

Prevalencia: Es una proporción que indica la frecuencia de un evento. Se define como la proporción de la población que padece la enfermedad en un momento dado.

Proceso contaminante: Procesos de dispersión y acumulación de contaminantes generados por las fuentes fijas y de área; un proceso contaminante es también la generación de mezclas químicas complejas a partir de sustancias simples vertidas a

los cuerpos de agua o liberadas al aire y al suelo, ejemplos de procesos contaminantes son la filtración de lixiviados de un relleno sanitario o la dispersión de contaminantes atmosféricos liberados por una empresa, o la acumulación de sustancias peligrosas contenidas en lodos residuales de PTAR.

Razón de momios: Es una medida usada en epidemiología que expresa la probabilidad de ocurrencia de un evento o enfermedad en distintos grupos con características específicas, que pueden ser catalogados como factores de riesgo o como medidas de protección.

Razón estandarizada de mortalidad (REM): Es una medida epidemiológica que permite comparar, entre poblaciones, el riesgo de morir por una enfermedad respecto a una población de referencia.

Redes de proveeduría: Las proveedurías siguen existiendo dentro del mundo industrial. Se trata de “lugares” donde se guardan los insumos necesarios para desarrollar las actividades, repuestos de maquinarias o inventarios. En el caso de las redes, se trata de la interacción continua de empresas que combinan el almacenaje y la logística de recepción-entrega de dichos bienes. Las formas de combinar las posibilidades, así como “elementos de innovación en su desempeño, acrecientan la probabilidad de que incluso pequeñas empresas formen parte de las redes de proveeduría de las grandes empresas asentadas en los parques industriales locales”. Entre las funciones de un departamento de proveeduría se encuentran: “tomar y llevar adelante los trámites de solicitudes de los bienes o servicios necesarios; confeccionar un registro completo de los proveedores; controlar que los proveedores cumplan con los requisitos de la empresa; planificar, ejecutar y tener el control de los bienes o servicios adquiridos, los cuales en algunos casos pueden ser a través de licitaciones públicas o compras directas.”

Riesgo: Es la probabilidad de que ocurra un evento adverso o indeseado.

Saberes comunitarios: Conocimientos y experiencias que se transmiten entre la comunidad mediante la observación, la práctica, la reproducción y el diálogo con un lenguaje comprensible e integrador de generación en generación.

Sistema de Gestión de Aprendizaje: Del inglés Learning Management System (LMS) es un espacio programado para gestionar la matrícula. Da acceso al participante, compila sus logros, guarda las calificaciones y en caso aprobatorio emite la constancia.

Tasa: Medida epidemiológica que expresa la dinámica de un suceso en una población a lo largo del tiempo. Es la magnitud del cambio de una variable (enfermedad o muerte) por unidad de cambio de otra (usualmente el tiempo) en relación con el tamaño de la población.

Tasa bruta de mortalidad (tasa de mortalidad general): Se define como el número de defunciones que ocurren por cada 1000 habitantes en un año determinado. Es un indicador que depende de la estructura por edad de la población, por lo que, para

hacerlo comparable con el mismo indicador de otras poblaciones, se debe de estandarizar (tipificar) Ej. TBM (México, 2000) = $435,486 \times 1000 = 4.33$ defunciones por cada 100,569,263 1000 hab.

Tasa de filtración glomerular estimada (EGFR del inglés Estimated Glomerular Filtration Rate): Describe la tasa de flujo del fluido filtrado a través del riñón, o la tasa de aclaramiento de creatinina, que es el volumen de creatinina que se elimina del plasma sanguíneo por unidad de tiempo.

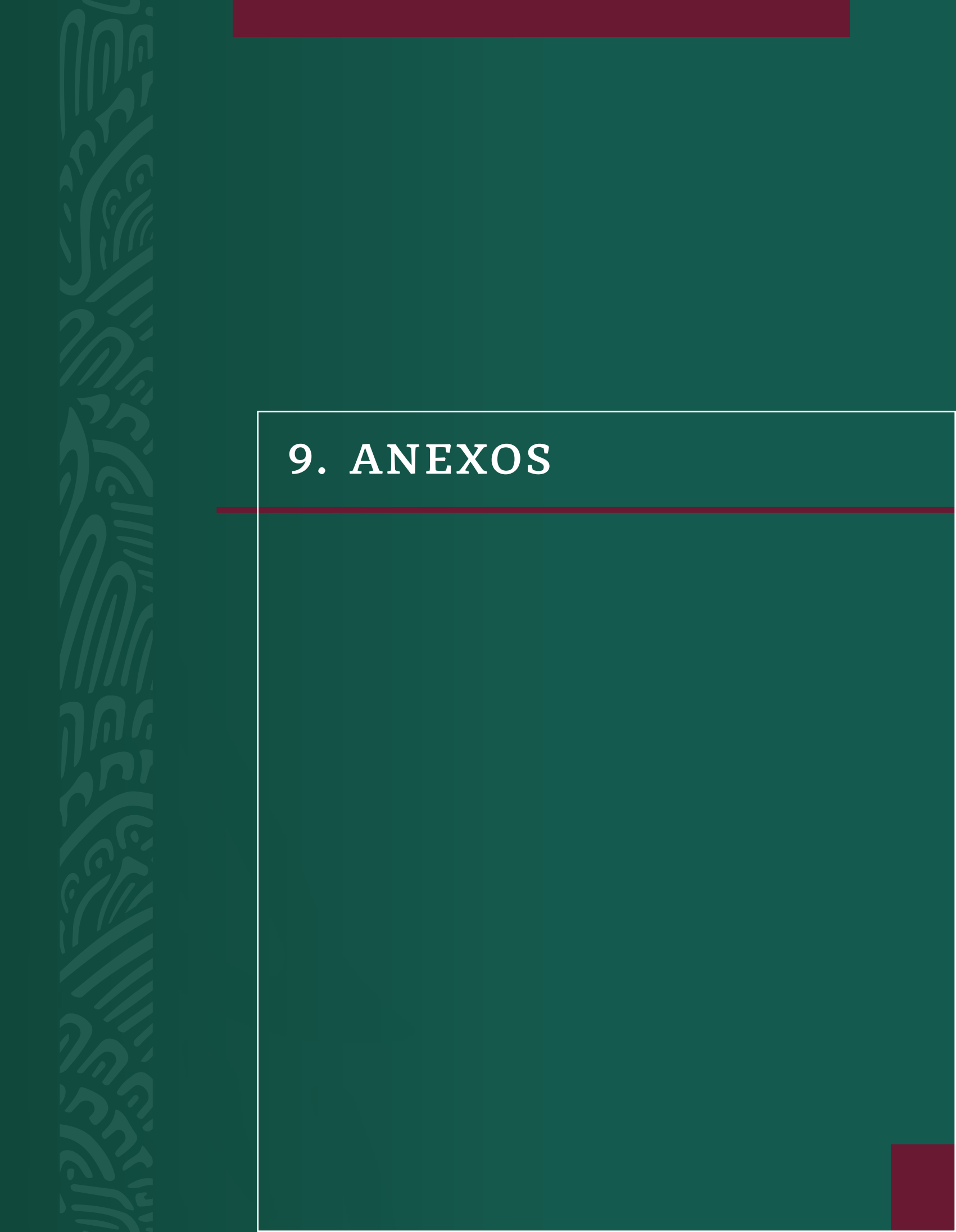
Tasa de incidencia: Es una medida de la frecuencia de ocurrencia de casos nuevos de una enfermedad dentro de una población definida durante un período específico de tiempo.

Tasa de mortalidad estandarizada: Se calcula exactamente igual que la tasa bruta de mortalidad, pero debe multiplicarse por una estructura de edad determinada (se utiliza la estandarización de la OMS).

Tercil (T): Los cuantiles son puntos tomados a intervalos regulares de la función de distribución de una variable aleatoria. Los cuantiles suelen usarse por grupos que dividen la distribución en partes iguales; entendidas estas como intervalos que comprenden la misma proporción de valores. Los terciles se caracterizan por la división de la variable en tres partes, conocida como tercio primero, segundo y tercero o superior medio e inferior.

Vigilancia epidemiológica: Se define como la utilización de los conceptos, fundamentos, categorías y comportamiento del proceso salud-enfermedad en la sociedad, a través de una estructura incluida en el sistema nacional de salud, la cual permite, mediante el conjunto de actividades que le son propias, obtener la información pertinente, explicar en todo momento el perfil de salud de la población, y detectar y prever los cambios que puedan ocurrir para recomendar oportunamente sobre bases objetivas y racionales los mecanismos de vigilancia epidemiológica como un instrumento de apoyo a los servicios de atención a la salud. Es una alternativa para definir con mayor oportunidad, las medidas de prevención y control de los principales problemas de salud-enfermedad que afectan a la sociedad, incluidos los factores que los condicionan.





9. ANEXOS



9. ANEXOS

ANEXO A

Municipios de Puebla y Tlaxcala que forman parte de la Cuenca del Alto Atoyac

TABLA 1.
Municipios que conforman la Cuenca del Alto Atoyac (Puebla)

PUEBLA			
Amozoc	Domingo Arenas	Coronango	Cuautinchán
Cuautlancingo	Chiautzingo	Huejotzingo	Ocoyucan
Puebla	San Pedro Cholula	Juan C. Bonilla	San Salvador el Verde
San Andrés Cholula	San Felipe Teotlalcingo	San Gregorio Atzompa	San Jerónimo Tecuanipan
San Martín Texmelucan	San Matías Tlalancaleca	San Miguel Xoxtla	Santa Isabel Cholula
Tlahuapan	Tlaltenango		

TABLA 2.
Municipios que conforman la Cuenca del Alto Atoyac (Tlaxcala)

TLAXCALA			
Amaxac de Guerrero	Apetatitlán de Antonio Carvajal	Atlangatepec	Apizaco
Cuaxomulco	Chiautempan	Muñoz de Domingo Arenas	Españita
Hueyotlipan	Ixtacuixtla de Mariano Matamoros	Mazatecochco de José María Morelos	Contla de Juan Cuamatzi
Xicohtzinco	Yauhquemehcan	Zacatelco	Tepetitla de Lardizábal
Acuamanala de Miguel Hidalgo	Nativitas	Panotla	San Pablo del Monte
Santa Cruz Tlaxcala	Tenancingo	Teolochohco	Tepeyanco
Tetla de la Solidaridad	Tetlatlahuca	Tlaxcala	Tlaxco
Tocatlán	Totolac	Tzompantepec	Xaloztoc
Xaltocan	Papalotla de Xicohténcatl	La Magdalena Tlaltelulco	San Lorenzo Axocomanitla
San Lucas Tecopilco	San Damián Texóloc	San Francisco Tetlanohcan	San Jerónimo Zacualpan
San José Teacalco	San Juan Huactzinco	Santa Ana Nopalucan	Santa Apolonia Teacalco
Santa Catarina Ayometla	Santa Cruz Quilehtla	Santa Isabel Xiloxotla	

ANEXO B

TABLA 1.
Población económicamente activa

MUNICIPIOS CON MAYOR POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA (2020)	
Puebla	869,431
San Andrés Cholula	79,467
San Martín Texmelucan	77,968
San Pedro Cholula	71,569
Cuautlancingo	71,338
Amozoc	60,200
Tlaxcala	52,928
Huejotzingo	47,298
San Pablo del Monte	41,028
Apizaco	40,129

Fuente: INEGI, 2020

TABLA 2.
Grado de marginación de los municipios de la CAA

ENTIDAD	MUNICIPIO		ÍNDICE DE MARGINACIÓN
Tlaxcala	1	Acuamanala de Miguel Hidalgo	56.97
Tlaxcala	2	Amaxac de Guerrero	58.89
Puebla	3	Amozoc	56.58
Tlaxcala	4	Apetatitlán de Antonio Carvajal	57.89
Tlaxcala	5	Apizaco	59.41
Tlaxcala	6	Atlangatepec	55.06
Puebla	7	Calpan	54.4
Tlaxcala	8	Chiautempan	58.27
Puebla	9	Chiautzingo	55.82
Tlaxcala	10	Contla de Juan Cuamatzi	57.35
Puebla	11	Coronango	57.25
Puebla	12	Cuautlancingo	59.89
Tlaxcala	13	Cuaxomulco	56.46
Puebla	14	Domingo Arenas	55.08
Tlaxcala	15	Españita	55.64
Puebla	16	Huejotzingo	57.29
Tlaxcala	17	Hueyotlipan	56.57

Tlaxcala	18	Ixtacuixtla de Mariano Matamoros	56.92
Puebla	19	Juan C. Bonilla	57.28
Tlaxcala	20	La Magdalena Tlaltelulco	58.76
Tlaxcala	21	Mazatecochco de José María Morelos	56.18
Tlaxcala	22	Muñoz de Domingo Arenas	56.54
Tlaxcala	23	Nativitas	56.11
Puebla	24	Ocoyucan	55.99
Tlaxcala	25	Panotla	57.95
Tlaxcala	26	Papalotla de Xicohténcatl	58.09
Puebla	27	Puebla	59.46
Puebla	28	San Andrés Cholula	59.94
Tlaxcala	29	San Damián Texóloc	59.05
Puebla	30	San Felipe Teotlalcingo	56.28
Tlaxcala	31	San Francisco Tetlanohcan	57.65
Puebla	32	San Gregorio Atzompa	57.98
Tlaxcala	33	San Jerónimo Zacualpan	57.12
Tlaxcala	34	San José Teacalco	56.81
Tlaxcala	35	San Juan Huactzinco	58.34
Tlaxcala	36	San Lorenzo Axocomanitla	59.01
Tlaxcala	37	San Lucas Tecopilco	56.32
Puebla	38	San Martín Texmelucan	58.22
Puebla	39	San Matías Tlalancaleca	56.62
Puebla	40	San Miguel Xoxtla	58.69
Tlaxcala	41	San Pablo del Monte	56.95
Puebla	42	San Pedro Cholula	59.08
Puebla	43	San Salvador el Verde	56.84
Tlaxcala	44	Santa Ana Nopalucan	58.16
Tlaxcala	45	Santa Apolonia Teacalco	57.05
Tlaxcala	46	Santa Catarina Ayometla	58.2
Tlaxcala	47	Santa Cruz Quilehtla	57.44
Tlaxcala	48	Santa Cruz Tlaxcala	58.09
Tlaxcala	49	Santa Isabel Xiloxotla	58.54
Tlaxcala	50	Tenancingo	57.55
Tlaxcala	51	Teolochoico	57.35
Tlaxcala	52	Tepetitla de Lardizábal	57.94

Tlaxcala	53	Tepeyanco	57.11
Tlaxcala	54	Tetla de la Solidaridad	58.26
Tlaxcala	55	Tetlatlahuca	56.92
Puebla	56	Tlahuapan	55.71
Puebla	57	Tlaltenango	56.96
Tlaxcala	58	Tlaxcala	60.16
Tlaxcala	59	Tlaxco	55.68
Tlaxcala	60	Tocatlán	57.77
Tlaxcala	61	Totolac	58.46
Tlaxcala	62	Tzompantepec	58.11
Tlaxcala	63	Xaloztoc	57.15
Tlaxcala	64	Xaltocan	56.13
Tlaxcala	65	Xicohtzinco	58.96
Tlaxcala	66	Yauhquemehcan	58.81
Tlaxcala	67	Zacatelco	58.37

ANEXO C

Estudios del daño ambiental que se están ejecutando actualmente en la Cuenca del Alto Atoyac

Contaminación y condición ambiental de los ríos Atoyac y Zahuapan: avances de resultados Pronaii_318959

La zona de estudio comprende los ríos Atoyac y Zahuapan, así como los principales tributarios (**Figura 1**). Estos sitios de muestreo fueron seleccionados mediante los siguientes criterios de inclusión: i) sitios que han sido reportado en los estudios previos en la zona, ii) zonas accesibles y seguras para realizar los trabajos de monitoreo y iii) sitios representativos del gradiente altitudinal en la zona de estudio. Como criterios de exclusión se consideraron: i) no coleccionar muestras de agua proveniente de descargas de aguas residuales, ii) no coleccionar sitios adyacentes a una descarga o escurrimiento de aguas residuales de origen municipal o industrial y iii) descartar zonas de difícil acceso. De tal manera que se contemplaron alrededor de 30 sitios de muestreo en la primera etapa del estudio. Con lo anterior se identificaron sitios que cumplieron los criterios de inclusión, y posteriormente seleccionar aquellos sitios en donde se establecerán las estaciones de muestreo permanente.

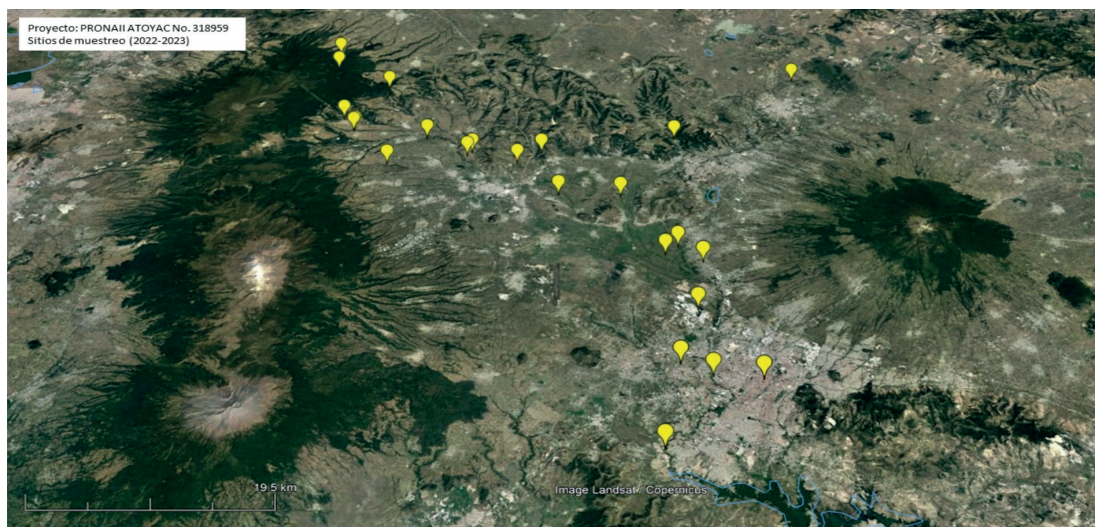


FIGURA 1.

Sitios de muestreo de los cuerpos de agua superficiales presentes en el río de la Cuenca del Alto Atoyac.

Entre algunos datos preliminares relacionados con la morfología se tiene que los sitios de muestreo seleccionados en el río Atoyac arrojan un cambio altitudinal de 20.69 m, un ancho promedio de 15.41 ± 7.9 m y una profundidad promedio de 84.27 ± 79.53 cm. Para los sitios seleccionados en el río Zahuapan el cambio altitudinal es de 108.86 m, el ancho promedio de 43.3 ± 14.9 m y la profundidad de 8.18 ± 5.8 cm. En la **Tabla 1** se presentan los datos promedio de los parámetros fisicoquímicos que hasta el momento se han obtenido.

TABLA 1.
Valores promedio del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos (15 sitios de muestreo)

PARÁMETROS	RÍO ATOYAC	RÍO ZAHUAPAN
Temperatura (°C)	22.9	20.4
Potencial hidrógeno (pH)	7.9	7.35
Potencial óxido-reducción (ORP)	-287.43	-167.13
Oxígeno disuelto (mg/l)	0.41	0.35
Conductividad µS/cm2	938.55	838.9
Sólidos disueltos totales (SDT; ppm)	511.19	459.9
Salinidad	0.512	0.455

En cuanto a la caracterización de los contaminantes inorgánicos y orgánicos, esto sólo está realizando en un número menor de sitios de muestreo. En este sentido, se cuenta con datos del periodo de estiaje en siete sitios de muestreo, los cuales por cada sitio se colectaron muestras por triplicado. Las moléculas que se están monitoreando se muestran en la **Tabla 2** y los resultados obtenidos hasta el momento están en la **Tabla 3**.

TABLA 2.
Listado de moléculas que se están evaluando en las muestras de agua y sedimento en los ríos Atoyac y Zahuapan

HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS	COMPUESTOS DERIVADOS DE RESIDUOS INDUSTRIALES	PLAGUICIDAS	PLAGUICIDAS	PLAGUICIDAS	DERIVADOS DE PLÁSTICO
Naphthalene	Chlorophenol, 2-	Dichlorobenzene, 1,4-	Dichlorophenol, 2,4-	Dichlorvos	Dimethyl phthalate
Acenaphthylene	Tribromophenol, 2,4,6-	Dichlorobenzene, 1,2-	Phenol, 4-chloro-3-methyl-	Sulfotep, Tetra-ethyldithiophosphophate	Bis(2-ethylhexyl) phthalate
Fluorene	"Methylphenol, 3-	Nitrophenol, 2-	Trichlorophenol, 2,4,5-	Chlorpyrifos	Dimethyl phthalate
Anthracene	(Cresol, m-) "	Allethrin Results	Biphenyl	Malathion	Bis(2-ethylhexyl) phthalate
Phenanthrene	"Dimethylphenol, 2,4-	Amitraz	Propachlor, Ramrod	Parathion	Dimethyl phthalate
Fluoranthene	(2,4-xyleneol) "		Chlorpropham, CIPC	DEF (Tribufos)	Bis(2-ethylhexyl) phthalate
Pyrene	Toluidine, o-		"BHC-alpha	Chlorfenvinphos	Dimethyl phthalate
Benz[a]anthracene	Benzoic acid		(benzene hexachloride) "	Ethion	Bis(2-ethylhexyl) phthalate

Chrysene		"EPN	Dimethyl phthalate
Benzo[b]fluoranthene	BHC-beta	"	Bis(2-ethylhexyl) phthalate
(1-naphthol) "	Atrazine Results	Dichlorvos	Dimethyl phthalate
Nitrophenol, 4-	"Fenoprop-methyl	Sulfotep,	
	Silvex methyl ester"	Chlorpyrifos	
	Clomazone		
	"BHC-gamma		
	(Lindane, gamma HCH)"		
	"2,4,5-T-methyl		
	BHC-delta		
	Heptachlor		
	Aldrin		
	"Heptachlor exo-epoxide		
	(isomer B) "		
	"Endosulfan I		
	(alpha isomer)		
	"		
	Dieldrin		
	Endrin		
	"Endosulfan II		
	DDD-p,p'		
	Endrin aldehyde		
	Mirex		

TABLA 3.

Concentraciones promedio de muestras de agua superficial y sedimentos de los ríos Atoyac y Zahuapan

AGUA SUPERFICIAL	RÍO ATOYAC (µg/l)		RÍO ZAHUAPAN (µg/l)	
	PROMEDIO	DESV. STD	PROMEDIO	DESV. STD
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	1.6	±2.3	0.5	±0.5
Residuos industriales	78.7	±70.4	6.3	±1.3
Residuos mixtos	194.6	±18.8	178.2	±40.3
Organoclorados	10.4	±17.5	4.0	±4.6
Organofosforados	930.9	±158.2	1015.4	±19.9
Microplásticos	1.2	±1.0	1.0	±0.2

SEDIMENTOS			
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	310.4	±314.6	125.5
Residuos industriales	1597.7	±2327.7	137.2
Residuos mixtos	81.6	±58.4	94.5
Organoclorados	126.3	±119.5	57.6
Organofosforados	305.6	±182.6	589.0
Microplásticos	112.0	±39.2	58.1
Los datos promediados se obtuvieron de siete estaciones de monitoreo: n = 5 Atoyac y n = 2 Zahuapan.			

Por otro lado, como parte de los avances del proyecto Pronaii 318959, se están llevando a cabo inventarios de flora y fauna riparia que complementa el diagnóstico ambiental como ecosistemas acuáticos a los ríos Atoyac y Zahuapan (**Figura 2 y Figura 3**).



FIGURA 2. Río Atoyac. La foto muestra la cobertura vegetal asociado a caudal lo cual muestra un grado de ecosistema acuático que muestra una condición poco alterada en su estructura. Foto: cortesía de Omar Arellano-Aguilar.



FIGURA 3. Río Zahuapan. Foto muestra la cobertura vegetal de río y la sección en donde se observa un muro que confina tras su paso en la Ciudad de Tlaxcala y las características naturales que prevalecen a pesar de la mala calidad que muestra el cauce principal. Foto: cortesía de Omar Arellano-Aguilar.

Al igual que en el Pronaii Ecosistema Nacional Informático de Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes, también se está organizando la información de las bases de datos de Renameca en el marco de la Declaratoria 2011, de donde se tiene algunos datos preliminares similares a los ya reportados en el cuerpo principal de este documento. En la **Tabla 4** y la **Tabla 5** se abunda un poco más sobre las moléculas orgánicas identificadas individualmente en los análisis reportados por Renameca, mientras que la **Figura 4** muestra el comportamiento de la toxicidad reportada por esta misma base de datos. En cuanto a los datos microbiológicos, la Renameca reporta contaminación en prácticamente todos los sitios, lo cual también ya ha sido abordado por estudios independientes en el caso de los municipios de Nativitas, S. Apolonia Teacalco, Tetlatlahuaca, Tepetitla y Tlaltenango (Rodríguez-Tapia y Morales-Novelo, 2017). La **Tabla 6** muestra algunos datos de los pozos de la misma zona de estudio.

TABLA 4.

Parámetros orgánicos reportados por Renameca en el Río Atoyac y sus afluentes (4 sitios o más)

PARÁMETRO	LÍMITE DETECCIÓN (mg/l)	META DECLARATORIA (mg/l)	RÍO ATOYAC			RÍO ATOYAC AFLUENTES *		
			# SITIOS DETECTADO	RANGO VARIACIÓN (mg/l)	# SITIOS CUMPLEN	# SITIOS DETECTADO	RANGO VARIACIÓN (mg/l)	# SITIOS CUMPLEN
2,4,6-Tri-clorofenol	2.6E-05		5	0.00028 - 0.17676				
2,4-Di-clorofenol	5.0E-05		3	0.0006 - 0.0118		1	0.0005	
2-Clorofenol	7.0E-05		1	0.0003 - 0.0007				
1,3-Diclorobenceno	2.0E-04	0.010	4	0.0002 - 0.0019	4	6	0.0012 - 0.0115	5
1,4-Diclorobenceno	2.0E-04	0.010	7	0.0001 - 0.0018	7	7	0.0002 - 0.0193	6
Benceno	1.0E-04	0.010	3	0.0002 - 0.0029	3	7	0.0001 - 0.0184	6
Bis (2-Etil-hexil) Ftalato	1.9E-04	0.003	13	0.0006 - 5.25	1	19	0.0003 - 16.38	2
Cloroformo	2.0E-04	0.030	10	0.0001 - 0.15	7	12	0.0002 - 0.0224	12
Clorometano	2.0E-04	0.0002	4	0.001 - 0.0057		4	0.0049 - 0.0201	
Cloruro de Metileno	2.0E-04		6	0.0034 - 0.0194		4	0.0013 - 0.0106	
Dibromoclorometano	2.0E-04					4	0.0002 - 0.0016	

Dietilftalato	1.2E-05	0.003	15	0.0001 - 0.0168	11	17	0.00004 - 0.0176	10
Dimetilftalato	1.4E-04		8	0.0004 - 0.0313		6	0.0001 - 0.0155	
Etilbenceno	1.0E-04	0.100	5	0.0001 - 0.002	5	4	0.0001 - 0.0656	4
Fenantreno_8310	1.5E-05					1	0.00003	
Fluoranteno_8310	4.6E-06					1	0.00004	
Isoforona	2.0E-05		10	0.0002 - 0.006		9	0.0002 - 0.0028	
m,p-Xilenos	1.0E-04		5	0.0001 - 0.08		5	0.0001 - 0.018	
Mezcla de Isómeros de Xilenos	3.0E-04	0.300	3	0.0002 - 0.0063	3	4	0.0002 - 0.0287	4
o-Xileno	2.0E-04		3	0.0001 - 0.0017		4	0.0001 - 0.0107	
Pireno_8310	6.7E-06					1		
Tetracloroetileno	2.0E-04					4	0.0001 - 0.0141	
Tolueno	1.0E-04	0.200	11	0.0002 - 0.0237	11	9	0.0002 - 0.3477	8
Fenol	6.0E-05		13			17	0.0001 - 0.3655	

Nota: *Un solo valor indica que sólo se detectó el parámetro en una sola muestra de agua. Fuente: Conagua (2020).

Como se puede observar en las **Tablas 4 y 5**, la evaluación del cumplimiento no es posible realizarla para todos los compuestos detectados ya que la Declaratoria para el Río Atoyac no define un límite de calidad para todos ellos.

TABLA 5.

Parámetros orgánicos reportados por Renameca en el río Zahuapan y sus afluentes (3 sitios o más)

PARÁMETRO	LÍMITE DETECCIÓN (mg/l)	META DECLARATORIA (mg/l)	RÍO ZAHUAPAN *			RÍO ZAHUAPAN AFLUENTES		
			# SITIOS DETECTADO	RANGO VARIACIÓN (mg/l)	# SITIOS CUMPLEN	# SITIOS DETECTADO	RANGO VARIACIÓN (mg/l)	# SITIOS CUMPLEN
2,4,6-Triclorofenol	2.6E-05		5	0.0001 - 0.0979		3	0.0013 - 0.4391	
2,4-Diclorofenol	5.0E-05		5	0.0005 - 0.0992		3	0.0019 - 1.5142	
2-Clorofenol	7.0E-05		4	0.002 - 0.0243		3	0.0002 - 0.095	

1,3-Diclo- robence- no	2.0E-04	0.010						
1,4-Diclo- robence- no	2.0E-04	0.010						
Benceno	1.0E-04	0.010						
Bis (2-Etil- hexil) Ftalato	1.9E-04	0.003	6	0.0012 - 0.0484		6	0.0003 - 0.0728	
Cloroformo	2.0E-04	0.030	1	0.37				
Clorome- tano	2.0E-04	0.0002						
Cloruro de Meti- leno	2.0E-04							
Dibro- mocloro- me-tano	2.0E-04							
Dietilfta- lato	1.2E-05	0.003	5	0.0001 - 0.0109	4	6	0.0002 - 0.0593	3
Dimetilf- talato	1.4E-04		6	0.0002 - 0.0413		5	0.0005 - 0.0966	
Etilben- ceno	1.0E-04	0.100						
Fenan- tre- no_8310	1.5E-05		5	0.00002 - 0.00012		5	0.00002 - 0.00009	
Fluo- rante- no_8310	4.6E-06		3	0.00001 - 0.00003		4	0.00001 - 0.00006	
Isoforona	2.0E-05		5	0.0002 - 0.0021		3	0.0007 - 0.0057	
m,p-Xile- nos	1.0E-04							
Mezcla de Isó- meros de Xilenos	3.0E-04	0.300						
Naftale- no_8310	8.6E-06		6	0.00009 - 0.00044		3	0.0002 - 0.00058	
o-Xileno	2.0E-04							
Pire- no_8310	6.7E-06		5	0.00001 - 0.00036		5	0.00001 - 0.00009	
Tetraclo- roetileno	2.0E-04							
Tolueno	1.0E-04	0.200						
Fenol	6.0E-05		6	0.00012 - 0.0646		6	0.0002 - 0.1347	

Nota: *Un solo valor indica que sólo se detectó el parámetro en una sola muestra de agua Fuente: Conagua (2020).

Entre 2012 y 2019, los resultados de los monitoreos de la CONAGUA indican que las unidades de toxicidad en casi todas las descargas superan el límite establecido (**Figura 4**), lo que corrobora la capacidad del agua del río para causar defectos en el desarrollo embrionario en condiciones de laboratorio, reportada ya por un estudio independiente (Arellano et al., 2015).

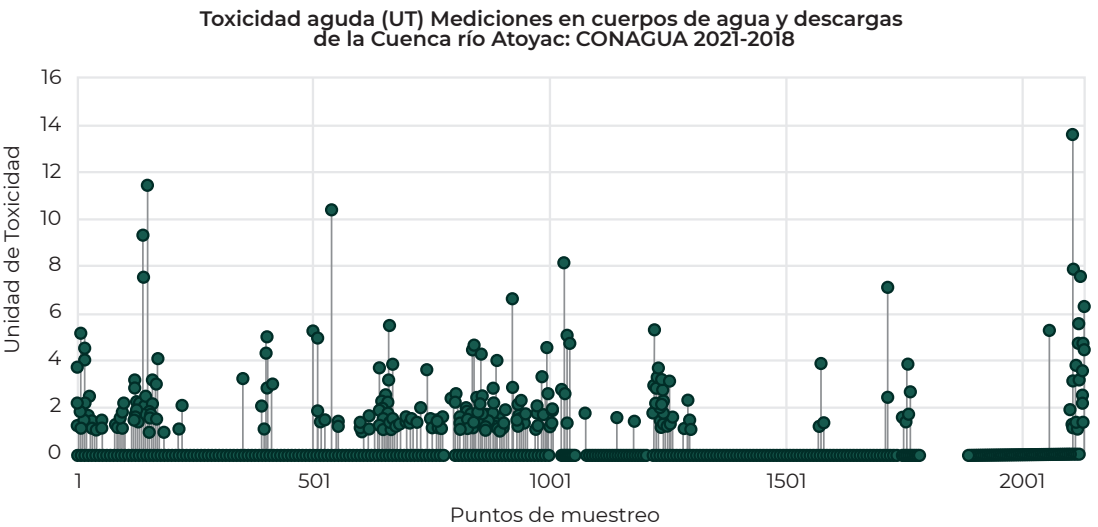


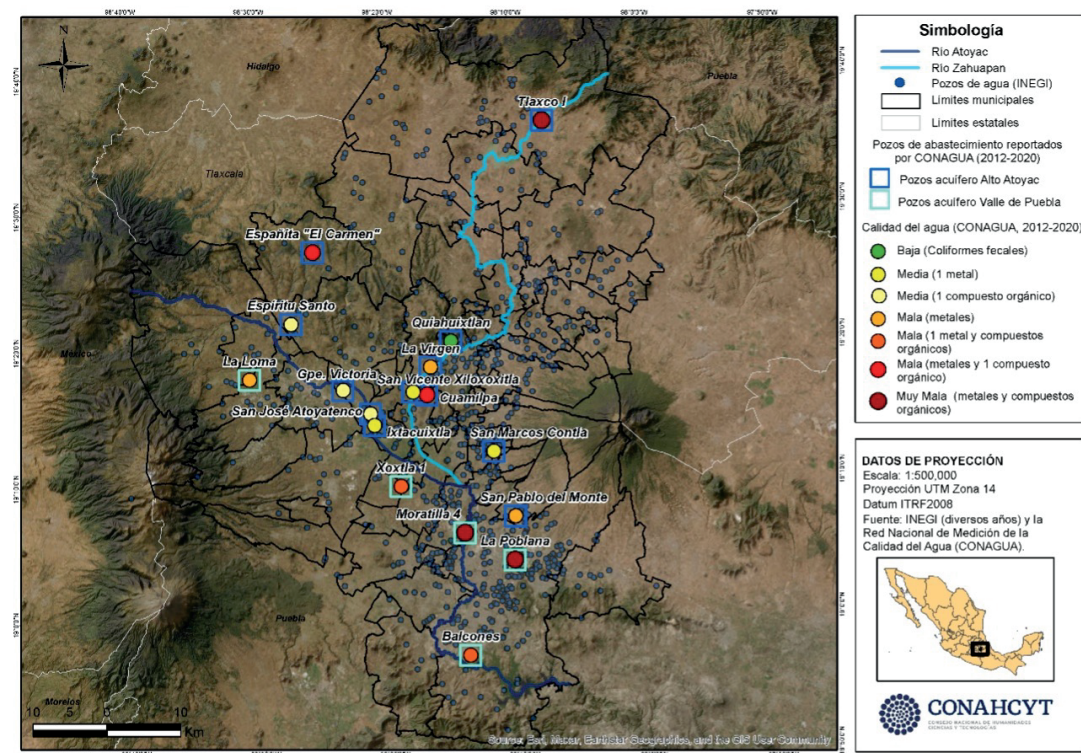
FIGURA 4.
Reporte de resultados de unidades de toxicidad en muestras provenientes de descarga de agua residual a lo largo del río Atoyac.

Con relación a la calidad del agua subterránea, las bases de datos de la Conagua muestran la presencia recurrente de 7 metales y 16 compuestos orgánicos en 17 pozos: 12 asociados al Alto Atoyac y 5 al del Valle de Puebla. Estos pozos se encuentran en 14 municipios que forman parte del área de estudio: Tetlatlahuac, Españita, San Pablo del Monte, Tlaxco, Panotla, Nativitas, Ixtacuixtla, Tepetitla, Totolac, Papalotla de Xicohténcatl, Puebla, Tlahuapan y Coronango (**Tabla 6**).

TABLA 6.
Contaminantes identificados por Renameca en pozos de agua de uso y consumo humano en la Cuenca del Alto Atoyac

POZO	METALES (1)	ORGÁNICOS (2)	OTROS (3)	MUNICIPIO (TLAXCALA)
Cuamilpa	Fe Cr Hg	Clorometano	Fluoruros Coliformes fecales	Tetlatlahuac
Españita - El Carmen	Cr Pb	Cloroformo	Fluoruros Coliformes fecales Conductividad	Españita
San Pablo del Monte (Centro)	Fe Hg		Nitratos Coliformes fecales	San Pablo del Monte

Tlaxco I	Cr Pb	Dibromoclorometano Bromodiclorometano Bromoformo Trihalometanos totales	Fluoruros Coliformes fecales	Tlaxco
La Virgen	Fe Mn		Nitrógeno amoniacal Coliformes fecales Conductividad	Panotla
Pozo 6. Ixtacuixtla. San Miguel La Presa	Cr			Nativitas
Pozo San Vicente Xiloxoxitla	Al	Conductividad	Nativitas	
Pozo San Jose Atoyatenco		Cloruro de Metileno	Nitratos Conductividad	Nativitas
Espíritu Santo	-	Cloroformo	Fluoruros	Ixtacuixtla de Mariano Matamoros
			Conductividad	
Gpe. Victoria	-	Cloroformo	Nitratos	Tepetitla de Lardizábal
Quiahuixtlán	-	-	Coliformes fecales Conductividad	Totolac
Pozo 1. San Marcos Contla	Cr	-	-	Papalotla de Xicoténcatl
La Poblana	Al Fe Cr Pb	Bromoclorometano Tetracloroetileno Trans-1,2- Dicloroetileno Tricloroetileno Cloroformo	Coliformes fecales	Puebla
Moratilla 4	Fe Mn Cr Pb	Tetracloroetileno Benceno m, p-Xilenos o-Xileno Mezcla de Isómeros de Xilenos Cloroformo	Conductividad	Puebla
Xoxtla 1	Cr	Tetracloroetileno Trans-1,2- Dicloroetileno Tricloroetileno Cloroformo		Coronango
La Loma	Cr Hg	Fluoruros		Tlahuapan
Balcones del Sur Soapap 2	Pb	Cloruro de Metileno Cloroformo	Coliformes fecales	Puebla

**FIGURA 5.**

Pozos de abastecimiento con mala calidad del agua subterránea en los acuíferos Alto Atoyac y Valle de Puebla (CONAGUA, periodo 2012-2020).

En los municipios de frontera entre Tlaxcala y Puebla que alojan el corredor industrial Panzacola y en el que se desarrolla intensa actividad agrícola (Nativitas, Tepetitla, Papalotla e Ixtacuixtla), se ubica la mayor proporción de pozos de agua de mala calidad, aunque algunos contaminantes orgánicos dañinos para la salud, incluidos en la NOM-127-SSA1-1994 fueron por debajo de los límites establecidos, lo que debe investigarse (Figura 5).

Creación de un Sistema Comunitario de Vigilancia: avances del Pronaii

La importante presencia de la industria de los sectores químico, automotriz, metalúrgico y de la producción de ladrillo artesanal que declaran la emisión de contaminantes volátiles orgánicos al RETC, justifica el monitoreo de estos contaminantes en el ambiente. En el marco del PRONAI “Creación de un sistema comunitario...” se ha iniciado su identificación en tres municipios, Españita, Apizaco y Santa Ana Nopalucan. Este estudio se orienta a identificar otras fuentes de riesgo ambiental para la salud pública.

La presencia del grupo de compuestos benceno, tolueno y xileno (BTX) están relacionados con la quema de combustibles fósiles, mientras que otros como el tricloroetileno, el percloroetileno y el estireno son indicativos de la actividad industrial. Estos compuestos se evaluaron a través del dispositivo portátil Tiger Select (ION Science) con

detección por fotoionización mediante una lámpara de 10.0 eV. Para el muestreo, se seleccionaron 5 puntos dentro del espacio a evaluar y se mantuvo el aparato durante un minuto para obtener la lectura de cada uno de los compuestos seleccionados para su medición: benceno, tolueno, xilenos, cloruro de vinilo, tricloroetileno y estireno. Las mediciones se han hecho por personal del laboratorio de la Dra. Montero del Instituto de Investigaciones Biomédicas, en espacios públicos, como plazas municipales, atrios de iglesias, zonas de mercado, patios de las escuelas y campos deportivos. Además, se hicieron mediciones en los alrededores de las zonas industriales. Al tiempo de tomar las mediciones, se registran las coordenadas y la dirección o puntos de referencia para su posterior identificación en un mapa. En principio, respecto de los BTX, Españita es el municipio con valores menores, donde se alcanza el valor de referencia de la EPA de 0.01 ppm de benceno en 30% de los sitios evaluados, mientras que Apizaco y Santa Ana Nopalucan mostraron este valor o superior en el 50% de los sitios evaluados (hasta 0.3 ppm). Para los xilenos, el 25% de los sitios de Españita mostraron niveles por encima de 0.02 ppm, y más del 50% en Apizaco y Santa Ana Nopalucan.

En el caso de los metales en polvo, la metodología de muestreo consistió en recoger el polvo con escobeta y charola del perímetro de la zona completa y a lo largo de un transecto en diagonal. El polvo se juntó en una bolsa de plástico por cada área de muestreo seleccionada y se transportó al laboratorio ICP-MS del Instituto de Geofísica, UNAM, a cargo de la Dra. Ofelia Morton Bermea, para su análisis. El cromo y el plomo fueron los más abundantes, aunque también se detectó cadmio (**Tabla 7**), siendo los niveles comparables con los producidos en zonas industriales de otros países (Kabir et al., 2012).

TABLA 7.
Niveles de metales relacionados con daño renal en polvo urbano de áreas públicas (mg/kg)

METALES EN POLVO - ESPAÑITA (mg/kg)					METALES EN POLVO - APIZACO (mg/kg)				
	Cr	As	Cd	Pb		Cr	As	Cd	Pb
media-na	67.6	2.6	0.2	19.2	media-na	94.9	3.2	0.2	25.4
1er cuartil	52.6	1.6	0.1	0.0	1er cuartil	86.6	2.5	0.2	16.9
3er cuartil	94.7	3.0	0.2	15.0	3er cuartil	114.8	4.1	0.3	44.3
mínimo	0.0	0.0	0.0	34.0	mínimo	36.5	1.7	0.1	12.3
máximo	200.3	20.1	0.4	75.1	máximo	220.3	14.2	2.0	119.0

La Cuenca del Alto Atoyac no cuenta con información suficiente de la calidad del aire, ni para las zonas industriales ni para los núcleos de población, lo cual es un imperativo tomando en cuenta la carga de enfermedades respiratorias en esa entidad. Actualmente, se tiene evidencia de gran contundencia que demuestra la afectación de la contaminación del aire sobre diferentes aspectos de la salud, causando millones de muertes y la pérdida de años saludables de vida. De hecho, se estima que la carga de morbilidad atribuible a la contaminación del aire está a la par de

otros importantes riesgos para la salud mundial, como las dietas poco saludables y el tabaquismo (WHO, 2021). Para explicar la calidad del aire es necesario tomar en cuenta la dirección y velocidad de los vientos, pero también las características de la fuente de emisión y la química ambiental del contaminante en cuestión. La velocidad, tanto a 2 m como a 10 m sobre el suelo, así como la dirección dominante por época se presentan en la **Tabla 8**.

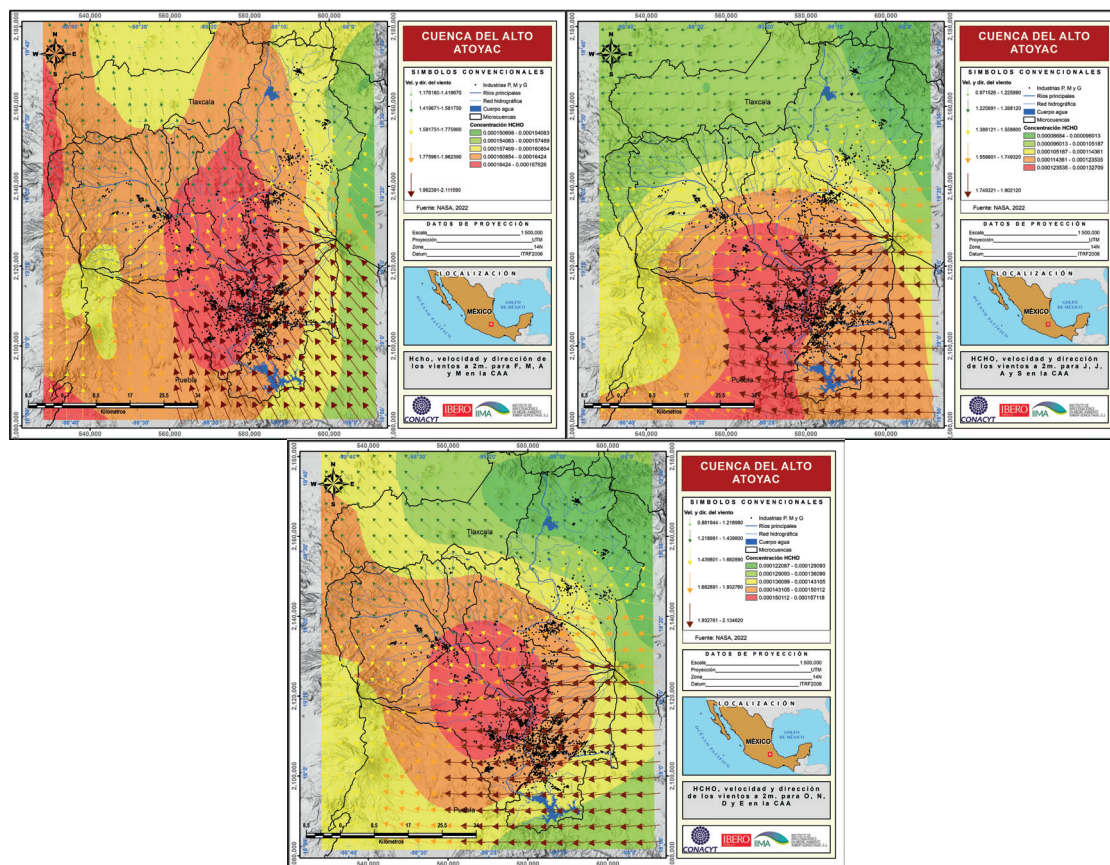
TABLA 8.
Velocidad y dirección de los vientos en las microcuencas

MICROCUENCA	VELOCIDAD DE LOS VIENTOS A 2 M DE ALTURA (m/s)	VELOCIDAD DE LOS VIENTOS A 10 M DE ALTURA (m/s)	DIRECCIÓN DE LOS VIENTOS DE FEBRERO A MAYO	DIRECCIÓN DE LOS VIENTOS DE JUNIO A SEPTIEMBRE	DIRECCIÓN DE LOS VIENTOS DE OCTUBRE A ENERO
1	1.60	2.58	SE-NO	NE-SO	SE-NO
2	1.68	2.65	SE-NO	NE-SO	SE-NO
3	1.80	2.79	SE-NO	E-O	E-O
4	1.89	2.89	SE-NO	E-O	E-O
5	1.82	2.79	SE-NO	E-O	E-O
6	1.70	2.62	SE-NO	E-O	E-O
7	1.55	2.44	S-N	E-O	SE-NO

De manera preliminar, al analizar la calidad del aire por medio de las concentraciones promedio anuales de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y formaldehído en el período comprendido entre 2000 y 2020, se observa que las microcuencas 3, 4, 5 y 6 presentan las mayores concentraciones de formaldehído y dióxido de nitrógeno. Por otro lado, el dióxido de azufre muestra una mayor concentración en las microcuencas 5, 6 y 7 (**Tabla 9**).

TABLA 9.
Parámetros de calidad del aire

MICROCUENCA	DIÓXIDO DE AZUFRE (mol/m²)	DIÓXIDO DE NITRÓGENO (mol/m²)	FORMALDEHÍDO (mol/m²)
1	0.33	0.56	0.55
2	0.49	0.74	0.72
3	0.49	0.78	0.76
4	0.50	0.76	0.75
5	0.62	0.72	0.78
6	0.56	0.72	0.75
7	0.54	0.60	0.68



Velocidad y dirección de los vientos en los meses de febrero a mayo (esquina superior izquierda), junio a septiembre (esquina superior derecha) y octubre a enero (centro-inferior) y la concentración de formaldehído respectiva (mol/m³).

ANEXO D

Sección 1. Metodología para el cálculo de las tasas de mortalidad por enfermedad renal crónica en la población de 10 a 19 años y la razón estandarizada de mortalidad

Se calculó la tasa de mortalidad cruda por insuficiencia renal crónica (CIE-10 N18 y N19X) en los jóvenes de 10 a 19 años a nivel nacional, en los estados de Puebla y Tlaxcala, así como en la Cuenca del Alto Atoyac y las áreas de influencia con la siguiente ecuación:

$$\text{Tasa de mortalidad: } \frac{\text{Defunciones por insuficiencia renal crónica en población de 10 a 19 años 2019-2021}}{\text{Total de la población de 10 a 19 años en el periodo 2019-2021}} \times 100,000$$

Los datos de mortalidad se extrajeron de la estadística de mortalidad del INEGI para los años 2019-2021 en el grupo de edad y la población para cada región se obtuvo de las proyecciones para la población de Conapo para esos periodos y para el grupo de edad de 10 a 19 años.

Las tasas brutas de mortalidad se estandarizaron a través del método directo y se tomó como referencia la población nacional. No se observaron diferencias entre la tasa cruda y la tasa estandarizada para las regiones.

El cálculo de la razón estandarizada de mortalidad se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$\text{REM: } \frac{\text{Tasa de mortalidad estandarizada para la región de interés}}{\text{Tasa de mortalidad estandarizada a nivel nacional}}$$

La región de interés corresponde a Puebla, Tlaxcala, la región Puebla-Tlaxcala, la Cuenca del Alto Atoyac y la región de influencia de la Cuenca del Alto Atoyac. En los resultados se reportó como una razón, los valores mayores a 1 indican un mayor riesgo de morir por esta condición en la población de interés, respecto a la nacional.

Sección 2. Modelo ARIMA

Los enfoques de suavizamiento exponencial y autoregresivo integrado de media móvil (ARIMA) son los más utilizados para modelar series de tiempo. Los modelos de suavizamiento exponencial se enfocan en modelar la tendencia y la estacionalidad de los datos. Los modelos ARIMA, se enfocan en modelar la autocorrelación de la serie. Ambos enfoques son complementarios, aunque algunos modelos de suavizamiento exponencial se encuentran contenidos en los modelos ARIMA.

En general, debido a que las tasas son anuales, no se detectó que existiera estacionalidad (subidas y bajadas periódicas) en las series de tasas de mortalidad. Para la tendencia de la serie, se obtuvo el estimador de Sen y la prueba de Mann-Kendall

y se decidió utilizar un modelo para las series en las cuales la prueba fue positiva. Por lo anterior, se decidió utilizar los modelos ARIMA, los cuales también darán una estimación de la tendencia, pero el enfoque de la modelación se basa en la autocorrelación de los datos, lo cual es una característica que no se ha estudiado aún.

Se cuenta con 20 datos por serie, lo cual, dependiendo de la varianza y cambios en la tendencia de la serie, pudiese ser una cantidad muy pequeña para ajustar un modelo de series de tiempo. Para tener una idea, una regla de dedo, es tener 30 datos en la serie para poder modelar. Sin embargo, dicho número no se toma como regla dado que la cantidad de datos que se necesita depende en realidad del comportamiento de la serie.

Modelos ARIMA (p,d,q)

Los modelos ARIMA (p,d,q) constan de 3 partes importantes:

1. El modelo autorregresivo de orden p, AR(p).
2. El modelo de medias móviles MA(q).
3. La parte integral o de diferenciación I(d).

En el modelo autorregresivo AR(p) se predice un valor para la serie de tiempo en función de una combinación lineal de los datos observados para la serie en tiempos anteriores. Un modelo autorregresivo de orden p, puede ser escrito de la siguiente forma:

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t,$$

donde, ε_t es ruido blanco que representa el error.

Un modelo de promedios móviles MA(q) basa su predicción en los errores de predicción observados para tiempos anteriores, de la siguiente forma:

$$y_t = c + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q},$$

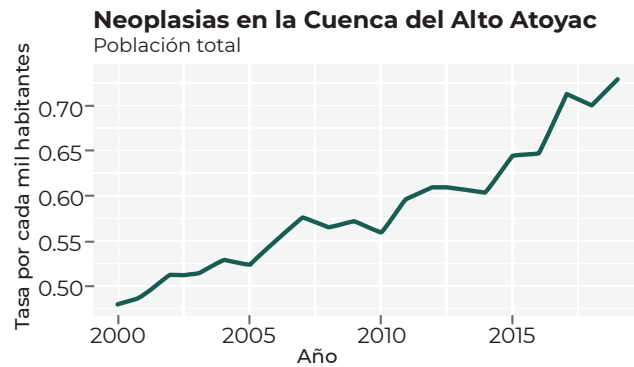
La parte integral o de diferenciación es cuando en lugar de modelar la serie y_t se donde ε_t es ruido blanco. modela la serie diferenciada d veces $y_t^{(d)}$.

A continuación, se describen brevemente algunos de los pasos considerados para ajustar un modelo ARIMA a las series de mortalidad utilizando como ejemplo la serie de mortalidad por neoplasias para la población total.

Una serie es estacionaria cuando sus propiedades no cambian respecto al tiempo en que la serie es observada. Por ejemplo, una serie con tendencia creciente no lineal no es estacionaria, puesto que la pendiente dependerá del tiempo en que se observe. En general, no se observará ningún patrón en una serie estacionaria.

Para obtener una serie estacionaria a partir de una no estacionaria (original), pueden aplicarse distintas transformaciones a la serie original. Una forma de transformar una serie para estabilizar su media es diferenciándola (calcular la diferencia entre puntos consecutivos de la serie). Para estabilizar la varianza, se puede utilizar el logaritmo o la transformación de Box y Cox.

Consideremos la serie de tasas de mortalidad para el total de la población en la Cuenca del Alto Atoyac, presentada a continuación.



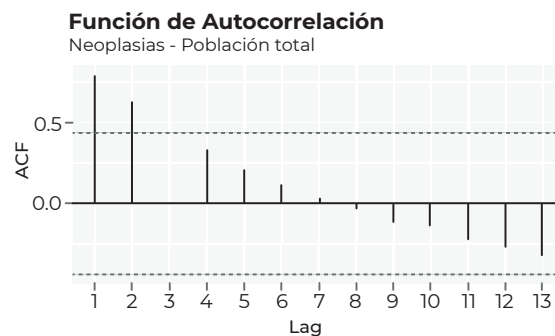
Puede observarse que la serie de Neoplasias tiene una clara tendencia creciente que cambia de pendiente, por lo que no es estacionaria.

Otra herramienta visual que ayuda a identificar si una serie es estacionaria o no, es la gráfica de la función de autocorrelación o ACF.

La función de autocorrelación mide la correlación entre los datos de la serie y los datos de la serie desplazados un cierto número de tiempos. Por ejemplo, el coeficiente de correlación r_1 mide la correlación entre la observación y_t y y_{t-1} . Los coeficientes de autocorrelación están dados por:

$$r_k = \frac{\sum_{t=k+1}^T (y_t - \bar{y})(y_{t-k} - \bar{y})}{\sum_{t=1}^T (y_t - \bar{y})^2}.$$

Calculando los coeficientes de autocorrelación para distintos k , se obtiene la función de autocorrelación. A continuación, se muestra dicha función para la serie de tasas de mortalidad por neoplasias.



Las líneas azules demarcan donde las observaciones para la correlación son significativamente diferentes de cero. Se puede observar que r_1 y r_2 , sobre pasan dicha línea y se tiene un comportamiento decreciente lento hacia cero en las correlaciones. Lo anterior indica que existe una tendencia en la serie, lo que la hace no estacionaria.

Existen varias pruebas o test para verificar si la serie es estacionaria de forma más formal que lo anterior, por ejemplo: el test de Kiatkowski, Phillips, Schmidt y Shin (KPSS). En dicho test, la hipótesis nula es que la serie es estacionaria y se busca evidencia en contra de la estacionariedad. A continuación, se muestra el resultado del test para la serie de tasas de mortalidad por neoplasias.

```
#####
# KPSS Unit Root Test #
#####

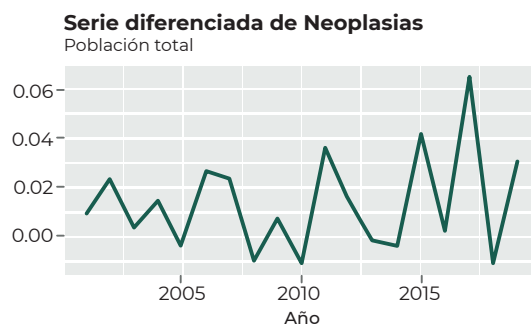
Test is of type:  mu with 2 lags.

Value of test-statistic is: 0.7463

Critical value for a significance level of:
      10pct 5pct 2.5pct 1pct
critical values 0.347 0.463 0.574 0.739
```

En este test, se rechaza la hipótesis nula de que la serie es estacionaria si el valor del estadístico es mayor que el valor crítico para el nivel que se haya fijado para la prueba. En el caso de estudio, se fijó el nivel $\alpha = 0.05$, por lo que se rechaza la hipótesis de estacionariedad, ya que el estadístico 0.7463 es más grande que el valor crítico 0.463.

Dado que la serie no es estacionaria, lo que prosigue es transformarla de forma tal que sea estacionaria. Como se mencionó anteriormente, una forma de hacerlo es diferenciando la serie, enfoque que se utilizará en este caso.



Puede observarse que en la serie diferenciada ya no se nota una tendencia, como en la serie original. Como se muestra a continuación, para la serie diferenciada no se rechaza la hipótesis nula de que la serie diferenciada es estacionaria.

```
#####
# KPSS Unit Root Test #
#####

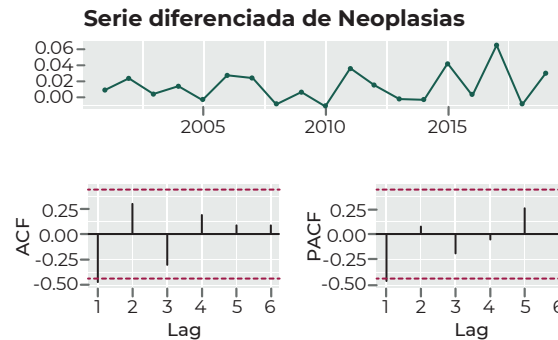
Test is of type:  mu with 2 lags.

Value of test-statistic is: 0.1855

Critical value for a significance level of:
      10pct 5pct 2.5pct 1pct
critical values 0.347 0.463 0.574 0.739
```

A continuación, se muestran las gráficas de la función de autocorrelación y autocorrelación parcial para la serie diferenciada de tasas de mortalidad por neoplasias.

La autocorrelación parcial mide la correlación entre y_t y y_{t-k} , para algún tiempo k , quitando los efectos de los tiempos $1, 2, \dots, k-1$.

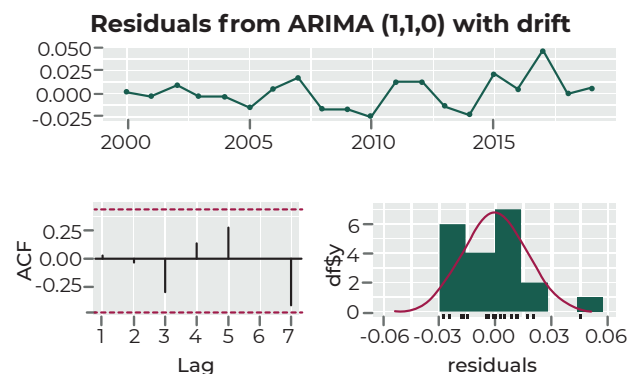


Se puede observar en el ACF que la función de correlación decae rápidamente a cero, lo que indica que la serie es estacionaria. La única correlación que sale del intervalo del 95% de confianza es la serie con retraso de 1 tiempo. Además, se puede observar que la función de correlación decae exponencialmente a cero y que la función de autocorrelación parcial decae rápidamente después del retraso 1. Lo anterior, es indicativo de que un modelo ARIMA (1,1,0) podría ser apropiado para la serie de neoplasias.

Se probaron los siguientes modelos:

- ARIMA(0,1,0)
- ARIMA(2,1,2)
- ARIMA (1,1,0)
- ARIMA(0,1,1)
- ARIMA(0,1,0) sin constante.

Se elige el modelo con menor valor en el criterio de información de Akaike corregido (AICc); el modelo ARIMA (1,1,0) fue elegido para la serie de neoplasias. Posteriormente, se analizan los residuales para verificar que no exista correlación entre ellos y que no exista un patrón en la serie.



La gráfica en la parte de arriba de la Figura previa, corresponde a los residuales del modelo, los cuales idealmente deben parecerse a una gráfica de ruido blanco. En este caso, no se observa ningún patrón en los residuales, como se esperaría para ruido blanco. En la gráfica de autocorrelación de los residuales observamos que ninguna correlación se sale del 95% de confianza, es decir que los residuales no están correlacionados entre sí. En el histograma se observa la comparación de la distribución de los residuales con una distribución normal. En este caso, los residuales no parecen salir extremadamente de la distribución normal. Recuérdese que solamente se cuenta con 20 datos para cada serie, por lo que el histograma obtenido, bien pudo ser obtenido al generar 20 datos de una normal. Lo anterior, es indicativo de que el modelo es razonable.

Se realiza el test Q de Ljung-Box para los residuales con el objetivo de probar con cierta probabilidad si es posible asumir que los residuales se distribuyen de manera independiente, es decir, que no están correlacionados.

Ljung-Box test

```
data: Residuals from ARIMA(1,1,0) with
drift
Q* = 4.8235, df = 3, p-value = 0.1852

Model df: 2. Total lags used: 5
```

Como puede observarse, el p-valor obtenido es más grande que el nivel que se había fijado (0.05), por lo que no se rechaza la hipótesis nula de que los residuales no están correlacionados.

Posteriormente, se obtienen los valores de los parámetros del modelo y los valores en los criterios de Akaike, Bayesiano y verosimilitud.

```
Series: neoser
ARIMA(1,1,0) with drift

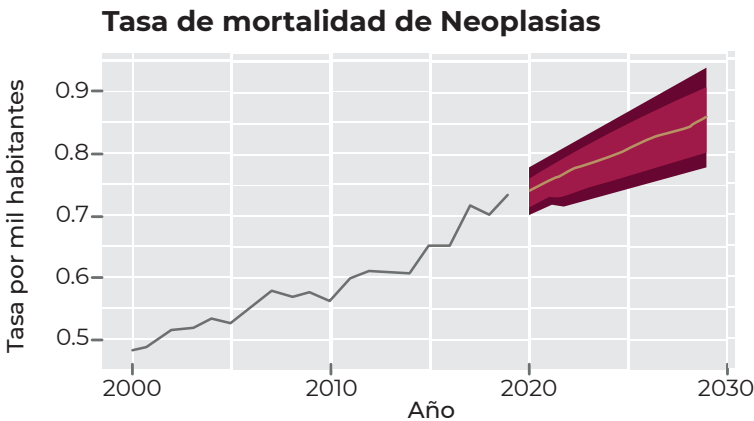
Coefficients:
      ar1      drift
    -0.4788    0.0131
s.e.    0.1961    0.0028

sigma^2 estimated as 0.0003411: log
likelihood=49.81
AIC=-93.62   AICC=-92.02   BIC=-90.78
```

El cambio medio en el tiempo (drift) estimado por el modelo es 0.0131. Se puede observar que la tendencia estimada con la prueba de Mann-Kendall por década, es bastante parecida al cambio medio estimado.

Dado que no se observa un cambio extremo en la tendencia estimada para ambas décadas y la varianza del cambio medio estimada por el modelo, es bastante pequeña, es razonable obtener una proyección de la serie para la siguiente década.

En general, no se recomienda hacer predicciones a un plazo más largo debido a que no se tienen tantos datos por serie y se estaría asumiendo que el comportamiento de la serie no cambiaría en todos esos años, lo cual es una asunción bastante fuerte del fenómeno aleatorio que se está modelando.



La línea dorada muestra las estimaciones puntuales, el intervalo guinda más oscuro denota el intervalo del 80% de confianza para la tasa de mortalidad estimada y el guinda claro el intervalo del 95% de confianza. A continuación, se muestran las estimaciones y sus intervalos para la serie de tasas de mortalidad por neoplasias.

	Point Forecast <dbl>	Lo 80 <dbl>	Hi 80 <dbl>	Lo 95 <dbl>	Hi 95 <dbl>
2020	0.7358777	0.7122094	0.7595460	0.6996801	0.7720752
2021	0.7529840	0.7262936	0.7796745	0.7121645	0.7938036
2022	0.7641081	0.7320478	0.7961685	0.7150761	0.8131402
2023	0.7780963	0.7426305	0.8135622	0.7238560	0.8323366
2024	0.7907133	0.7516358	0.8297907	0.7309495	0.8504771
2025	0.8039867	0.7618312	0.8461423	0.7395155	0.8684580
2026	0.8169459	0.7718214	0.8620704	0.7479339	0.8859579
2027	0.8300555	0.7821913	0.8779197	0.7568535	0.9032575
2028	0.8430931	0.7926171	0.8935692	0.7658967	0.9202896
2029	0.8561652	0.8032154	0.9091150	0.7751855	0.9371449

Sección 3

TABLA 1.

Principales causas de egresos hospitalarios y defunción general en la CAA y áreas de influencia

REGIÓN	TRES PRIMERAS CAUSAS DE EGRESOS	% MUNICIPIOS	TRES PRIMERAS CAUSAS DE DEFUNCIÓN	% MUNICIPIOS
CAA	Diálisis extracorpórea y ERC	59.7	DM2; con complicaciones renales	74.6
	Hernia umbilical sin obstrucción ni gangrena	17.9	DM2; sin mención de complicación	16.4
	Otras apendicitis agudas y las no especificadas	7.5	Infarto agudo al miocardio sin otra especificación	9.0
Nexapa	Otras apendicitis agudas y las no especificadas	29.2	DM2; con complicaciones renales	62.5
	Hernia umbilical sin obstrucción ni gangrena	20.8	Infarto agudo al miocardio sin otra especificación	29.2
	DM2; sin mención de complicaciones	12.5	DM2; sin mención de complicación	8.3
Bajo Atoyac	Hernia umbilical sin obstrucción ni gangrena	22.9	DM2; con complicaciones renales	47.9
	DM2; sin mención de complicaciones	12.5	Infarto agudo al miocardio sin otra especificación	31.3
	Quimioterapia/tumor	12.5	DM2; sin mención de complicación	10.4
Río Salado	Hernia umbilical sin obstrucción ni gangrena	25.0	DM2; con complicaciones renales	55.0
	Apendicitis no especificada	20.0	Infarto agudo al miocardio sin otra especificación	20.0
	Cálculo de la vesícula biliar con otras colecistitis	15.0	Cirrosis hepática alcohólica	15.0

Fuente: Unidad en Inteligencia en Salud Pública. (UISP)

ANEXO E

Análisis de la RESA Valle de Puebla–Tlaxcala con base en datos del TRI-EPA

La lista actual de sustancias consideradas por el Inventario de sustancias Tóxicas de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (TRI-EPA) es de 787 sustancias y 33 grupos de sustancias (820 entradas). Es muy importante señalar que toda sustancia que se registra en esta base datos lo hace por tener uno o más de los siguientes efectos:

- Cáncer u otras enfermedades crónicas
- Efectos agudos adversos considerables
- Efectos ambientales adversos considerables

Los códigos del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) para las “clases de actividad económica” registradas en Estados Unidos se equipararon con los que están registrados en la RESA Valle de Puebla-Tlaxcala para ubicar, mediante su código del Chemical Abstract Service (CAS), cuántas y qué sustancias reportan al inventario estadounidense estas mismas actividades. La cantidad ascendió a 277 registros en total, siendo 247 las que reportarían en común las actividades económicas de ambos estados de la RESA. Esta cantidad incluye 222 sustancias singulares y 25 grupos de compuestos, en los que la gran cantidad de sustancias que los componen complica su determinación de manera exacta. La **Tabla 1** muestra la composición cuantitativa de las estimaciones hechas para la RESA.

TABLA 1.
Composición cuantitativa de sustancias singulares y grupos de compuestos de sustancias que correspondería reportar a las clases de actividad económica de la RESA

TRI-EPA PARA TLAXCALA	TRI-EPA PARA VALLE DE PUEBLA
248 registros totales	268 registros totales
214 sustancias singulares	232 sustancias singulares
34 grupos de sustancias	36 grupos de sustancias
7 sustancias solo para Tlaxcala	23 sustancias solo para Valle de Puebla
247 registros en común	
222 sustancias singulares en común	
25 grupos de sustancias en común	

Fuente: Ecosistema Nacional Informático de Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes 2023, con base en el Inventario de Emisiones Tóxicas de la Agencia de Protección Ambiental (TRI-EPA) de los Estados Unidos.

Las **Tablas 2 y 3** muestran las sustancias singulares que corresponderían con las clases de actividad económica que se registran sólo en Tlaxcala o en Valle de Puebla, respectivamente. La **Tabla 4** muestra los 247 registros que serían reportados en común por las clases de actividad económica que comparten ambos estados. Cabe aclarar que este es un ejercicio de aproximación cualitativa, básicamente para tener una estimación del abanico de sustancias que podrían estarse usando en la región a partir de la analogía con las clases de actividad económica. En este sentido, la intención es dar un aporte pertinente para que la autoridad ambiental nacional tenga argumentos suficientes para revisar la normativa actual y, en consecuencia, homologar los criterios con los que las actividades económicas reportan su huella química en ambos lados de la frontera; es decir, que sea -al menos- con el mismo nivel de exigencia.

TABLA 2.

Sustancias singulares que le correspondería reportar a las clases de actividad económica exclusivas de la región de Tlaxcala

NÚM.	CAS	SUSTANCIA
1	120-82-1	1,2,4-Triclorobenceno
2	26471-62-5	Diisocianatos de tolueno (mezcla de isómeros)
3	74-82-8	Metano
4	68-12-2	N,N-Dimetilformamida
5	924-42-5	N-Metilol acrilamida
6	75-69-4	Triclorofluorometano (CFC-11)
7	420-46-2	Trifluoretano (CFC-113)

Fuente: Ecosistema Nacional Informático de Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes 2023, con base en el Inventario de Emisiones Tóxicas de la Agencia de Protección Ambiental (TRI-EPA) de los Estados Unidos.

TABLA 3.

Sustancias singulares y grupos de sustancias que le correspondería reportar a las clases de actividad económica exclusivas de la región del Valle de Puebla

NÚM.	CAS	SUSTANCIA
1	71-55-6	1,1,1-Tricloroetano
2	79-00-5	1,1,2-Tricloroetano
3	75-34-3	1,1-Dicloroetano
4	354-25-6	1-Cloro-1,1,2,2-tetrafluoroetano (HCFC-124a)
5	134-32-7	1-Naftilamina
6	2837-89-0	2-Cloro-1,1,1,2-tetrafluoroetano (HCFC-124)
7	75-88-7	2-Cloro-1,1,1-trifluoroetano (HCFC-133a)
8	(7664-41-7)	Amoniaco (compuestos)

9	108-93-0	Ciclohexanol
10	107-30-2	Clorometil metil éter
11	76-15-3	Cloropentafluoroetano(CFC-115)
12	98-87-3	Cloruro de benzal
13	98-88-4	Cloruro de benzoilo
14	75-43-4	Diclorofluorometano (HCFC-21)
15	76-14-2	Diclorotetrafluoroetano (CFC-114)
16	20859-73-8	Fosfuro de aluminio
17	108-38-3	m-Xileno
18	86-30-6	N-Nitrosodifenilamina
19	106-88-7	Óxido de 1,2-butileno
20	106-42-3	p-Xileno
21	62037-80-3	Sal de amonio del ácido dímero de hexafluoropropileno
22	116-14-3	Tetrafluoroetileno
23	507-63-1	Yoduro de perfluoro octilo

Fuente: Ecosistema Nacional Informático de Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes 2023, con base en el Inventario de Emisiones Tóxicas de la Agencia de Protección Ambiental (TRI-EPA) de los Estados Unidos.

TABLA 4.
Sustancias que le correspondería reportar a las clases de actividad económica que tienen en común tanto el Valle de Puebla como Tlaxcala

N°	CAS	SUSTANCIA	N°	CAS	SUSTANCIA
1	95-36-3	1,2,4-Trimetil-benceno	125	122-39-4	Difenilamina
2	95-50-1	1,2-Dicloroben-ceno	126	80308-98-1	Difluoruro de sulfurilo
3	107-06-2	1,2-Dicloroe-tano	127	(101-68-8 584-84-9 91-08-7 822-06-0 4098-71-9 822-06-0 3173-72-6 584-03-2 4098-71-9 101-68-8)	Diisocianatos
4	542-75-6	1,3-Dicloropro-pileno	128	131-11-3	Dimetil ftalato
5	106-46-7	1,4-Dicloroben-ceno	129	124-40-3	Dimetilamina
6	123-91-1	1,4-Dioxano	130	128-04-1	Dimetilditio-carbamato de sodio
7	106-94-5	1-Bromopro-pano	131	88-85-7	Dinitrobutil-fenol

8	70983-60-7	1-propanamino, 2-hidroxi-N,N,N-trimetil-, 3-[(y-w-perfluoro-C6-20-alkil)tio] derivados, cloruros	132	10049-04-4	Dióxido de cloro
9	1078715-61-3	1-propanamino, 3-amino-N-(carboximetil)-N,N-dimetil-, N-[2-[(y-w-perfluoro-C4-20-alkil)tio]acetil] derivados, sales internas	133	1314-20-1	Dióxido de torio
10	78-88-6	2,3-Dicloropropeno	134	(1746-01-6 608-93-55 7653-85-7 19408-74-3 35822-46-9 39227-28-6 57653-85-7 57117-31-4)	Dioxinas y compuestos similares a las dioxinas
11	120-83-2	2,4-Diclorofenol y sus sales	135	75-15-0	Disulfuro de carbono
12	584-84-9	2,4-Diisocianato de tolueno	136	106-89-8	Epiclorohidrina
13	105-67-9	2,4-Dimetilfenol	137	100-42-5	Estireno (fenil-etileno)
14	149-30-4	2-Mercaptobenzotiazol	138	57-24-9	Estricnina y sales
15	109-06-8	2-Metilpiridina	139	1634-04-4	Éter metil terbutílico
16	88-75-5	2-Nitrofenol	140	100-41-4	Etilbenceno
17	75-07-0	Acetaldehído	141	107-21-1	Etilenglicol
18	75-07-0	Acetaldeído	142	151-56-4	Etilenimina
19	60-35-5	Acetamida	143	74-85-1	Etileno
20	108-05-4	Acetato de vinilo	144	127087-87-0	Etoxilato de nonilfenol
21	98-86-2	Acetofenona	145	85-01-8	Fenantreno
22	75-05-8	Acetonitrilo	146	57-41-0	Fenitoina
23	68187-47-3	Ácido 1-propanosulfónico, 2-metil-, 2-[[1-oxo-3-[(y-w-perfluoro-C4-16-alkil) tio]propil]amino] derivados, sales de sodio	147	108-95-2	Fenol y sus sales
24	79-10-7	Ácido acrílico y sus sales	148	75-02-5	Fluor

25	74-90-8	Ácido cianhídrico	149	75-02-5	Fluoruro de vinilo
26	7647-01-0	Ácido clorhídrico	150	50-00-0	Formaldehído
27	79-11-8	Ácido cloroacético y sus sales	151	7723-14-0	Fósforo (amarillo o blanco)
28	13252-13-6	Ácido dímero de óxido de hexafluoropropileno	152	75-44-5	Fosgeno
29	7664-39-3	Ácido fluorhídrico	153	76-44-8	Heptacloro
30	64-18-6	Ácido fórmico	154	118-74-1	Hexaclorobenceno
31	7697-37-2	Ácido nítrico	155	70-30-4	Hexaclorofeno
32	7697-37-2	Ácido nítrico	156	123-31-9	Hidroquinona y sus sales
33	139-13-9	Ácido nitrilotriacético y sus sales	157	78-84-2	Isobutiraldehído
34	79-21-0	Ácido peracético y sus sales	158	78-79-5	Isopreno
35	355-46-4	Ácido perfluorohexanosulfónico	159	109-77-3	Malononitrilo
36	335-67-1	Ácido perfluorooctanoico	160	7439-96-5	Manganeso
37	7783-06-4	Ácido sulfhídrico	161	(7439-96-5)	Manganeso (compuestos)
38	1763-23-1	Ácido sulfónico de perfluorooctano y sus sales	162	108-39-4	m-Cresol
39	7664-93-9	Ácido sulfúrico	163	7439-97-6	Mercurio
40	79-06-1	Acrilamida	164	(7439-97-6)	Mercurio (compuestos)
41	141-32-2	Acrilato de butilo	165	80-62-6	Metacrilato de metilo
42	140-88-5	Acrilato de etilo	166	126-98-7	Metacrilonitrilo
43	96-33-3	Acrilato de metilo	167	67-56-1	Metanol
44	107-13-1	Acrlonitrilo	168	108-10-1	Metil isobutil cetona
45	107-02-8	Acroleína	169	298-00-0	Metil paratión
46	15972-60-8	Alacloro	170	72-43-5	Metoxicloro
47	107-18-6	Alcohol alílico	171	108-45-2	M-fenilendiamina
48	71-36-3	Alcohol n-butílico	172	62-75-9	N.N-Dimetilformamida

49	78-92-2	Alcohol sec-butílico	173	872-50-4	N-2-Metil-pirridona
50	75-65-0	Alcohol terbutílico	174	91-20-3	Naftaleno
51	116-06-3	Aldicarb	175	110-54-3	n-Hexano
52	309-00-2	Aldrin	176	54-11-5	Nicotina y sales
53	7429-90-5	Aluminio (humo o polvo)	177	7440-02-0	Níquel
54	61-82-5	Amitrol	178	(7440-02-0)	Níquel (Compuestos)
55	7664-41-7	Amoniaco	179	1929-82-4	Nitrapirina
56	85-44-9	Anhídrido ftálico	180	(14797-55-8)	Nitrato (compuestos)
57	108-31-6	Anhídrido maleico	181	7632-00-0	Nitrito de sodio
58	62-53-3	Anilina y sus sales	182	55-63-0	Nitroglicerina
59	(7440-36-0)	Antimonio	183	75-52-5	Nitrometano
60	(7440-36-0)	Antimonio (compuestos)	184	62-75-9	Nitrosodimetilamina
61	120-12-7	Antraceno	185	872-50-4	N-Metil-2-pirrolidona
62	(91-20-3 120-12-7 120-12-7 206-44-0 129-00-0 50-32-8 191-24-2 207-08-9)	Aromáticos policíclicos (compuestos)	186	25154-52-3	Nonilfenol
63	(7440-38-2)	Arsénico	187	1344-28-1	Óxido de aluminio (formas fibrosas)
64	(7440-38-2)	Arsénico (compuestos)	188	75-21-8	Óxido de etileno
65	1332-21-4	Asbesto (forma friable)	189	75-56-9	Óxido de propileno
66	1912-24-9	Atrazina	190	95-47-6	o-Xileno
67	26628-22-8	Azida de sodio	191	10028-15-6	Ozono
68	72-57-1	Azultripán	192	123-63-7	Paraldehído
69	7440-39-3	Bario	193	1910-42-5	Paraquat-dicloruro
70	(7440-39-3)	Bario (compuestos)	194	298-00-0	Paratión de metilo
71	(7440-39-3)	Bario (compuestos) (excepto el sulfato de bario)			
(CAS No. 7727-43-7)	195	106-51-4	p-Benzoquinona		
72	71-43-2	Benceno	196	106-44-5	p-Cresol
73	191-24-2	Benzo(g,h,i)perileno	197	40487-42-1	Pendimetalina

74	7440-41-7	Berilio	198	608-93-5	Pentaclo- robenceno (PeCB)
75	(7440-41-7)	Berilio (com- puestos)	199	29082-74-4	Percloroesti- reno
76	7440-41-7	Bifenilo	200	2795-39-3	Perfluoroocta- no sulfonato de potasio
77	(7439-92-1 35693-99-3 38380-08-0 31508-00-6 35065-29-9 35065-30-2 31508-01-7)	Bifenilos poli- clorados	201	52645-53-1	Permitrina
78	82657-04-3	Bifentrina	202	94-36-0	Peróxido de benzoilo
79	80-05-7	Bisfenol A	203	106-50-3	p-Fenile- nodiamina y sus sales
80	7726-95-6	Bromo	204	110-86-1	Piridina y sus sales
81	74-83-9	Bromuro de metilo	205	(7440-22-4)	Plata
82	25339-57-5	Butadieno (1,3-Butadieno)	206	(7440-22-4)	Plata (compuestos)
83	55406-53-6	Butilcarbama- to de 3-io- do-2-propinilo	207	7439-92-1	Plomo
84	123-72-8	Butiraldehído	208	(7439-92-1)	Plomo (com- puestos)
85	(7440-43-9)	Cadmio	209	29117-08-6	
86	(7440-43-9)	Cadmio (com- puestos)	210	60207-90-1	Propiconazol
87	554-13-2	Carbonato de litio	211	115-07-1	Propileno
88	120-80-9	Catecol	212	123-38-6	Propionalde- hído
89	75-86-5	Cianhídrica de la acetona	213	91-22-5	Quinoleína y sus sales
90	(57-12-5)	Cianuro (com- puestos)	214	(7782-49-2)	Selenio
91	110-82-7	Ciclohexano	215	(7782-49-2)	Selenio (com- puestos)
92	57-74-9	Clordano	216	122-34-9	Simazina
93	7782-50-5	Cloro	217	64-67-5	Sulfato de dietilo
94	108-90-7	Clorobenceno (monocloro- benceno)	218	77-78-1	Sulfato de dimetilo
95	75-45-6	Clorodifluoro- metano	219	463-58-1	Sulfuro de carbonilo

96	75-45-6	Clorodifluorometano (HCFC-22)	220	7783-06-4	Sulfuro de hidrógeno
97	25167-80-0	Clorofenoles	221	7440-28-0	Talio
98	67-66-3	Cloroformo	222	(7440-28-0)	Talio (compuestos)
99	74-87-3	Clorometano	223	79-94-7	Tetrabromobisfenol A
100	1897-45-6	Clorotalonil	224	127-18-4	Tetracloroetileno
101	18278-96-1	Cloruro de 1-(3- Cloroalil)-3,5,7-triasa-1-azoniaadamantano	225	56-23-5	Tetracloruro de carbono
102	107-05-1	Cloruro de alilo	226	7550-45-0	Tetracloruro de titanio
103	100-444-7	Cloruro de bencilo	227	70969-47-0	Tioles, C8-20, γ - ω perfluoro, telómeros con acrilamida
104	75-09-2	Cloruro de metileno (Diclorometano)	228	62-56-6	Tiourea
105	7440-48-4	Cobalto	229	137-26-8	Tiramo
106	(7440-48-4)	Cobalto (compuestos)	230	584-84-9	Toluendiisocianatos (mezcla de isómeros)
107	7440-50-8	Cobre	231	108-88-3	Tolueno
108	(7440-50-8)	Cobre (compuestos)	232	8001-35-2	Toxafeno
109	8001-58-9	Creosota	233	79-01-6	Tricloroetileno
110	1319-77-3	Cresol (mezcla de isómeros y sales)	234	10294-34-5	Tricloruro de boro
111	(7440-47-3)	Cromo	235	121-44-8	Trietilamina
112	(7440-47-3)	Cromo (compuestos)	236	76-37-07-2	Trifluoruro de boro
113	(7440-47-3)	Cromo (compuestos) (a excepción de la cromita mineralizada en la región de Transvaal)	237	1582-09-8	Trifluralina
114	4170-30-3	Crotonaldehído	238	1313-27-5	Trióxido de molibdeno
115	98-82-8	Cumeno	239	51-79-6	Uretano
116	80-15-9	Cumeno hidroperóxido	240	(7440-62-2)	Vanadio

117	(109-86-4 110-80-5 111-76-2 110-49-6 111-77-3 111-90-0 88917-22-0)	Determinados éteres de glicol	241	(7440-62-2)	Vanadio (compuestos)
118	117-81-7	Di(2-etilhexil) ftalato	242	(81-81-2)	Warfarina y sales
119	132-64-9	Dibenzofurano	243	13-30-20-7	Xileno (mezcla de isómeros)
120	84-74-2	Dibutilftalato	244	74-88-4	Yoduro de metilo
121	1918-00-9	Dicamba	245	(7440-66-6)	Zinc
122	1982-69-0	Dicamba de sodio	246	(7440-66-6)	Zinc (compuestos)
123	77-73-6	Dicloropenta-dieno	247	7440-66-7	Zinc (humo o polvo)
124	111-42-2	Dietanolamina y sus sales			

Fuente: Ecosistema Nacional Informático de Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes 2023, con base en el Inventario de Emisiones Tóxicas de la Agencia de Protección Ambiental (TRI-EPA) de los Estados Unidos.

ANEXO F

Sección 1. Diseño del estudio

Se realizó un estudio transversal de prevalencia de enfermedad renal crónica, el tamaño muestral final fue de 914 adolescentes del estado de Tlaxcala. El estudio fue realizado en adolescentes de 11 a 18 años, sin distinción de sexo, sin considerar el estado socioeconómico y que radicarán en el estado de Tlaxcala; no se seleccionó a individuos con diagnóstico de ERC o que hubieran cursado por terapia de reemplazo renal. La información general, la exploración física y clínica se registró a través de un cuestionario y se tomaron muestras de sangre y orina. El estudio en campo fue realizado entre septiembre 2019 y marzo 2021. Mientras que el procesamiento de las muestras y el análisis de datos comenzó en marzo del 2021 hasta la actualidad.

Exploración física

Se midieron el peso, la altura y la circunferencia abdominal y se calcularon las puntuaciones Z para la altura y el peso, así como el IMC, con la aplicación STAT Growth Charts versión 3.2 que utiliza los datos de crecimiento del Centro Nacional de Estadísticas de Salud 2000 Centro para el Control de Enfermedades.

La presión arterial se midió por duplicado y en reposo, y los sujetos se clasificaron posteriormente en la categoría de “presión arterial alta” si la presión arterial sistólica o diastólica fue mayor al percentil 90 para sexo y altura (National High Blood Pressure Education Program Working Group on High Blood Pressure in Children and Adolescents, 2004).

Determinación de metales

La cuantificación de metales (aluminio, cadmio, cobre, plomo, manganeso, mercurio, molibdeno, selenio, estaño, arsénico, estroncio, Zinc y vanadio) en muestras de orina se realizó por el Laboratorio de Investigación y Servicio en Toxicología (LISTO) del Departamento de Toxicología del Cinvestav bajo la supervisión de la Dra. Luz María Del Razo.

Este laboratorio está acreditado como Laboratorio de Investigación, por su competencia técnica y sistema de gestión de calidad por la entidad mexicana de acreditación (ema) a.c, bajo la Norma NMX-EC-17025-IMNC-2018 (ISO/IEC 17025:2017). La acreditación obtenida INV-0007-013/19 es para seis alcances. Entre los alcances acreditados se encuentran los que conciernen a algunas evaluaciones relacionadas con el presente proyecto, es decir la determinación de elementos metálicos inorgánicos por Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) en muestras ambientales y biológicas.

La determinación de los elementos en las muestras por ICP-MS permite la evaluación multielemental donde la muestra se nebuliza e ingresa al plasma generado por el gas argón. Los iones formados en el plasma se introducen en el analizador

de masas (cuádrupolos), donde se clasifican según su relación de masa/carga y son dirigidos al detector dual simultáneo, el cual genera una señal que es proporcional a la concentración del elemento.

Metodología

Descripción del método ICP-MS utilizado en las muestras de orina. La determinación de bario, berilio, litio, níquel y yodo en las muestras de orina se llevó a cabo por Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) empleando el modelo NexION 300D marca Perkin Elmer, donde la muestra se nebuliza e ingresa al plasma generado por el gas argón. Los iones formados en el plasma se introducen en el analizador de masas (cuádrupolos), donde se clasifican según su relación de masa/carga y son dirigidos al detector dual simultáneo, el cual genera una señal que es proporcional a la concentración del elemento.

Se realizó un procedimiento interno para la optimización del equipo y se verificó que todos los parámetros de calificación quedaran dentro de lo establecido por el fabricante. La cuantificación de los elementos se realizó mediante un método validado donde con base en una gráfica de calibración con la evaluación de muestras duplicadas para los elementos incluyendo muestras blanco y al menos 6 diferentes concentraciones, a partir del estándar “Multi-Element Calibration 2, 3, 4 y 5”, marca Perkin Elmer seleccionadas a partir de estandarizaciones previas donde se evaluó la linealidad de la respuesta.

Como control de calidad analítico, se evaluó la exactitud y precisión de la determinación, aceptando que el coeficiente de variación analítica no fuera mayor al 10% en los duplicados de la muestra. Para la evaluación de la exactitud se emplearon estándares multielementos de referencia de orina, los cuales fueron analizados junto con las muestras de estudio, obteniendo un porcentaje de exactitud en el análisis entre 80–120%.

Como control de calidad, se utilizaron seis muestras de referencia certificadas de elementos traza en orina con diferentes concentraciones, adquiridas del Institut National de Santé Publique Québec (INSPQ):

- QM-U-Q1822
- QM-U-Q1823
- QM-U-Q1824
- QM-U-Q1904
- QM-U-Q1905
- QM-U-Q1906

Determinación de fluoruro

El análisis se realizó en el Laboratorio de Toxicología renal del Cinvestav, bajo la supervisión del Dr. Olivier Barbier, con el apoyo del Dr. Manolo Ortega, toxicólogo.

Para determinar las concentraciones de F⁻ en las muestras de orina, se utilizó el método de ion selectivo, mediante el uso de un electrodo selectivo a F⁻ (Thermo Orion 9609 BN). El electrodo consta de una membrana de cristal de fluoruro de lantano (LaF₃) dopado con fluoruro de europio (EuF₂) para mejorar la conductividad y mide la diferencia del potencial generado por las concentraciones de F⁻ en la muestra. Durante

el análisis, se utilizará una solución TISAB II (Total Ionic Strength Adjustment Buffer) para el ajuste de la fuerza iónica total, así como del pH (~5). Además, esta solución contendrá CDTA (ciclohexileno dinitrilo tetra acetato) el cual forma quelatos estables con Fu^{3+} y Al^{3+} liberando al ion F^- de sus complejos, lo que favorece su cuantificación.

Las concentraciones de F^- se determinaron a partir de la conversión de la lectura en milivolts a mg/l, usando una curva estándar construida a partir de cinco concentraciones de fluoruro de sodio (0.1, 0.3, 1, 3 y 10 $\mu g/ml$), también se realizó la cuantificación de controles de calidad provenientes del Laboratorio del Instituto Nacional de Salud Pública de Quebec Canadá (INSPQ), un control de calidad alto con una concentración de 6.46 mg/l (INSPQ/Toxicologie - PC- U-F1116 Urine fluoride), así como de un control de calidad bajo con una concentración de 0.8246 mg/l (INSPQ/Toxicologie - PC-U-F1113 Urine fluoride).

Determinación de plaguicidas

Las muestras de orina se analizaron en el Laboratorio Farmacocinética Aplicada del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara, bajo la supervisión del Dr. Alejandro Aarón Peregrina Lucano.

Se determinó la concentración urinaria de 23 compuestos en una submuestra de 400 participantes: Acetoclor, Ametrina, Atrazina, Carbendazim, Carbofuran, Diazinon, Dimetoato, Emamectina, Imazalil, L-cihalotrin, Malation, Meclizina, Metomil, Metoxuron, Molinate, Paration, Picloram, Piraclostrobim, Thiabendazole, Glifosato, Glufosinato, AMPA y 2-4 D.

Metodología

- Manejo de muestra.

Para compuestos no polares se realizó de la siguiente manera: a 1 ml de orina se le agregó 1 ml de n-Hexano, se agitó en vortex marca Vortex Genie 2, durante 3 minutos, posteriormente se centrifugó a 4500 rpm, a 4°C durante 5 minutos en centrifuga refrigerada marca Eppendorf, modelo 5702 R. El sobrenadante se extrajo y se colocó en otro tubo, se evaporó a sequedad en un módulo de calentamiento y flujo de nitrógeno marca Thermo Scientific, modelo Reacti- Therm III #TS-18824, se reconstituyó con fase móvil y se inyectó al HPLC-MS/MS.

Para compuestos polares, se realizó de la siguiente manera: a 1 ml de orina se le adicionó 100 μl de ácido fórmico y 100 μl de dicloro metano, se agitó en Vortex marca Vortex Genie 2, durante 3 minutos, posteriormente se centrifugó a 4500 rpm, a 4°C durante 5 minutos en centrifuga refrigerada marca Eppendorf, modelo 5702 R. El sobrenadante se inyectó al HPLC-MS/MS.

- Determinación analítica en el HPLC-MS/MS fue la siguiente:

Condiciones cromatográficas.

Para compuestos no polares. HPLC modelo 1200, marca Agilent Technologies, columna cromatográfica Zorbax Eclipse XDB C-18, 2.1 x 5.0 mm, 3.5 micrometros. Fase móvil Agua con ácido fórmico al 0.1% y formiato de amino al 0.1%, Acetonitrilo, gradiente de 60:40 a 0:100. Flujo de 0.5 ml/min, 3 minutos.

Para compuestos polares. HPLC modelo 1200, marca Agilent Technologies, columna cromatográfica Zorbax Eclipse XDB C-18, 2.1 x 5.0 mm, 3.5 micrometros. Fase móvil 30:70 Agua con Formiato de amonio al 0.1%, Acetonitrilo. Flujo de 0.5 ml/min, 1 minuto.

Condiciones del espectro de masas-masas: Se identificó y midió el ion precursor y el ion producto de cada analito.

La validación de las determinaciones se realizó con un ejercicio de intercalibración con Prontius Laboratorios S.A. de C.V. considerando la precisión, linealidad del sistema, la exactitud, repetibilidad, precisión (intermedia, tolerancia interdía y analista), linealidad del método, límites de detección y de cuantificación; utilizando la metodología de la "GUÍA DE VALIDACIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS EDITADA POR EL COLEGIO NACIONAL DE QUÍMICOS FARMACÉUTICOS BIÓLOGOS MÉXICO, A. C."

Determinación de biomarcadores de daño renal

Se identificaron los siguientes biomarcadores de daño renal temprano: KIM-1, Alfa-1- Microglobulina, Clusterina, Cistatina C, Lipocalina-2 /NGAL y Osteopontina (OPN). Los kits que se utilizaron son: 1) MILLIPLEX MAP Human Kidney Injury Magnetic Bead Panel 2 - Toxicity Multiplex Assay para la detección de Alfa-1- Microglobulina, Clusterina, Cistatina C, Lipocalina-2 / NGAL y Osteopontina (OPN) y 2) MILLIPLEX MAP Panel de perlas magnéticas para lesiones renales humanas 1 - Ensayo multiplex de toxicidad para la detección de KIM-1.

La medición de albuminuria se realizó con el kit RANDOX MICROALBUMIN (mALB)-ensayo inmunturbidimétrico para albúmina. La creatinina urinaria se cuantificó con el kit CR510 (RANDOX Laboratories LTD) con la reacción de creatinina con picrato alcalino. La eGFR se estimó con la ecuación de Schwartz (Schwartz y Furth, 2007).

Se determinaron con el equipo Merck-Millipore MagPix disponible en el Laboratorio 25 del Departamento de Toxicología del Cinvestav.

Metodología

Para la determinación de biomarcadores de daño renal en orina, se utilizó el sistema de microesferas MILLIPLEX® xMAP®-Human Kidney Toxicity Panel 3 y 4 (Millipore Corporation), basado en la tecnología Luminex® xMAP, que permite cuantificar de manera simultánea y en la misma muestra de orina, biomarcadores de daño renal temprano incluyendo: a-IMG, Cys-C, NGAL, clusterina, OPN, KIM-1.

El sistema Luminex® se basa en la combinación de un inmunoensayo enzimático tipo sándwich (ELISA) y la detección por un sistema de imagen charge-coupled

device (CCD). Cada microesfera está marcada en su interior, con una proporción determinada de dos fluorocromos y además, se encuentra cubierta con anticuerpos específicos de captura para cada biomarcador. Una vez que el analito de interés es capturado por las microesferas, se emplea un segundo anticuerpo biotinilado y un conjugado de streptavidina-ficoeritrina (S-PE), como molécula reportera para completar la reacción.

Las microesferas son analizadas en un procesador digital (MAGPIX® de Luminex Corp.) donde un magneto captura las microesferas en una monocapa y dos diodos emiten dos espectros diferentes, uno (635 nm) que excita al colorante interno de las microesferas, mientras que el otro (525 nm) excita a la molécula reportera. El equipo toma una imagen con el sistema CCD y el resultado del bioensayo se basa en la identificación de la fluorescencia emitida por cada microesfera, así como la cuantificación de la fluorescencia emitida por la molécula reportera.

Se utilizaron controles y estándares proporcionados por el fabricante para preparar una curva estándar logarítmica de 5 puntos. Se evaluaron los coeficientes de variación analítica que varió entre el 5 y el 12% en los duplicados de la muestra. El porcentaje de recuperación se evaluó empleando los estándares y controles proporcionados por el fabricante, los cuales fueron analizados junto con las muestras de estudio, obteniendo un porcentaje de recuperación entre 80–120%.

Sección 2. Metodología para la construcción del indicador de medición multidimensional de pobreza

Construcción del índice de pobreza

Para evaluar las características socioeconómicas de la población de estudio, se realizó una aproximación a la metodología de la medición multidimensional de la pobreza propuesta por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval). Esta metodología mide el bienestar económico, las carencias asociadas al ejercicio de los derechos sociales como el acceso a los servicios de salud, a la seguridad social, a los servicios básicos en la vivienda, calidad y espacios de la vivienda, rezago educativo y acceso a la alimentación, así como la cohesión social, esta última dada por las características geográficas, sociales y culturales, del territorio (Coneval, 2019).

Para medir el bienestar económico, se calculó el ingreso per cápita en el hogar y se contrastó con la línea de pobreza por ingresos y de pobreza extrema por ingresos de acuerdo con el año en el que se realizó el levantamiento de la información y el lugar de residencia (Coneval, 2021a).

La carencia en el acceso a los servicios de salud incluyó aquellas personas que negaron contar con acceso a servicios médicos públicos y/o privados. Por su parte, la carencia a la seguridad social comprendió aquellos que negaron tener acceso a servicios de instituciones como IMSS, ISSSTE, Sedena y/o Pemex (Coneval, 2019).

Para evaluar la carencia en la calidad y espacios de la vivienda, se clasificaron como carentes, aquellos que reportaron materiales de construcción precarios en paredes, techo, suelo y/o la razón de personas por cuarto (hacinamiento) es mayor que 2.5. En cuanto a la carencia en los servicios básico en la vivienda, se incluyeron aquellos que negaron contar con servicios de agua potable al interior de la vivienda, drenaje provisto por los servicios municipales, no disponen de energía eléctrica y/o el combustible para cocinar o calentar los alimentos es leña o carbón sin chimenea (Coneval, 2019).

Respecto al rezago educativo, que se evaluó en los padres de los participantes, se consideró con rezago si al menos uno de ellos no concluyó el nivel educativo básico vigente, conforme a su edad (Coneval, 2021b).

En cuanto a la carencia por acceso a la alimentación nutritiva y de calidad, el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2019) considera a la población en hogares con inseguridad alimentaria moderada o severa o limitación en el consumo de alimentos. Para este reporte se empleó la frecuencia de consumo de carne a la semana como una aproximación a la inseguridad alimentaria. Esto basado en un estudio realizado en México, en el que se reportó que el consumo de carne y lácteos, tres veces a la semana redujo la posibilidad de presentar inseguridad alimentaria en el hogar (Mundo-Rosas et al., 2013).

La definición de pobreza comprende a las personas que tienen ingresos insuficientes para adquirir bienes y servicios para satisfacer sus necesidades (línea de pobreza por ingresos) y además presentan al menos uno de los indicadores de carencia social descritos anteriormente. La población en situación de pobreza moderada comprende aquellos pobres que tienen un ingreso superior a la línea de pobreza extrema, mientras que la población en situación de pobreza extrema incluye aquellos con un ingreso por debajo de la línea de pobreza extrema y presentan tres o más indicadores de carencia social (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, 2019).

Clasificación de pobreza

Pobreza moderada: Los sujetos que tuvieron al menos una carencia social + ingresos superiores a la línea de pobreza extrema, pero por debajo de la línea de pobreza por ingresos.

Pobreza extrema: Los sujetos que tuvieron tres o más carencias sociales + ingresos inferiores a la línea de pobreza extrema.

Sección 3. Metodología para el análisis estadístico de la información

La submuestra final para los análisis está conformada por 914 sujetos (**Figura 1**). Se excluyeron a los que no contaron con información de la tasa de filtración glomerular.

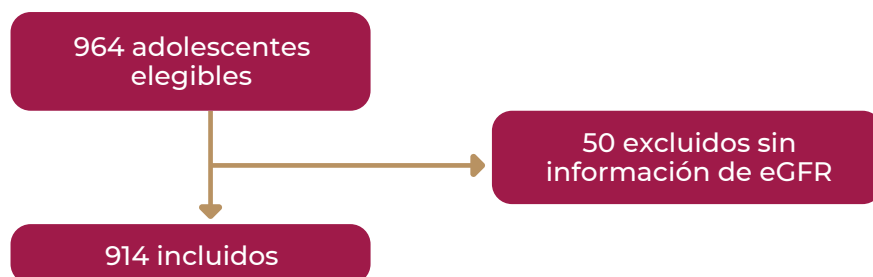


FIGURA 1.
Selección de la muestra para este reporte.

Preprocesamiento de la base de datos

El preprocesamiento de la base de datos consistió en realizar la limpieza de la base y los análisis descriptivos de las variables. Posteriormente, se imputaron las variables con observaciones con datos faltantes no al azar y datos perdidos al azar. Finalmente, se realizó la corrección por creatinina, el análisis de “outliers” de las variables continuas y el análisis descriptivo final. Los detalles de cada etapa se describen a continuación.

Imputación de biomarcadores de daño renal temprano y exposición

Los biomarcadores de daño renal y de exposición que tuvieron observaciones con valores por debajo del límite de detección (LDD), se consideraron como datos faltantes no al azar, por esta razón, la imputación de estas observaciones se realizó con el algoritmo iterativo de Cadenas de Márkov Monte Carlo (MCMC) de aumento de datos, que consiste en dos pasos: 1) asignar un valor con la información de la estructura de la covarianza bajo el supuesto de distribución truncada a la izquierda; y 2) estimar los parámetros media y varianza a partir de los datos del primer punto. La secuencia de los dos pasos genera una cadena de Márkov, que después de múltiples iteraciones, genera valores adecuados para las observaciones por debajo del LDD (Palarea-Albaladejo y Martín-Fernández, 2015), para esta imputación se empleó el programa estadístico R versión 15.

Imputación de los datos perdidos al azar

Posterior a realizar la imputación de los datos por debajo del LDD, se identificaron las variables con valores perdidos al azar (entre el 5 y 30%) en el set de datos. Estas variables se imputaron con el algoritmo “missforest”, que es un método no paramétrico

para variables mixtas (Stekhoven y Bühlmann, 2012), es decir, se imputan variables tanto cuantitativas como cualitativas.

Corrección de la concentración de biomarcadores de daño renal y de los agentes potencialmente tóxicos por creatinina

Para la corrección por creatinina se basó en la siguiente ecuación.

$$\text{Biomarcador Creatinina} = \text{ConcBM} / \text{UCreatinina}.$$

Donde *Biomarcador Creatinina* representa la concentración de cada biomarcador corregido por creatinina:

- *ConcBM*: concentración de biomarcador del espécimen en ng/ml.
- *UCreatinina*: creatinina urinaria para cada espécimen en mg/ml.

Evaluación de valores atípicos (outliers)

Posterior a la corrección de las concentraciones por la dilución de orina y con la finalidad de identificar valores extremos, las variables se normalizaron con una transformación logarítmica, se escalaron y se identificaron las observaciones con ± 7 desviaciones estándar. Se crearon nuevas variables de exposición sin estos valores, mismas que se utilizaron para realizar análisis de sensibilidad en el modelaje estadístico, descrito más adelante.

1. Metodología para evaluar la asociación individual de los biomarcadores de daño renal temprano de función renal con los agentes potencialmente tóxicos.

Objetivo del análisis

Evaluar la asociación individual de los biomarcadores de daño renal temprano: NGAL, Clusterina, Cistatina C, osteopontina, a1-MG, KIM-1 y los marcadores clínicos de función renal: tasa de filtración glomerular estimada (eGFR por sus siglas en inglés) y la razón albúmina creatinina (RAC) con las variables de exposición que comprendió las determinaciones urinarias de metales y arsénico: aluminio (Al), vanadio (V), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), arsénico (As), selenio (Se), estroncio (Sr), molibdeno (Mo), estaño (Sn), plomo (Pb), litio (Li), níquel (Ni), Yodo (I), bario (Ba), fluoruro y plaguicidas: malatión, paratión, picloram, glifosato, 2-4 D, glufosinato, molinato y AMPA.

Análisis descriptivo

Las características generales de la población de estudio y las concentraciones urinarias de los biomarcadores de daño renal temprano se analizaron a través de proporciones para las variables categóricas y medidas de resumen como mediana y percentiles, debido a la asimetría de los datos. Las variables de exposición se clasificaron en terciles, con el propósito de tener un gradiente de los niveles de exposición en la muestra. Para los niveles de molinato, paratión, y 2-4D, se clasificaron a los sujetos en dos grupos: con valores detectables y sin valores detectables.

Análisis bivariado

Para relacionar los biomarcadores de daño renal temprano, la tasa de filtración glomerular y la razón albúmina creatinina con las concentraciones urinarias de metales, fluoruro, plaguicidas y los potenciales confusores en escala continua, se realizaron correlaciones de Spearman. Para evaluar la relación de las co-variables cualitativas con el estado de salud renal, se emplearon diferencias de medianas con la prueba de U de Mann–Whitney para variables dicotómicas y la prueba de Kruskal-Wallis para variables politómicas.

Modelaje estadístico

Para evaluar la asociación de los biomarcadores de daño renal y de función renal con las concentraciones urinarias de los agentes potencialmente tóxicos, los biomarcadores de daño renal temprano y la tasa de filtración glomerular, se transformaron a escala logarítmica. Los agentes potencialmente tóxicos se incluyeron en los modelos, como variables categóricas, con puntos de corte en los terciles, donde el tercil 1 representa los niveles más bajos de exposición y el tercil 3 los niveles más altos para la muestra. Se realizaron modelos de regresión lineal múltiple para los biomarcadores de daño renal temprano y la tasa de filtración glomerular, con errores estándares robustos, para evitar la influencia de valores altos, y la presencia de heteroscedasticidad en los residuos. Para la asociación de la razón albúmina creatinina se realizaron modelos de regresión logística. Las variables iniciales de ajuste fueron aquellas que resultaron marginal o estadísticamente significativas en el análisis bivariado (valor $p < 0.10$). En el modelo final, se conservaron aquellas que resultaron estadísticamente significativas o que aportaron al modelo. Posteriormente, para los modelos de regresión lineal se estimaron los efectos marginales de la asociación, con la finalidad de que los resultados fueran interpretables y observar el efecto en los niveles de exposición. Debido a que los biomarcadores de daño renal temprano y la tasa de filtración glomerular se transformaron logarítmicamente, los resultados marginales se reportaron como medias geométricas ajustadas con sus intervalos de confianza. Para los modelos logísticos, se reportaron las razones de momios (RM). Como parte del análisis de sensibilidad, se evaluaron los efectos en los coeficientes al utilizar las variables sin valores extremos (datos no reportados en el presente reporte). Las variaciones en los coeficientes no impactaron en las conclusiones de la asociación, por lo que en el análisis final se conservó el set de datos completos. Los análisis se realizaron con el programa STATA, versión 15.

TABLA 1.

Promedios ajustados de la asociación entre la tasa de filtración glomerular, la albuminuria y los marcadores de daño renal temprano con el grado de exposición a metales, metaloides, fluoruro y plaguicidas

- CONCENTRACIONES URINARIAS DE NGAL (ng/mg-CREAT)													
Nivel urinario de exposición	Aluminio	Vanadio**	Cobre**	Arsénico**	Selenio	Plomo**	Fluoruro*	Nivel urinario de exposición	Mala-tión*	Picloram*	Glifosato	Glufosinato*	AM-PA*
Baja	4.05	2.74	3.11	2.82	4.63	2.96	3.56	Baja	3.80	3.48	4.27	3.75	3.61
Media	3.94	3.97	4.03	3.59	3.84	4.91	3.66	Media	3.22	3.97	3.83	3.87	4.47
Alta	5.11	7.49	6.49	8.07	4.58	5.60	6.24	Alta	6.66	5.78	4.98	5.62	4.96
- CONCENTRACIONES URINARIAS DE CLUSTERINA (ng/mg-CREAT.)													
Nivel urinario de exposición	Aluminio*	Vanadio	Cobre**	Arsénico*	Selenio*	Plomo*	Fluoruro*	Nivel urinario de exposición	Mala-tión*	Picloram*	Glifosato~	Glufosinato*	AM-PA*
Baja	101.49	106.80	79.19	92.97	98.63	88.46	91.34	Baja	94.38	82.24	109.52	87.72	87.58
Media	91.97	95.85	97.97	86.49	86.01	101.03	94.21	Media	87.26	97.98	83.74	93.09	97.47
Alta	124.89	113.84	150.34	145.04	137.45	130.45	135.51	Alta	141.21	140.15	126.82	142.37	132.79
- CONCENTRACIONES URINARIAS DE CISTATINA-C (ng/mg-CREAT.)													
Nivel urinario de exposición	Aluminio~	Vanadio	Cobre*	Arsénico~	Selenio~	Plomo*	Fluoruro*	Nivel urinario de exposición	Mala-tión~	Picloram**	Glifosato~	Glufosinato	AMPA
Baja	0.99	0.81	0.77	0.91	1.04	0.86	1.13	Baja	1.10	0.60	0.92	0.79	0.79
Media	0.73	0.80	0.76	0.66	0.73	0.87	0.74	Media	0.63	0.83	0.58	0.77	0.77
Alta	0.86	0.97	1.07	1.04	0.83	0.84	0.76	Alta	0.91	1.08	1.18	1.03	0.88
- CONCENTRACIONES URINARIAS DE A1-MICROGLOBULINA (ng/mg-CREAT.)													
Nivel urinario de exposición	Aluminio~	Vanadio*	Cobre*	Arsénico*	Selenio~	Plomo*	Fluoruro*	Nivel urinario de exposición	Mala-tión~	Picloram**	Glifosato*	Glufosinato*	AM-PA*
Baja	16.89	12.09	11.06	12.15	18.31	12.02	13.14	Baja	15.12	9.23	13.60	12.85	11.40
Media	11.00	10.98	12.18	9.77	10.49	13.09	12.66	Media	9.77	14.50	10.11	11.16	13.56
Alta	16.02	22.45	22.14	25.11	15.49	18.93	17.91	Alta	20.15	19.79	21.66	20.75	17.24
- CONCENTRACIONES URINARIAS DE KIM-1 (ng/mg-CREAT.)													
Nivel urinario de exposición	Aluminio	Vanadio**	Cobre**	Arsénico*	Selenio~	Plomo**	Fluoruro*	Nivel urinario de exposición	Mala-tión~	Picloram**	Glifosato*	Glufosinato*	AM-PA*
Baja	0.17	0.15	0.14	0.15	0.19	0.16	0.16	Baja	0.17	0.15	0.19	0.15	0.16
Media	0.19	0.20	0.19	0.17	0.15	0.20	0.18	Media	0.16	0.17	0.18	0.19	0.16
Alta	0.21	0.22	0.25	0.26	0.23	0.21	0.22	Alta	0.24	0.23	0.20	0.23	0.24

- CONCENTRACIONES URINARIAS DE OSTEOPONTINA (ng/mg-CREAT.)													
Nivel urinario de exposición	Aluminio	Vanadio	Cobre*	Arsénico	Selenio	Plomo	Fluoruro*	Nivel urinario de exposición	Malatión**	Picloram*	Glifosato*	Glufo-sinato*	AM-PA*
Baja	50.21	41.76	35.53	46.83	41.73	40.82	42.48	Baja	51.40	32.90	37.23	36.59	33.57
Media	41.16	37.90	37.29	38.81	34.26	43.09	40.53	Media	35.33	35.37	33.77	36.75	39.70
Alta	47.67	37.90	45.31	37.29	41.77	38.52	34.70	Alta	37.32	52.49	53.92	50.39	45.90
- TASA DE FILTRACIÓN GLOMERULAR (EGFR mil/min/1.73 m²).													
Nivel urinario de exposición	Aluminio**	Vanadio*	Cobre	Arsénico	Selenio~	Plomo*	Fluoruro	Nivel urinario de exposición	Malatión	Picloram~	Glifosato	Glufo-sinato	AM-PA**
Baja	102.44	102.85	105.48	104.77	106.17	102.99	103.75	Baja	105.60	107.28	106.62	105.52	102.90
Media	105.59	104.69	105.79	104.12	103.17	105.71	106.00	Media	105.27	103.42	104.34	104.95	104.90
Alta	107.33	107.82	104.03	106.42	105.99	106.63	105.56	Alta	104.43	104.03	104.36	104.83	106.89
- RM DE LA RAZÓN ALBUMINA/CREATININA (RAC ≥ 30 vs <30 mg/g CREAT.)													
Nivel urinario de exposición	Aluminio~	Vanadio*	Cobre**	Arsénico**	Selenio*	Plomo**	Fluoruro**	Nivel urinario de exposición	Malatión*	Picloram*	Glifosato	Glufo-sinato*	AM-PA**
Baja	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	Baja	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Media	0.60	0.78	2.64	1.62	1.47	1.63	1.23	Media	0.90	0.72	0.89	0.83	1.56
Alta	1.23	1.92	4.50	2.70	2.93	2.85	2.85	Alta	2.22	1.51	0.84	1.78	3.36

RM: Razón de momios; Baja: Tercil 1; Media: Tercil 2; Alta: Tercil 3; Modelos lineales y logísticos ajustados por edad, sexo, índice de masa corporal y pobreza. *Indica diferencias significativas respecto a la exposición alta (tercer tercil). **Indica diferencias significativas respecto la exposición media y alta (segundo y tercer tercil). ~Indica diferencia significativa en la exposición media (segundo tercil).

Sección 4. Tablas de análisis estadístico complementarias

TABLA 1.
Concentraciones urinarias de los biomarcadores de daño renal temprano (ng/ml) n=914

BIOMARCADOR	LDD	<LDD		≥LDD		MIN.	MEDIANA	MAX.
		N	%	N	%			
NGAL	<0.02	9	0.98	905	99.02	<LDD	3.91	263.16
Clusterina	<4.9	5	0.55	909	99.45	<LDD	99.12	12995.87
Cistatina C	<0.02	58	6.35	856	93.65	<LDD	0.88	52.92
Osteopontina	<0.6	6	0.66	908	99.34	<LDD	45.66	1377.04
α1-MG	<1	165	18.05	749	81.95	<LDD	20.29	692.07
KIM1	<0.05	83	9.08	831	90.92	<LDD	0.19	4.07

Nota: LDD: Límite de detección

TABLA 2.
Concentraciones urinarias de metales(oídes)(ng/ml) y fluoruro(mg/l) (n=914)

METALES	LDD	<LDD		≥LDD		MIN.	MEDIANA	MAX.
		N	%	N	%			
Aluminio	< 0.045	104	11.4	810	88.6	<LDD	15.74	182.61
Vanadio	< 0.028	108	11.8	806	88.2	<LDD	7.42	39.73
Manga- neso	< 0.065	511	55.9	403	44.1	<LDD	<LDD	26.62
Cobre	< 0.112	0	0	914	100	4.26	19.88	503.46
Zinc	< 0.368	0	0	914	100	18.70	445.62	3210.63
Arsénico	< 0.041	1	0.1	913	99.9	<LDD	24.58	279.67
Selenio	< 0.124	18	2	896	98	<LDD	55.19	183.86
Estroncio	< 0.529	8	0.9	906	99.1	<LDD	107.04	514.69
Molibdeno	< 0.011	0	0	914	100	3.85	62.48	855.13
Cadmio	< 0.069	838	91.7	76	8.3	<LDD	<LDD	13.45
Estaño	< 0.131	503	55.0	411	45.0	<LDD	<LDD	46.22
Mercurio	< 0.079	843	92.2	71	7.8	<LDD	<LDD	11.38
Plomo	< 0.065	8	0.9	906	99.1	<LDD	4.19	71.58
Litio	< 0.081	3	0.3	911	99.7	<LDD	46.56	528.99
Berilio	< 0.05	911	99.7	3	0.3	<LDD	<LDD	26.83
Níquel	< 0.043	134	14.7	780	85.3	<LDD	3.62	147.93
Yodo	---	0	0	914	100	0.27	265.73	1056.26
Bario	< 0.060	0	0	914	100	0.16	3.02	78.96
Fluoruro	<0.1	8	0.9	906	99.1	<LDD	0.55	2.16

Nota: LDD: Límite de detección

TABLA 3.
Concentraciones urinarias de metales y arsénico en la población que superaron los valores de referencia

ELEMENTO	VALORES DE REFERENCIA	SUPERIORES AL VALOR DE REFERENCIA	
		N	%
Arsénico	<20 ng/ml ^a	604	66.1
Níquel	4.5 ng/ml ^f	353	38.6
Plomo	< 5ng/ml ^d	341	37.3
Cobre	< 30 ng/ mg creatinina ^b	299	32.7
Vanadio	<10 ng/ml ^b	297	32.5
Yodo	360 µg/l ^a	267	29.2
Selenio	90 ng/ml ^a	153	16.7
Estroncio	< 220 ng/ml ^b	105	11.5
Litio	<100 ng/ml en adultos ^e	84	9.2
Molibdeno	<206 ng/ml ^a	35	3.8
Manganeso	< 8 ng /mg creatinina ^a	26	2.8
Aluminio	<137 ng/ml ^a	10	1.1
Cadmio	<1.5 ng/ml ^a	7	0.8
Estaño	< 20 ng/ml ^a	6	0.7
Fluoruro	<1.61 mg/l	6	0.7
Berilio	<0.74 ng/ml ^d	1	0.1

Nota: a Equivalentes Biológicos, b Para ambiente ocupacional, c NOM-047, d Percentil 95 en Monitoreos Ambientales, e Límite superior del IC del percentil 97.5, f Canadian Health Measures Survey.
Nota: Zinc, Mercurio, Bario no se presentan ya que ningún individuo superó el valor de referencia.

TABLA 4.
Concentraciones urinarias de plaguicidas (ng/ml) (n=914)

PLAGUICIDAS	LDD	LDD		<LDD		MIN.	MEDIANA	MAX.
		N	%	N	%			
Malatión	< 10	170	18.8	744	81.4	<LDD	102.66	847.69
Molinato	< 10	746	81.6	168	18.4	<LDD	<LDD	1585.49
Paratión	< 10	764	83.6	150	16.4	<LDD	<LDD	31.59
Picloram	< 10	321	35.1	593	64.9	<LDD	195.32	8656.12
Glifosato	< 10	310	33.9	604	66.1	<LDD	114.80	19638.80
2-4D	< 10	857	93.8	57	6.2	<LDD	<LDD	147.88
Glufosinato	< 10	223	24.4	691	75.6	<LDD	53.97	532.54
AMPA	< 10	723	79.1	191	20.9	<LDD	<LDD	226.60

Nota: LDD: Límite de detección; Los niveles de Acetoclor, Ametryn, Atrazina, Carbendazim, Carbofuran, Diazinon, Dimethoate, Emamectina, Imazalil, L-Cyhalotrin, Meclizina, Methomyl, Metoxuron, PiraClostrobin, Thiabendazole se encontraron por debajo del LDD.

TABLA 5.
Descripción del índice de exposición de metales y arsénico de las industrias reportadas en RETC respecto al lugar de residencia de los participantes

DESCRIPCIÓN	MÍN.	P10	P25	MEDIANA	P75	P90	MÁX.
Aire 500 m	0.2253051	0.2871764	0.2999558	0.3068925	0.3219268	0.3352118	0.8503381
Aire 250 m	0.2256226	0.2869968	0.2999408	0.3068532	0.3219682	0.3353442	0.8417649
Agua 500 m	0.4760269	0.6667628	0.7410074	0.8017237	0.8514396	0.9346355	1.077176
Agua 250 m	0.4334111	0.6677819	0.741084	0.8019632	0.8504676	0.93615	1.108448
Suelo 500 m	0.2294424	0.4233979	0.4869971	0.5303279	0.5810045	0.6379869	0.9203426
Suelo 250 m	0.2295868	0.4221449	0.4877985	0.5303821	0.5810613	0.6385808	0.9329538

TABLA 6.
Correlación de los biomarcadores de daño renal temprano, la tasa de filtración glomerular y la razón albúmina creatinina con las emisiones industriales reportadas en RETC

MATRIZ AMBIENTAL	NGAL ^a	CLUSTE-RINA ^a	CISTATI-NA-C ^a	OS-TEOPON-TINA ^a	Al-MG ^a	KIM1 ^a	EGFR ^b	RAC ^c
	rho	rho	rho	rho	Rho	rho	rho	Rho
Aire 250 m.	0.1126*	0.1191*	0.2058*	0.2829*	0.1724*	0.1200*	-0.036	0.1048*
Aire 500 m.	0.1119*	0.1190*	0.2058*	0.2831*	0.1724*	0.1201*	-0.0366	0.1047*
Agua 250 m.	0.0143	0.0963*	0.0826*	0.1305*	0.0462	0.0289	-0.0676*	0.0303
Agua 500 m.	0.0129	0.0968*	0.0826*	0.1309*	0.0465	0.028	-0.0681*	0.0304
Suelo 250 m	-0.0373	0.0395	0.0165	0.0457	-0.0109	-0.0752*	0.0153	0.0324
Suelo 500 m	-0.037	0.0397	0.0165	0.0457	-0.0107	-0.0756*	0.0148	0.0323

a expresados en ng/ml; b expresado en ml/min/1.73 m²; c valor ≥30 mg/g-creat; Correlación de Spearman; *p<0.05; RAC: relación albúmina creatinina.

Sección 5. Asociación de las emisiones de contaminantes ambientales con el estado de salud renal

Con el objetivo de evaluar la relación de las emisiones de las industrias con los efectos en la salud renal, se desarrolló el siguiente análisis con el apoyo de los sistemas de información geográfica.

Ubicación de residencias

Dentro de la información del muestreo se le aplicó a cada sujeto una encuesta para conocer algunos indicadores sociodemográficos y la georreferencia de su lugar de residencia (dirección completa). Estos domicilios se verificaron mediante Google maps y el Sistema de Información Geográfica (SIG) QGIS, versión 3.30. Una vez que se tuvieron todos los domicilios correctamente ubicados mediante coordenadas geográficas, se generó un archivo vectorial en formato geopaquete de 914 puntos con la proyección UTM zona 14 N. Se logró validar la ubicación del 100% de los sujetos muestreados, sin embargo, cabe aclarar que para cada punto se modificó el último dígito de las coordenadas (X, Y) con la finalidad de proteger la privacidad de los sujetos.

El área de análisis abarca una gran parte de la porción centro-sur del estado. Los domicilios de los sujetos comprenden 32 municipios del estado de Tlaxcala (**Figura 1**).

Amaxac de Guerrero	Contla de Juan Cuamatzi	Tetlatlahuaca	San Damián Texoloc
Apetatitlán de Antonio Carvajal	Acuamantla de Miguel Hidalgo	Tlaxcala	San Francisco Tetlanohcan
Apizaco	Natívitás	Totolac	San Juan Huactzino
Cuaxomulco	Panotla	Xaltocan	San Lorenzo Axocomanitla
Chiautempan	Santa Cruz Tlaxcala	Xicohtzinco	Santa Ana Nopalucan
Ixtacuixtla de Mariano Matamoros	Teolocholco	Yauhquemehcan	Santa Apolonia Teacalco
Mazatecochco de José María Morelos	Tepeyanco	Zacatelco	Santa Catarina Ayometla
Santa Isabel Xiloxoxtla	Tetla de la Solidaridad	La Magdalena Tlatelulco	Santa Cruz Quilehtla

FIGURA 1.
Municipios del estado de Tlaxcala en donde se ubican los sujetos de estudio.

Ubicación de industrias

Se utilizaron las bases de datos de industrias del DENU 2010 y 2020 para el estado de Tlaxcala posteriormente, se hizo una clasificación por giros industriales con la finalidad de únicamente dejar aquellas empresas que dentro de sus procesos productivos presentan más probabilidad de emitir metales pesados y otros agentes nefrotóxicos.

Se tomaron en cuenta los siguientes giros industriales: Industria Textil, Industria química, Fabricación de madera para la construcción, Fabricación de productos

con minerales no metálicos, Fabricación de productos electrónicos y relacionados, Plásticos, PVC y llantas, Industria agroquímica e Industria metálica que fabrica maquinaria herrería y metal.

La generación de los índices de contaminación para la representación geográfica basados en las bases de datos de RETC y Renameca se indica en la sección 4.2.1.1.

Estadística espacial y análisis estadístico, interpolación

Se elaboró un ráster con la información de RETC con la herramienta v.surf.idw, en el Sistema de Información Geográfica, que proporciona una interpolación de superficie usando puntos vectoriales, mediante la ponderación al cuadrado de la distancia inversa. Se obtiene matriz con valores interpolados a partir de un conjunto de puntos de datos vectoriales espaciados a través de promedios ponderados. El valor que se interpola es determinado por los valores de los puntos cercanos. Permite representar superficies complejas, restringe la influencia espacial de errores y genera la superficie interpolada a partir de los puntos de datos.

Preparación de información geográfica

Para el análisis espacial de la exposición, se establecieron radios de exposición para cada sujeto muestreado. Se eligieron 4 radios: 250 m, 500 m, 1 km y 2 km. Estos radios se definieron con base en el tamaño de la industria que existe en el lugar y los giros industriales. Para la elaboración de las áreas se utilizó la herramienta Buffer multianillos del SIG QGIS 3.30.

Una vez que se tuvieron los anillos o áreas para cada uno de los radios establecidos, se obtuvo el promedio de los índices de contaminación de cada uno de esos radios para cada sujeto.

Este análisis se llevó a cabo mediante el método de estadística zonal, que consiste en calcular las estadísticas de una capa de píxeles (ráster) para cada área vectorial que esté superpuesta a dicha capa. El cálculo se llevó a cabo mediante la herramienta Estadística de Zona que se encuentra en el paquete de herramientas de análisis ráster del SIG QGIS 3.30. Se calcularon las estadísticas zonales de los índices del RETC: Agua (4), suelo (4), aire (4), posibles nefrotóxicos y nefrotóxicos en agua, aire y suelo (24) y Renameca 11 elementos (4), Renameca 6 elementos (4) y orgánico sintéticos (4). En total se realizaron 59 estadísticas zonales.

Análisis estadístico

Una vez definidos los promedios de los radios de exposición de cada sujeto, se analizó la distribución de las variables y se obtuvieron las estadísticas descriptivas. Debido a la falta de normalidad de las variables y que representan las concentraciones promedio de la exposición, se dividieron en terciles. El tercil 1 representa el nivel más bajo, el tercil 2 el nivel medio y el tercil 3 el nivel más alto de exposición.

Esta variable fue incluida en los modelos de regresión lineal y logística para como explicativa y los modelos se ajustaron por variables confusoras: edad, sexo, IMC y pobreza. Se calcularon los efectos marginales de la exposición para observar la expresión del biomarcador de daño renal en la población. Se evaluaron las asociaciones de los índices de RETC, aire, agua y suelo.

TABLA 1.

Promedios ajustados de la asociación entre la tasa de filtración glomerular, la albuminuria y los marcadores de daño renal temprano con el grado de emisiones de contaminantes nefrotóxicos en el lugar de residencia (RETC)

	CONCENTRACIONES URINARIAS DE NGAL (ng/ml)		
Niveles de emisiones industriales (Cd, Ni, As, Pb y Cr)	Aire*	Agua	Suelo**
Baja	4.24	5.51	6.09
Media	4.70	4.38	4.61
Alta	6.43	5.30	4.56
	CONCENTRACIONES URINARIAS DE CLUSTERINA (ng/ml)		
Niveles de emisiones industriales (Cd, Ni, As, Pb y Cr)	Aire*	Agua	Suelo~
Baja	106.69	113.21	109.89
Media	120.25	119.34	141.89
Alta	142.72	135.50	117.35
	CONCENTRACIONES URINARIAS DE CISTATINA-C (ng/ml)		
Niveles de emisiones industriales (Cd, Ni, As, Pb y Cr)	Aire*	Agua*	Suelo~
Baja	0.70	0.91	0.86
Media	0.93	0.87	1.30
Alta	1.53	1.26	0.89
	CONCENTRACIONES URINARIAS DE A1-MICROGLOBULINA (ng/ml)		
Niveles de emisiones industriales (Cd, Ni, As, Pb y Cr)	Aire*	Agua	Suelo~
Baja	11.72	15.79	15.07
Media	15.53	15.30	22.56
Alta	25.73	19.36	13.74
	CONCENTRACIONES URINARIAS DE KIM-1 (ng/ml)		
Niveles de emisiones industriales (Cd, Ni, As, Pb y Cr)	Aire**	Agua	Suelo
Baja	0.18	0.21	0.24
Media	0.23	0.21	0.23
Alta	0.25	0.24	0.20

	CONCENTRACIONES URINARIAS DE OSTEOPONTINA (ng/ml)		
Niveles de emisiones industriales (Cd, Ni, As, Pb y Cr)	Aire**	Agua*	Suelo~
Baja	31.70	41.10	36.36
Media	44.38	40.52	64.98
Alta	75.88	64.08	45.12
	TASA DE FILTRACIÓN GLOMERULAR (EGFR ml/min/1.73 m²).		
Niveles de emisiones industriales (Cd, Ni, As, Pb y Cr)	Aire*	Agua	Suelo
Baja	107.08	106.08	104.69
Media	105.37	104.56	103.96
Alta	102.88	104.66	106.67
	RM DE LA RAZÓN ALBÚMINA/CREATININA (RAC ≥ 30 vs <30 mg/g CREAT.)		
Niveles de emisiones industriales (Cd, Ni, As, Pb y Cr)	Aire	Agua	Suelo
Baja	1.00	1.00	1.00
Media	1.08	0.73	0.98
Alta	1.34	1.03	1.10

ANEXO G

Sección 1. Análisis de información epidemiológica del Pronaii Leucemia Infantil

Mortalidad

Se construyó una base de datos a partir de los archivos de los Registros de Defunciones Generales del INEGI de los años 2017 a 2021. Se seleccionaron las defunciones ocurridas en personas menores de 20 años residentes de los estados de Puebla y Tlaxcala, cuya causa de muerte haya sido ocasionada por algún subtipo de leucemia aguda (contemplada en la CIE-10 por los códigos: C91.0, C92.0, C92.4-C92.5, C93.0, C94.0, C94.2, C94.4, C94.5, C95.0). Las defunciones fueron agrupadas por las siguientes variables: año de la defunción, sexo, edad agrupada y municipio de residencia.

Se calcularon frecuencias absolutas (n) y relativas (%) para el número de muertes y número de casos registrados de leucemia aguda, así como para las variables cualitativas descritas, evaluando la distribución de las características sociodemográficas y de salud (sexo, edad, previsión, condición de egreso, establecimiento de salud de atención y región de residencia habitual) de los niños diagnosticados con esta enfermedad.

Las tasas crudas de mortalidad se calcularon para el periodo 2019-2021, categorizadas por subtipos de leucemia, grupos de edad, municipios y subregionalización de la Cuenca Hídrica del Alto Atoyac. Los periodos de análisis de los cálculos de tasas de incidencia, mortalidad y AVPP consideraron periodos diferentes de análisis.

Razón de tasa estandarizada (RTE)

La RTE es la relación entre el número de muertes observadas en una población durante un período determinado y el número que se esperaría durante el mismo período si la población de estudio tuviera las mismas tasas específicas por edad que la población estándar. En el presente análisis las tasas fueron estandarizadas por método indirecto tomando como base la población nacional INEGI 2020. Al dividir el total de casos observados por el número esperado, se obtuvo la RTE. Esta razón permite comparar cada población de estudio con la población de la cual provienen las tasas. Una RTE superior a 1 indica que el riesgo de morir en la población observada fue más alto que el esperado si hubiera tenido la misma experiencia o riesgo que la población estándar. Al contrario, una RTE inferior a 1 indica que el riesgo de morir fue inferior en la población observada que lo esperado si su distribución fuera la de la población de referencia.

Años de vida perdidos por muerte prematura (AVPP)

El cálculo de años perdidos se basa en la diferencia entre la edad al morir y la esperanza de vida estándar. Donde la esperanza de vida es una función de la pérdida de tiempo dependiente de la edad a la que ocurre la muerte, la cual permite cuantificar

los años de vida perdidos debido a muertes tempranas. Por cada defunción se genera la diferencia entre la edad al momento de la muerte y la esperanza de vida. La suma de estas diferencias constituye el total de los AVPP.

La tasa de AVPP es una métrica adicional que toma en cuenta el tamaño de la población y permite realizar comparaciones entre diferentes poblaciones mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Tasa de AVPP} = \text{AVPP} / \text{Población} \times 100\,000 \text{ habitantes}$$

Incidencia

Se calcularon y reportaron dos tipos de tasas de incidencia de leucemia: la tasa de incidencia cruda (cIR) y la tasa de incidencia estandarizada (sIR). La tasa de incidencia cruda se obtuvo dividiendo el número de casos nuevos de leucemia de los años 2021 y 2022 entre la cantidad de personas menores a 20 años que viven en los estados de Puebla y Tlaxcala. Se calcularon diferentes tasas para grupos específicos, como por edad, sexo, subtipo de leucemia y la subregionalización de la Cuenca Hídrica del Alto Atoyac.

Incidencia estandarizada

Para calcular la tasa de incidencia estandarizada, se usó el método directo y se tomó como referencia la población mundial estándar reportada por la OMS (2000-2025). Los resultados de estas tasas ajustadas se mostraron en un mapa utilizando un software especializado para entender cómo se distribuye la leucemia en las subregiones de la Cuenca Hídrica del Alto Atoyac.

Sección 2. Metodología para el análisis de regresión logística

Con la información de casos y controles se realizó un análisis de regresión logística para estimar la asociación entre la condición de vivir en una zona con alta contaminación por metales y desarrollar leucemia aguda en menores de veinte años ajustando la relación por el porcentaje de pobreza del municipio de residencia, la edad y el sexo de los pacientes. Se estimaron razones de momios y sus intervalos de confianza al 95% para cada variable y se evaluaron las asociaciones estadísticas con una prueba de doble cola, considerando significativos los valores de $p \leq 0.05$. Se realizaron tres análisis adicionales, el primero para leucemias linfoides, el segundo para leucemias linfoides linaje B y el tercero para leucemias agudas de alto riesgo.

ANEXO H

METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS GEOESPACIAL DE LA PROBLEMÁTICA DE SALUD Y EL DETERIORO AMBIENTAL

Sección 1. Obtención de datos RETC y Renameca

SELECCIÓN DE LAS BASES DE DATOS

Calidad del agua superficial en la zona federal: Renameca-Conagua

Las bases de datos de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (Renameca) consisten en una selección de puntos de muestreo georeferenciados a lo largo del cauce fluvial de las cuencas hidrológicas en las que se miden, además de los parámetros criterio de calidad del agua, los contaminantes definidos como prioritarios en determinadas regiones, como es el caso de los metales y orgánicos sintéticos para la Declaratoria de 2011 para el río Atoyac. Normalmente, se tienen de uno a cuatro muestreos simples por semestre para los puntos de muestreo prioritarios y la mayoría de los parámetros medidos son la concentración total (soluble + suspendida) en la muestra de agua. Al momento de redactar este documento, las bases de datos de Conagua no reportan muestreos en sedimentos o suelos de la zona federal asociada al sistema fluvial. La Conagua es la responsable del muestreo y análisis de los parámetros de calidad, además de su publicación anual en su página de internet.

Las bases de datos de para los sitios del Alto Atoyac muestreados en Tlaxcala y Puebla se descargaron de la página de publicaciones de Conagua y se organizaron por secuencia hidrológica, por tributarios, por contaminante y por semestre para el periodo 2012-2020. Las subcuencas de Bajo Atoyac, Nexapa y Río Salado se seleccionaron de las bases de datos de la misma página para el estado de Puebla y se organizaron de acuerdo con el mismo criterio que en la CAA para el periodo mencionado.

Una vez organizadas las bases se establecieron los contaminantes para analizar y se recuperó el valor máximo por cada semestre y punto de muestreo. Los contaminantes seleccionados se organizaron en dos categorías considerando sus principales rasgos químico-toxicológicos y su comportamiento general en el componente ambiental, quedando de la siguiente manera:

- a) Arsénico y metales: Cd, Cr, Hg, Pb, Al, Cu, Fe, Mn, Ni, y Zn, y
- b) orgánicos sintéticos: halocarbonos, clorobencenos, clorofenoles, fenoles, BTEX, ftalatos, poliaromáticos y otros alifáticos (para un desglose completo de las sustancias individuales ver **Anexo H, Sección 2, Tabla 2**).

El criterio de usar el valor máximo por semestre se estableció como referencia de cuál es el peor escenario reflejado en las muestras tomadas del río, entendiendo a todo el sistema fluvial como un testigo de los escenarios de contaminación que acontecen en el territorio. Es importante recalcar que el sistema fluvial no es solamente el cuerpo receptor de las descargas que ocurren directamente en él por parte de las industrias y municipios, sino que también refleja la deposición atmosférica que ocurre en todas las superficies y que es arrastrada por la precipitaciones, así como los contaminantes y pasivos ambientales en suelos de ciudades, zonas industriales, tiraderos, rellenos sanitarios, minas, áreas de cultivo y espacios forestales que interactúan con la escorrentía que alimenta a todos los tributarios de la cuenca. Otros factores como accidentes (fugas, derrames o incendios que involucran las sustancias monitoreadas), manantiales contaminados o trasvases por parte de la infraestructura hidráulica de los sistemas de riego también se refleja en los cambios de la calidad del agua de la zona en cuestión. Así, los valores máximos representan una magnitud de la exposición que ha afectado a la población que habita dicho territorio y nos representa de mejor manera cuál puede ser el reto de salud pública que enfrentan los sectores más vulnerables.

La delimitación por semestre se estableció para recuperar la representatividad de lo que ocurre tanto en el periodo de baja escorrentía y alta demanda de riego (primer semestre) como lo ocurrido en periodo de alta escorrentía y mayor transporte de sedimentos (segundo semestre). Los valores máximos de cada semestre se usaron para la obtención de los valores máximos promedio acumulados para el periodo 2012-2020 de cada punto de muestreo por cada contaminante seleccionado.

Emisiones de fuentes de jurisdicción federal: RETC

La base de datos del registro de emisiones y transferencia de contaminante (RETC) (Semarnat, 2004-2021) consiste en una recopilación de los volúmenes de sustancias emitidas o transferidas por parte de las actividades industriales, de comercio o de servicios de competencia federal. Los generadores están obligados a reportar a partir de un umbral de manufactura, proceso o emisión/transferencia de cualquiera de las 200 sustancias especificadas en la NOM-165-Semarnat-2013. Estos reportes se publican anualmente en el portal de Semarnat en una base de datos que especifica la razón social, sector y subsector económico, ubicación georreferenciada, cantidad de sustancia emitida o transferida y matriz (aire, agua suelo o alcantarillado) y/o proceso (reciclaje, reutilización, tratamiento, co-procesamiento, incineración o disposición final) receptor.

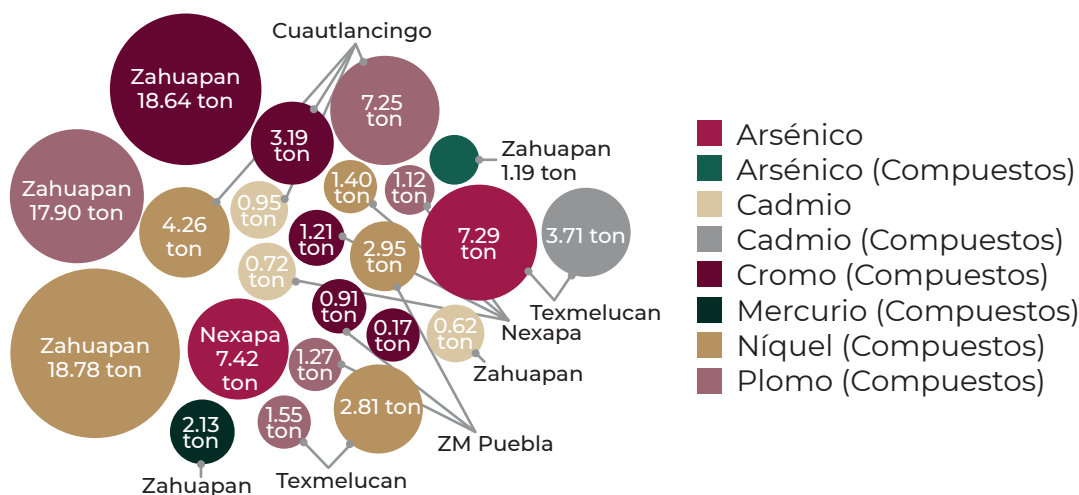


FIGURA 1. Proporción y distribución del acumulado 2004-2021 para los metales y arsénico reportados al RETC como emisiones al agua + alcantarillado en las subzonas de la CAAAI. La cantidad dentro de cada esfera está en toneladas.

Se obtuvieron las bases de datos para el estado de Tlaxcala y el estado de Puebla y se acomodaron por municipio de acuerdo con las zonas ya descritas para la CAA y su Área de Influencia. Se seleccionaron y agruparon los contaminantes siguiendo el mismo criterio de metales y arsénico y compuestos orgánicos sintéticos que se usó con los datos de Renameca. Se obtuvieron los valores acumulados históricos a partir de los valores anuales reportados a las matrices de aire, agua + alcantarillado y suelo para cada uno de los registros ambientales de todos los establecimientos disponibles desde 2004 a 2021. La pertinencia del uso de esta información se evaluó con la correspondencia geográfica que tienen las fuentes emisoras con la información obtenida de Renameca.

La **Figura 1** muestra que la subzona del Zahuapan concentra una importante proporción de metales emitidos al agua y alcantarillado por parte de las fuentes federales, seguido de Cuautlancingo, Texmelucan y Nexapa.

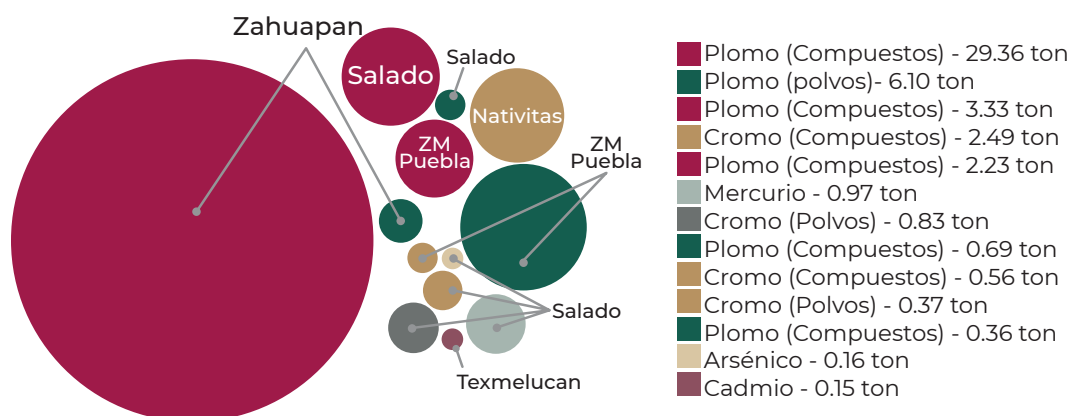


FIGURA 2. Proporción y distribución del acumulado 2004-2021 para los metales y arsénico reportados al RETC como emisiones al aire en las subzonas de la CAAAL. La cantidad está expresada en toneladas.

La subzona del Zahuapan vuelve a ser protagonista en cuanto al total de metal reportado como emisión al aire, seguido de la ZM Puebla, Salado y Nativitas (**Figura 2**).

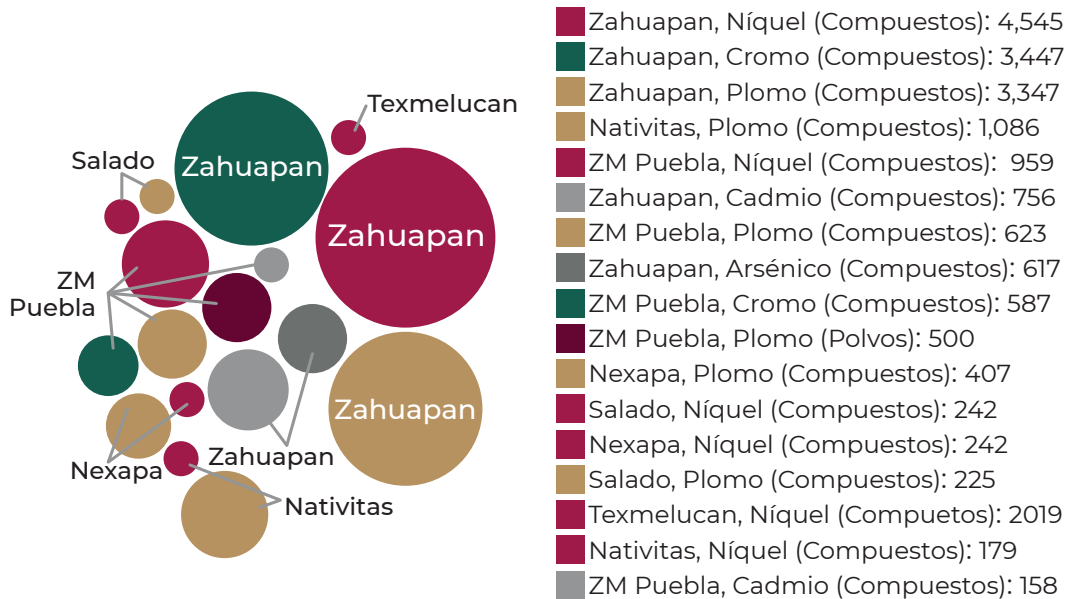
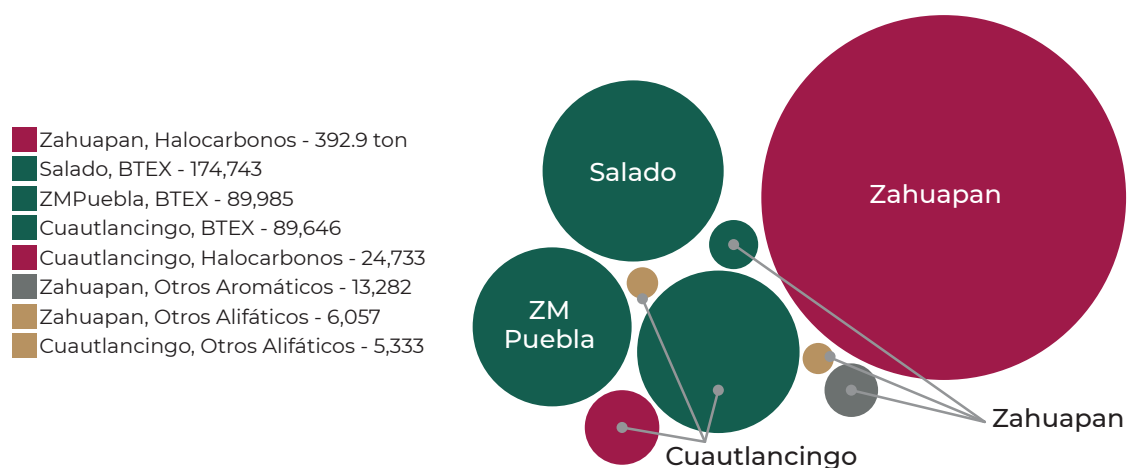


FIGURA 3. Proporción y distribución del acumulado 2004-2021 para los metales y arsénico reportados al RETC como emisiones al suelo en las subzonas de la CAAAI. La cantidad está expresada en kg.

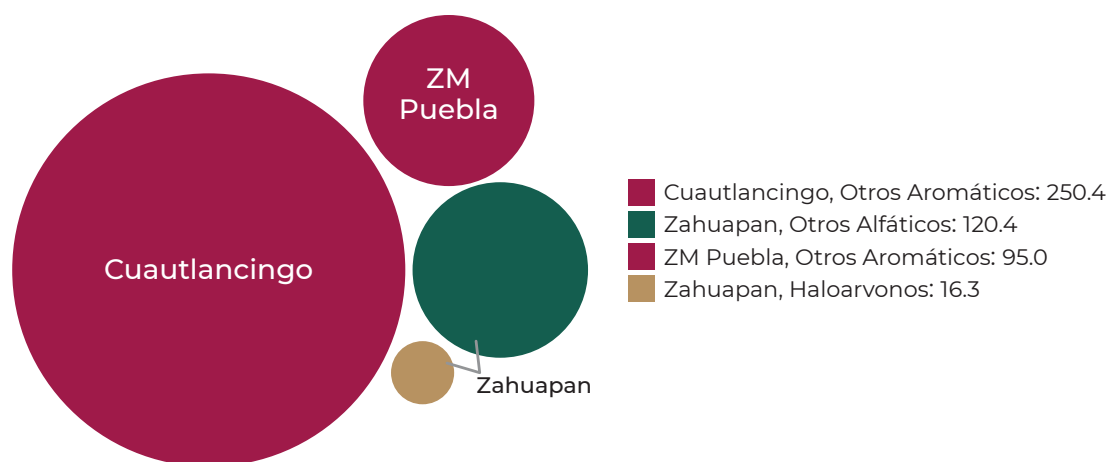
La **Figura 3** muestra que nuevamente Zahuapan es la que concentra el mayor registro y diversidad de metales emitidos al suelo, seguido de ZM Puebla y Nativitas.

La revisión del perfil de emisiones reportadas organizadas de esta manera sugiere que los municipios incluidos en Zahuapan son los protagonistas en cuanto a metales emitidos, lo que coloca a esta zona como una importante generadora y confirma al Zahuapan como un blanco ambiental y ruta de distribución de estos contaminantes. En materia de agua y alcantarillado puede insinuarse, al menos para los datos del RETC, que se tiene un corredor continuo Zahuapan - Cuautlancingo - ZM Puebla que podría corresponder a lo que se refleja en la red fluvial (Renameca). En este caso, podemos considerar a priori a la población de esta zona de Tlaxcala como vulnerable al daño por metales, por lo que se consideró pertinente continuar con el trabajo de estas bases de datos para la construcción de los indicadores compuestos a analizar en los modelos de correlación tabular y espacial contra los datos de mortalidad por causas y las evidencias de los estudios de enfermedad renal crónica y leucemia infantil.

**FIGURA 4.**

Proporción y distribución del acumulado 2004-2021 para los compuestos orgánicos sintéticos reportados al RETC como emisiones al aire en las subzonas de la CAAAI. La cantidad está expresada en toneladas.

Para el caso de los compuestos orgánicos sintéticos reportados como emisión al aire, es la subzona de Zahuapan nuevamente la que sobresale en cantidad y variedad, seguido de Salado, Cuautlancingo y ZM Puebla (**Figura 4**).

**FIGURA 5.**

Proporción y distribución del acumulado 2004-2021 para los compuestos orgánicos sintéticos reportados al RETC como emisiones al agua + alcantarillado en las subzonas de la CAAAI. La cantidad está expresada en kg.

Finalmente, para el caso de las emisiones reportadas al agua + alcantarillado en materia de compuestos orgánicos sintéticos, es la subzona de Cuautlancingo la principal, seguida de Zahuapan y la ZM Puebla (**Figura 5**).

Esta organización y análisis para los datos del RETC en materia de compuestos orgánicos sintéticos apunta nuevamente al corredor Zahuapan - Cuautlancingo - ZM Puebla como un espacio crítico, reforzando la pertinencia de evaluar estas bases de datos en los ejercicios de correlaciones.

Verificación y corrección de la consistencia de las coordenadas

Adicionalmente, se identificó que cerca de un 60% de las coordenadas de los establecimientos registrados en la base de datos del RETC estaban en lugares que no corresponden con la dirección registrada, pero se localizaron cercanos (500m) de la ubicación correcta. Cerca del 10 % se localizaban en otros municipios o entidades.

Para el proceso de corrección se colocaron todas las coordenadas en una tabla, se eliminaron los puntos repetidos, se corrigieron las coordenadas que estaban en posiciones incorrectas ("x" en "y", o "y" en "x") o la "x" sin signo negativo. Posterior a esto, se generó la nube de puntos de los establecimientos que reportaron datos y se verificó una a una con todos los registros para garantizar que la posición geográfica fuera la correcta. Este proceso fue tardado debido al alto número de establecimientos revisados. Cerca de 300 establecimientos fueron verificados y corregidos.

Sección 2: Construcción de los indicadores compuestos a partir de la información obtenida sobre los contaminantes

OBTENCIÓN DE LOS DATOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS INDICADORES COMPUESTOS

A partir de la información descrita en la sección 1 de este Anexo, se trabajó con los datos registrados para metales y arsénico (Cd, Ni, Hg, As, Pb, Cr), un conjunto de sustancias nefrotóxicas y posibles nefrotóxicas, en aire, suelo y agua (donde se incluyeron ríos y alcantarillado), y orgánicos sintéticos (halocarbonos, clorobencenos, BTEX, clorofenoles, fenoles, ftalatos y estireno, poliaromáticos, otros orgánicos sintéticos).

Normalización de los datos del RETC y Renameca

La normalización de datos es una práctica frecuentemente necesaria durante el pre-procesamiento del análisis de datos, no solo para estandarizar sino para homologar la información. El objetivo es cambiar los valores de las variables numéricas usando una escala común, sin distorsionar las diferencias en los rangos de valores ni perder información.

Para la normalización de datos del RETC y de la Renameca se usó el método Min-Máx para obtener valores normalizados dentro del rango [0, 1], ver Ec. 1. Este método de normalización es adecuado cuando no se conoce o no se pueden hacer suposiciones sobre la distribución del conjunto de datos y/o cuando los datos no están normalmente distribuidos. También es particularmente útil cuando se requiere usar todos los puntos observados de la distribución sabiendo que no se cuenta con información suficiente para decidir qué observación queda fuera de rango.

$$x_{i,c}^t = \frac{v_{i,c}^t - \min_c(v_i^t)}{\max_c(v_i^t) - \min_c(v_i^t)}$$

EC. 1

Valor original del contaminante en el sitio detectado en el año o semestre.

Valor normalizado del contaminante en el sitio detectado en el año o semestre.

La normalización min-máx se aplicó al subconjunto de cada una de las sustancias detectadas por año o semestre en el conjunto de sitios. En el caso de los datos del RETC, donde las sustancias se analizaron en diferentes ambientes, se eligieron los datos disponibles en agua, suelo, aire y alcantarillado.

Promedio ponderado de los metales que se detectaron en cada sitio

Después de la normalización de los datos, se obtuvo el promedio ponderado de los valores normalizados de las sustancias detectadas en cada sitio de acuerdo con la Ec. 2:

$$\overline{m}_c^t = \frac{\sum_i w_i x_{i,c}^t}{\sum_i w_i}$$

EC. 2

Promedio ponderado de los valores normalizados de los contaminantes detectados en el sitio, en el año o semestre.

Peso asignado al contaminante de acuerdo con el grado de toxicidad que representa para la salud en general, para el sistema hematológico o para la salud renal.

Valor normalizado del contaminante en el sitio detectado en el año o semestre.

Para asignar el peso a cada sustancia, se tomaron como referencia los niveles mínimos de riesgo reportados en PubChem (2023) y en Toxin and Toxin Target Database (T3DB) (Browsing Toxins, 2023), para conocer cualitativamente el riesgo que representa cada metal o metaloide para la salud. En estas bases de datos, se reporta el nivel mínimo de riesgo (minimal risk level; MRL), que es una estimación de la cantidad de una sustancia que una persona puede comer, tomar o respirar al día, sin que se detecte algún riesgo para su salud. Los valores reportados para el nivel mínimo de riesgo únicamente fueron una referencia para obtener la jerarquía u orden de los metales y arsénico con respecto al riesgo que representan para la salud. El único metal para el que no se encontró el nivel mínimo de riesgo en estas bases de datos fue el Fe, por lo que en este caso se tomó como referencia la cantidad reportada para la ingesta aguda (National Academy Press & Institute of Medicine, 2001). Adicionalmente, se obtuvieron otros pesos para metales, arsénico y sustancias nefrotóxicas, tomando en cuenta el riesgo para la función renal (Bunei et al., 2019; Cárdenas-González et al., 2016; Orr y Bridges, 2017; Ortega-Romero et al., 2023; Wu et al., 2020), y pesos para orgánicos sintéticos de acuerdo con el nivel de toxicidad para el sistema hematológico (Karalexi et al., 2021; Landrigan et al., 2023; Park et al., 2020; Whitehead et al., 2015). En las **Tablas 1 al 5** se muestran los pesos asignados a las diferentes sustancias del RETC y el Renameca tomadas en cuenta en este

análisis. Después de la normalización por sustancia detectadas al año y en los diferentes ambientes, los valores de agua y alcantarillado se conjuntaron en un mismo promedio ponderado, conservando los pesos correspondientes a cada sustancia. Las sustancias orgánicas sintéticas que pertenecen a la misma categoría, se ponderaron con el mismo peso, y de cada categoría se eligió el valor máximo para conservar un valor único por categoría.

TABLA 1.
Selección de 10 metales y arsénico de la Renameca

METAL O METALOIDE	PESO
Cadmio	11
Níquel	10
Mercurio	9
Manganeso	8
Arsénico	7
Plomo	6
Cromo	5
Cobre	4
Zinc	3
Aluminio	2
Hierro	1

TABLA 2.
Selección de 5 metales y arsénico de la Renameca

METAL O METALOIDE	PESO
Arsénico	6
Plomo	5
Cobre	4
Manganeso	3
Zinc	2
Níquel	1

TABLA 3.
Orgánicos sintéticos de la Renameca

CATEGORÍA	SUSTANCIAS	PESO
BTEX	Benceno, Etilbenceno, Isoforona, Tolueno, m,p-Xilenos, o-Xileno, Mezcla de Isómeros de Xilenos	7

Clorobencenos	Clorobenceno, 1,2-Diclorobenceno, 1,3-Diclorobenceno, 1,4-Diclorobenceno, Diclorobencenos (mezcla de isómeros)	6
Poliaromáticos	Acenafteno, Dibenzo(AH)Antraceno, Fenantreno, Fluoranteno, Fluoreno, Naftaleno, Pireno, Acenafteno_8310, Acenaftileno_8310, Antraceno_8310, Criseno_8310, Dibenzo(AH)Antraceno_8310, Fenantreno_8310, Fluoreno_8310, Naftaleno_8310, Pireno_8310	5
Halocarbonos	1,1,1,2-Tetracloroetano, 1,1,2,2-Tetracloroetano, 1,1,2-Tricloroetano, 1,2-Dicloropropano, 2-Cloroetilvinil Éter, Bis (2-Cloroetil) Éter, Bromometano, Cis-1,2-Dicloroetileno, Cloruro de Metileno, Clorometano, Cloruro de Vinilo, Tetracloroetano (Tetracloroetileno), Tricloroetileno, Triclorofluorometano, Bromodiclorometano, Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano, Trihalometanos Totales	4
Clorofenoles	2,3-Diclorofenol, 2,4,5-Triclorofenol, 2,4,6-Triclorofenol, 2,4-Diclorofenol, 2-Clorofenol	3
Ftalatos y estireno	Bis (2-Etilhexil) Ftalato, Dietilftalato, Dimetilftalato, Estireno	2
Fenoles	1,2-Difenilhidracina, 2,4-Dimetilfenol, Fenol, Fenoles Totales	1
Otros orgánicos sintéticos	Acilonitrilo, Acroleína, Di (2 Etilhexil) Adipato, Metilterbutiléter (MTBE), N-Nitrosodimetilamina, N-Nitrosodi-N-Propilamina	1

TABLA 4.
Sustancias nefrotóxicas y posibles nefrotóxicas del RETC

TIPO	SUSTANCIAS	PESO
Nefrotóxico	Cadmio, Cadmio (compuestos)	7
Nefrotóxico	Arsénico, Arsénico (compuestos)	6
Nefrotóxico	Mercurio (compuestos), Mercurio, Plomo (compuestos), Plomo (polvos respirables, humos o vapores)	5
Nefrotóxico	Benceno	3
Nefrotóxico	Fenol, Xileno (mezcla de isómeros), Tolueno	2
Nefrotóxico	Níquel (compuestos), Níquel (polvos respirables, humos o vapores)	1
Posible nefrotóxico	Cromo (compuestos), 1,2-Diclorobenceno, 1,4-Diclorobenceno, Bromuro de metilo, Cloruro de metileno, Cromo (polvos respirables, humos o vapores)	3
Posible nefrotóxico	Cianuro inorgánico/orgánico, Dioxinas, Acetaldehído, Cloruro de vinilo, Piridina, Metil paration	2
Posible nefrotóxico	Bifenilos policlorados, Bifenilo, Acroleína, Óxido nítrico	1

TABLA 5.
Metales y arsénico del RETC

METAL O METALOIDE	PESO
Cadmio	6
Níquel	5
Mercurio	4
Arsénico	3
Plomo	2
Cromo	1

Media aritmética de los valores obtenidos para cada sitio por año

Después del promedio ponderado de los metales, arsénico, orgánicos sintéticos, nefrotóxicos y posibles nefrotóxicos detectados, se obtuvo el promedio o media aritmética de todos los promedios ponderados obtenidos para cada sitio durante el periodo tomado en cuenta:

$$I_c = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \overline{m}_c^t$$

EC. 3
Promedio ponderado de los valores normalizados de los contaminantes detectados en el sitio, en el año o semestre.
Número total de años o semestres en los que se determinaron los niveles de los contaminantes en el sitio.

El valor del indicador compuesto obtenido para cada sitio, proporciona una caracterización cualitativa del posible riesgo a la salud que representa el nivel de contaminación de cada sitio.

Nivel de contaminación por municipios, localidades o regiones

Después de la construcción de los indicadores compuestos, que dan un estimado de los niveles de contaminación en un sitio determinado, se generaron dos procesos para la estimación de los niveles de contaminación. Para los datos de la Renameca se utilizó un modelo de interpolación de superficie (v.surf.rst) con los siguientes parámetros: tensión = 500, número máximo de puntos en un seg Num max de puntos en segmento = 40, número mínimo de puntos para aproximación en un segmento (>segmax) = 700, sin ningún tipo de suavizado, para el resto de los parámetros se quedaron los valores predeterminados. Para los datos del RETC se utilizó la “estimación de densidad de núcleo o kernel” también conocido como mapa de calor, se utilizó un radio de búsqueda de 5 km y un tamaño de pixel de 100 m con un kernel cuártico. Posteriormente se utilizó la estadística zonal y se promediaron los valores de los píxeles en las capas de regionalización municipal y local.

Matriz con valores interpolados para la categorización de los municipios de la zona de estudio en subregiones con “baja, moderada y alta” exposición potencial a metales y arsénico

La interpolación se realizó mediante operaciones de análisis geoespacial como es el caso de la estadística zonal que calcula estadísticas y valores de celdas de un ráster (un ráster de valor) dentro de las zonas definidas en la capa de municipios. Derivado de este proceso se obtuvo la carga contaminante asociada al municipio, los valores se clasificaron utilizando como criterio rupturas de jenks y se establecieron 3 rangos, (alto, medio y bajo).

Sección 3: Interpolación en SIG para obtener gradiente de exposición

TASAS CRUDAS DE MORTALIDAD POR MÉTODO DE AGRUPACIÓN MUNICIPAL

Regionalización por población: Uno de los mayores inconvenientes de la generación de tasas es el problema de los números pequeños, el cual consiste en que en poblaciones con bajo número de habitantes, un caso puede generar tasas muy altas, pero que son errores debido a tener poca población. Uno de los métodos utilizados para no tener este problema, consiste en agrupar municipios o localidades con poca población para que juntos tengan un número suficiente de datos para ser evaluados de forma adecuada, por lo tanto, se generó una regionalización con base en la población a nivel municipal. Para la regionalización se utilizó el Marco Geoestadístico 2020 de INEGI.

Con la finalidad de prevenir la inestabilidad que caracteriza a las tasas de mortalidad de áreas pequeñas, se llevó a cabo una unión de los municipios que conforman la CAA usando la herramienta GATPKG (<https://github.com/ajstamm/gatpkg>). Para la agrupación de los municipios se estableció como criterio que los municipios o regiones finales contaran con una población mínima de 15,000 habitantes o más, según el Censo de Población y Vivienda de INEGI 2020 (**Figura 6**) y se utilizaron los polígonos del marco geoestadístico correspondiente; de esta manera los polígonos con poblaciones menores a 15,000 habitantes que cumplan con el criterio de contigüidad espacial se agruparon (**Figura 7**). Se realizaron pruebas de 5,000; 10,000; 15,000; 20,000; 25,000 y 30,000 habitantes. Con base en estos resultados, se consideró que la regionalización de 15,000 habitantes es la que cumple de mejor manera con los objetivos de este estudio tomando en cuenta la distribución espacial, y las regiones municipales quedaron conformadas como se detalla en el mapa de la **Figura 8**.

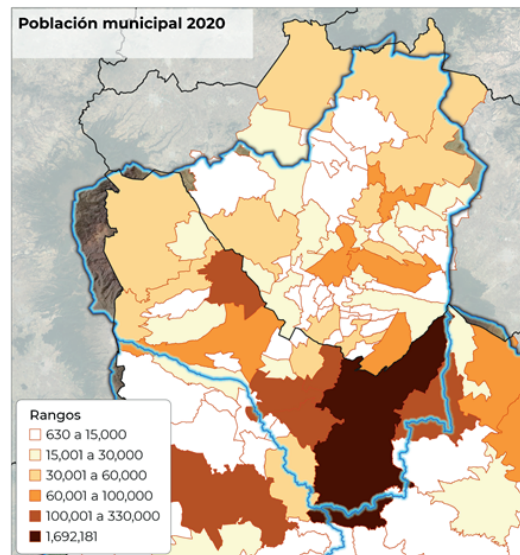


FIGURA 6.
Población municipal según el Censo de Población y Vivienda 2020.

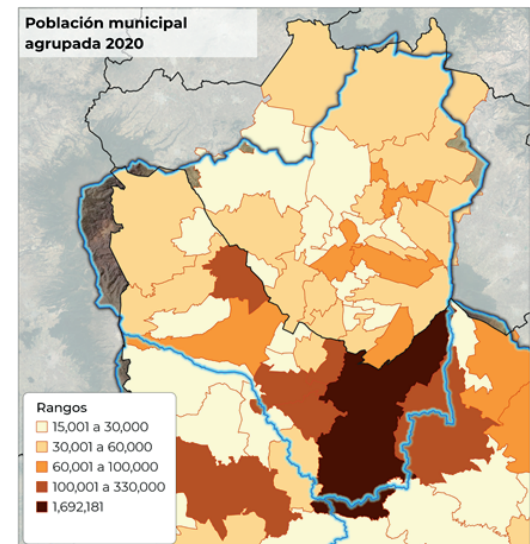


FIGURA 7.
Municipios o agrupaciones de municipios con población de más de 15,000 habitantes.

Posteriormente los polígonos de las regiones conformadas se utilizaron como matrices de datos espaciales para sumar en ella todos los valores a utilizar, es decir, sobre esas regiones se sumaron los registros de defunciones analizadas, así como los grupos de poblaciones para generar las tasas y los valores promedio de contaminantes. La mayoría de los municipios tienen una población superior a los 15,000 habitantes, son muy pocos los municipios de la CAA que no superan esta población.

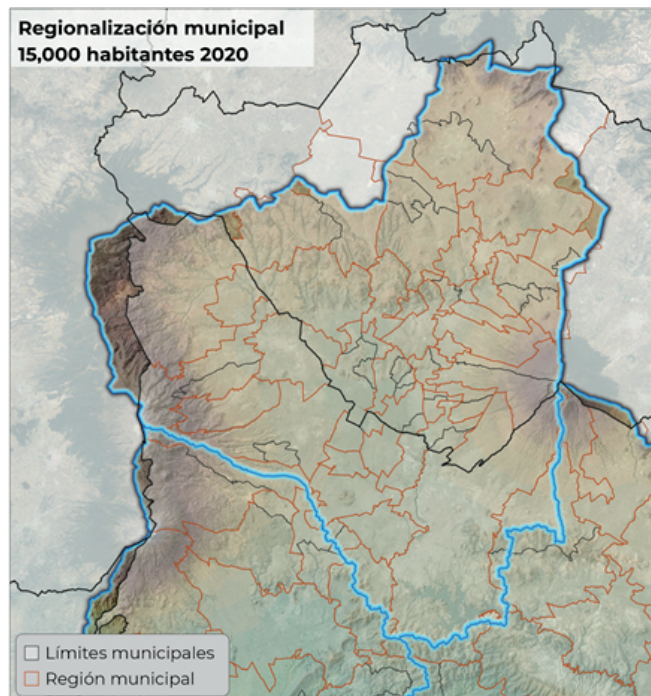


FIGURA 8.
Regionalización municipal.

Obtención de los datos de mortalidad: Los registros de las defunciones se obtuvieron de las bases de datos de mortalidad general de INEGI (<https://www.inegi.org.mx/programas/mortalidad/?ps=microdatos>) aplicando los filtros a las variables CAUSA_DEF, ANIO_OCUR, ENT_RESID, MUN_RESID, EDAD y SEXO. Para seleccionar los registros de las defunciones por leucemias agudas, se utilizaron las claves del CIE-10, para LA se utilizaron C910, C920, C924, C925, C926, C928, C930, C940, C942, C950, y para ERC se emplearon los códigos N181, N182, N183, N184, N185 y N189. Los municipios de la CAA son los mismos que se describieron en el Anexo A, y el grupo etario para leucemias agudas, además de todos los grupos etarios, fue de 0 a 19 años, mientras que para ERC se usó el grupo de 15 a 49 años ambos sexos y sólo masculino.

Se obtuvo la tasa cruda de mortalidad nacional y para los **municipios** agrupados que conforman la CAA de **2010 a 2019** para:

1. Enfermedad renal crónica
2. Enfermedad renal crónica de 15 a 49
3. Enfermedad renal crónica de 15 a 49 masculina
y de **2000 a 2019** para
5. leucemias agudas
6. leucemias agudas de 0 a 19

Cálculo de la tasa cruda de mortalidad:

$$M_x = 10^f \cdot \frac{d_x}{P_x}$$

M_x

Tasa de mortalidad (del grupo etario X), nacional o de las regiones y municipios que conforman la CAA, de 2010 a 2019.

D_x

Número de defunciones acumuladas de 2010 a 2019 del grupo etario X, nacional o por regiones y municipios de la CAA.

P_x

Número total de personas de 2010 a 2019 en el grupo etario X, nacional o por regiones y municipios de la CAA.

10^f

Factor de conversión para expresarlo en unidades por una potencia de 10.

La población empleada para el cálculo de la tasa cruda de mortalidad fueron las proyecciones de la población de los municipios de México del Conapo (Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050 - datos.gob.mx, s/f).

Análisis exploratorio de los indicadores de contaminación y la mortalidad

Para explorar la posible asociación entre la ERC, leucemias agudas y LLA, y la contaminación de los diferentes sitios evaluados por el RETC o el Renameca en la CAA, se emplearon las herramientas de análisis exploratorio de datos disponibles con el software GeoDa (http://geodacenter.github.io/workbook/2a_eda/lab2a.html), particularmente, los histogramas para la distribución de las frecuencias de las variables individuales, y los diagramas de dispersión (http://geodacenter.github.io/workbook/2a_eda/lab2a.html), para analizar la relación lineal entre los indicadores compuestos de contaminación y las tasas crudas de mortalidad. Adicionalmente, el diagrama de dispersión resultante incluye el ajuste lineal suavizado por regresión de mínimos cuadrados, el coeficiente de determinación R^2 , el error estándar, el estadístico t y el valor p para la pendiente y el punto de intersección en eje y . Con base en estos resultados se seleccionaron los indicadores que pudieran tener mayor correlación espacial, bajo esa hipótesis se hicieron las pruebas de correlación espacial.

Autocorrelación espacial

Se calculó el estadístico G^* Getis-Ord (Getis, 1992) local con GeoDa, el cual identifica un conjunto de polígonos que tienen valores similares, en este caso las tasas de mortalidad. Esto permite la identificación de grupos de municipios o regiones con patrones de mortalidad definidos por tasas altas o bajas, complementado con un mapa de significancia del estadístico G_i^* , obtenido con 999 permutaciones (Anselin, s/f).

Correlación espacial entre contaminantes y mortalidad

Se utilizó el método de I. de Morán local bivalente para evaluar la correlación entre el índice de los contaminantes y tasas de mortalidad, y con ello identificar los clusters espaciales donde el indicador de contaminación y el de mortalidad es alto, además se evalúa su significancia estadística y el indicador de correlación espacial de Morán. Se descartaron las correlaciones negativas y las que tienen niveles de significancia baja. Es importante recalcar que la asociación se busca entre el valor que contiene el polígono de la variable x y se compara con los valores de la variable y utilizando a los vecinos cercanos del polígono x . Para los valores cercanos se estableció el patrón de contigüidad tipo reina de primer orden, esto significa que se toma al primer nivel de todos los vecinos de un polígono que tienen contacto con el polígono analizado.

Sección 4: Síntesis de la problemática de salud y deterioro ambiental en la CAA

Para la clasificación de los **municipios con mortalidad alta o baja** por ERC, se tomaron en cuenta las tasas de mortalidad por ERC en:

- a. población total (todos los grupos etarios y ambos sexos),
- b. población de hombres y mujeres de 15 a 49, y

c. población de hombres de 15 a 49.

Aquellos municipios que tuvieron tasas de mortalidad mayor a su respectiva tasa media nacional, en al menos una de las poblaciones anteriores, se clasificaron como municipios con alta mortalidad por ERC.

Los **municipios clasificados con contaminación alta** corresponden a la tercera parte de los municipios de la CAA que tuvieron los niveles más altos de al menos uno de los siguientes contaminantes asociados a la mortalidad por ERC:

- d. orgánicos sintéticos de la Renameca,
- e. metales y arsénico en el suelo del RETC,
- f. nefrotóxico en el aire y suelo del RETC,
- g. posibles nefrotóxicos en el agua, aire y suelo del RETC.

Las dos terceras partes de los municipios restantes se clasificaron con contaminación baja (**Tabla 6**).

TABLA 6.
Mortalidad por ERC y contaminantes asociados a la mortalidad por esta causa en la CAA

	CONTAMINACIÓN ALTA	CONTAMINACIÓN BAJA
Alta mortalidad por ERC	Total = 27 de 43 Acuamanala de Miguel Hidalgo + Mazatecochco de José María Morelos, Amozoc + Cuaautinchán, Apizaco, Atlangatepec + Tlaxco, Chiautempan, Contla de Juan Cuamatzi, Cuaautlancingo, Cuaxomulco + San José Teacalco + Tzompantepec, Domingo Arenas + Huejotzingo, La Magdalena Tlaltelulco, Nativitas + San Damián Texoloc + Santa Ana Nopalucan + Santa Apolonia Teacalco, Ocoyucan, Papalotla de Xicohténcatl + Tenancingo, Puebla, San Francisco Tetlanohcan + Teolochoelco, San Jerónimo Zacualpan + San Juan Huactzinco + San Lorenzo Axocomanitla + Tetlatlahuca, San Martín Texmelucan, San Pablo del Monte, Santa Catarina Ayometla + Santa Cruz Quilehtla, Santa Cruz Tlaxcala, Santa Isabel Xiloxoxtila + Tepeyanco, Tepetitla de Lardizábal, Tetla de la Solidaridad, Tocatlán + Xaloztoc, Totolac, Xicohtzinco + Zacatelco, Yauhquemehcan	Total = 13 de 43 Amamaxac de Guerrero + Apetatitlán de Antonio Carvajal, Chiautzingo, Coronango, Españita + Hueyotlipan, Ixtacuixtla de Mariano Matamoros, Muñoz de Domingo Arenas + San Lucas Tecopilco + Xaltocan, Panotla, San Felipe Teotlalcingo + San Salvador el Verde, San Gregorio Atzompa + San Jerónimo Tecuanipan + Santa Isabel Cholula, San Matías Tlalancaleca, San Pedro Cholula, Tlahuapan, Tlaxcala
Baja mortalidad por enfermedad renal crónica	Total = 2 de 43 San Andrés Cholula, San Miguel Xoxtila + Tlaltenango	Total = 1 de 43 Juan C. Bonilla

Para la clasificación de los **municipios con mortalidad alta o baja** por leucemias agudas, se tomaron en cuenta las tasas de mortalidad por leucemias agudas en:

- a. población total (todos los grupos etarios y ambos sexos), y
- b. población de menores de 20 años de ambos sexos.

Al igual que con la mortalidad por ERC, aquellos municipios que tuvieron tasas de mortalidad mayor a su respectiva tasa media nacional, en al menos una de las poblaciones anteriores, se clasificaron como municipios con alta mortalidad por leucemias agudas.

Los **municipios clasificados con contaminación alta corresponden** a la tercera parte de los municipios que tuvieron los niveles más altos de al menos uno de los siguientes contaminantes que mostraron asociación positiva con la tasa de mortalidad por leucemias agudas:

- 1. grupo de 5 metales y arsénico de la RENAMEC,
- 2. grupo de 10 metales y arsénico de la RENAMEC,
- 3. orgánicos sintéticos de la RENAMEC,
- 4. metales y arsénico en el suelo del RETC,
- 5. nefrotóxico en el suelo del RETC,
- 6. posibles nefrotóxicos en el suelo del RETC.

Finalmente, las dos terceras partes de los municipios restantes se clasificaron con contaminación baja (**Tabla 7**).

TABLA 7.
Mortalidad por leucemias agudas y contaminantes asociados a la mortalidad por esta causa

	CONTAMINACIÓN ALTA	CONTAMINACIÓN BAJA
Alta mortalidad por leucemias agudas	Total = 16 de 43 Acuamanala de Miguel Hidalgo + Mazatecochco de José María Morelos, Chiautempan, Coronango, Domingo Arenas + Huejotzingo, Juan C. Bonilla, Nativitas + San Damián Texoloc + Santa Ana Nopalucan + Santa Apolonia Teacalco, Ocoyucan, Puebla, San Andrés Cholula, San Jerónimo Zacualpan + San Juan Huactzinco + San Lorenzo Axocomanitla + Tetlatlahuca, San Pablo del Monte, San Pedro Cholula, Santa Cruz Tlaxcala, Santa Isabel Xiloxtla + Tepeyanco, Tepetitla de Lardizábal, Xicohtzinco + Zacatelco	Total = 10 de 43 Amamaxac de Guerrero + Apetatitlán de Antonio Carvajal, Atlangatepec + Tlaxco, Chiautzingo, Ixtacuixtla de Mariano Matamoros, La Magdalena Tlaltelulco, San Felipe Teotlalcingo + San Salvador el Verde, San Gregorio Atzompa + San Jerónimo Tecuapipán + Santa Isabel Cholula, San Martín Texmelucan, San Matías Tlalancaleca, Tlaxcala

Baja mortalidad por leucemias agudas	Total = 11 de 43 Amozoc + Cuautinchán, Contla de Juan Cuamatzi, Cuautlancingo, Cuaxomulco + San José Teacalco + Tzompantepec, Papalotla de Xicohténcatl + Tenancingo, San Francisco Tetlanohcan + Teolochohco, San Miguel Xoxtla + Tlaltenango, Santa Catarina Ayometla + Santa Cruz Quilehtla, Tetla de la Solidaridad, Tocatlán + Xaloztoc, Yauhquemehcan	Total = 6 de 43 Amozoc + Cuautinchán, Contla de Juan Cuamatzi, Cuautlan- cingo, Cuaxomulco + San José Teacalco + Tzompantepec, Papalotla de Xicohténcatl + Tenancingo, San Francisco Tetlanohcan + Teolochohco, San Miguel Xoxtla + Tlaltenango, Santa Catarina Ayometla + Santa Cruz Quilehtla, Tetla de la Solidaridad, Tocatlán + Xaloztoc, Yauhquemehcan

Anexo I

Sección 1. Metodologías utilizadas para el biomonitoreo de metales, arsénico, plaguicidas organoclorados y bifenilos policlorados

Metales y arsénico:

Las muestras de sangre fueron tomadas en ayunas a los jóvenes participantes de escuelas secundarias en cada municipio, a las 7 de la mañana, por una enfermera pediátrica. Se usó heparina de sodio para impedir su coagulación, con material nuevo, estéril. Fueron transportadas inmediatamente a la Ciudad de México y se mantuvieron en congelación hasta su procesamiento en el laboratorio ICP-MS del Instituto de Geofísica, UNAM.

Metodología para sangre

Las muestras de sangre fueron preparadas en la unidad de digestión ULTRAWAVE asistida por horno de microondas, con el rotor de 15 viales de cuarzo de la marca Milestone.

Digestión ácida

Se pesó el total de la muestra (aproximadamente 1ml), en viales de cuarzo y se adicionó 3ml de ácido nítrico grado ultrapuro. Posteriormente se llevó a cabo la digestión asistida por horno de microondas, se empleó el siguiente programa:

ETAPA	TIEMPO (MÍN)	TEMPERATURA (°C)	POTENCIA (W)
1	10	20	1500
2	10	60	1500
3	10	220	1500

Una vez terminado el programa, las muestras se aforaron a 10 ml con agua pura Tipo 1, se etiquetaron y almacenaron a 4°C para su posterior análisis.

Control de calidad

Por cada corrida de muestras (15 muestras), se digirió el Material de Referencia Certificado (MRC), 955d -Toxic Elements and Metabolites in Frozen Human Blood (Level 3), del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST por sus siglas en inglés, National Institute of Standards and Technology). Se procesaron dos blancos reactivos para monitorear posible aporte de contaminantes.

Límites de detección para los metales reportados ($\mu\text{g/l}$): Pb – 0.0024, As – 0.0410, Cr – 0.0115, Cd – 0.0086.

CUANTIFICACIÓN DE PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS EN MUESTRAS DE SANGRE

El análisis se realizó por Cromatografía de Gases-Masas (CG-MS) en el laboratorio de Género de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Plaguicidas reportados: g-hexaclorociclohexano (g-BHC), aldrin, mirex, trans-clordano y oxiclordano.

Procedimiento de extracción.

A 2 ml de plasma se le adiciona el estándar interno y se conservan en refrigeración por 12 horas. Se realiza una desproteinización utilizando alcohol desnaturalizado y sulfato de amonio saturado y una limpieza con 2 columnas de Florisil en serie (activadas previamente con acetona y cloruro de metileno). Los analitos se eluyen con una mezcla de hexano:cloruro de metileno, el extracto se concentra bajo corriente de nitrógeno hasta 100 μl para su posterior análisis por CG-MS.

Análisis cromatográfico.

Se realizó en un equipo de Cromatografía de Gases- Masas Agilent 7820A GC System acoplado con un Detector de Espectrometría de Masas 5975. Columna HP- 5MS marca Agilent J & W (30 m x 0.25 μm x 0.250). Rampa de temperatura, modo de inyección splitless pulsado e hidrógeno como gas acarreador. La identificación de los plaguicidas se realizó mediante el método de SCAN y la cuantificación con el método SIM.

EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A BIFENILOS POLICLORADOS (PCBS) EN MUESTRAS DE SANGRE

El análisis se realiza por Cromatografía de Gases-Masas (CG-MS), empleando la metodología reportada por Wang et al. (2016), Foullon-Aguilera y Yáñez-Estrada (2014) y Aguilar-Juárez y Yáñez-Estrada (2019).

PCBs reportados, once congéneres: CB-77, CB-81, CB-105, CB-114, CB-118, CB-126, CB-156, CB-157, CB-167, CB-169, CB-189.

Procedimiento de extracción.

A 2 ml de plasma se le adicionan los estándares internos se agitan vigorosamente y se almacenan por un periodo de 15 a 24 horas a 5 °C. Transcurrido este tiempo,

las muestras se acondicionan a temperatura ambiente y se desnaturalizan con una mezcla de isopropanol:ácido clorhídrico. Los analitos de interés se extraen tres veces con una mezcla de hexano y MTBE, se separa la fase orgánica y ésta se concentra a un volumen aproximado de 4 ml bajo una corriente de nitrógeno. Posteriormente los extractos son tratados con ácido sulfúrico concentrado y se extraen con hexano. La fase orgánica se concentra a 0.5 ml con corriente de nitrógeno. En seguida el extracto se somete a una limpieza, empleando dos columnas de Florisil acopladas en serie, previamente acondicionadas con una mezcla de hexano y DCM y se eluyen con una mezcla de hexano:DCM. El eluato obtenido se concentra y se transfiere a un vial para su posterior análisis por CG-MS.

Análisis cromatográfico.

Para la identificación y cuantificación de los PCBs se emplea un Cromatógrafo de Gases Agilent 7820A GC System acoplado a un detector de Espectrometría de Masas 5975 con ionización electrónica (EI). Una columna HP-5MS Agilent (30 m x 0.25 mm x 0.25 µm). Rampa de temperatura, modo de inyección splitless e hidrógeno como gas acarreador. La identificación de los congéneres se realizó mediante el método de SCAN y la cuantificación con el método SIM.

Límites de detección (Ld) y de cuantificación (Lc).

COMPUESTO	LD (ng/ml)	LC (ng/ml)
Aldrin	0.45	1.50
gBHC	0.81	2.70
Trans Clordano	0.04	0.14
Mirex	0.25	0.83
Oxiclordano	0.40	1.34
PCB 77	0.07	0.22
PCB 81	0.05	0.18
PCB 105	0.08	0.28
PCB 114	0.02	0.07
PCB 118	0.05	0.18
PCB 126	0.04	0.13
PCB 156	0.05	0.17
PCB 157	0.03	0.10
PCB 167	0.05	0.16
PCB 169	0.09	0.32
PCB 189	0.05	0.17
PCB 189	0.05	0.17

METODOLOGÍAS UTILIZADAS EN LOS ESTUDIOS CLÍNICOS EN MUESTRAS DE SANGRE Y ORINA

Las muestras de sangre fueron tomadas en ayunas a los jóvenes participantes de escuelas secundarias en cada municipio, a las 7 de la mañana, por una enfermera pediátrica. La muestra de orina fue recibida en el material que previamente se les proporcionó a los padres de los participantes, junto con un instructivo para la toma adecuada de la muestra. Se usó material nuevo, estéril proporcionado por el laboratorio de análisis clínicos. Fueron transportadas en hieleras donde se mantuvieron a temperatura inferior a 35°C, para entregarse en el laboratorio certificado de análisis clínicos Xotepingo (REC-13/0422), ubicado en la Ciudad de México. Las metodologías utilizadas para las diferentes determinaciones en sangre y orina se enlistan a continuación:

DETERMINACIÓN	MÉTODO
Testosterona y estrógenos totales/en suero	Quimioluminiscencia
Colinesterasa/en suero	Enzimático de punto final
Urea, transaminasa oxalacética, transaminasa pirúvica, fosfatasa ácida/en suero	Método cinético
Creatinina/en suero	Colorimetría
Bilirrubina directa, indirecta y total/en suero	Colorimetría y cálculo aritmético
Colesterol total/en suero	Enzimático de punto final
Ácido úrico/en suero	Fotometría automatizada
Glucosa/en suero	GOD/PAP
Triglicéridos/en suero	GPO/PAP
Colesterol de alta y baja densidad/en suero	HDL-colorimétrico, cálculo aritmético de LDL y VDL
Biometría hemática en sangre total-EDTA	Impedancia, espectrofotometría, cálculo aritmético, tinción de Wright.
Estudio general de orina – 1ª orina	Reflectancia y microscopía

Los resultados clínicos son proporcionados en forma individual, comparados contra valores de referencia para la población mundial, proporcionados por la compañía proveedora Randox, que cuenta con una base de datos y programas de control de calidad entre laboratorios.

Los resultados fueron entregados a los donadores en forma individual, de acuerdo con lo prometido cuando se les invitó a participar.

TABLA 1.

Parámetros clínicos evaluados en las personas participantes de las zonas de estudio de en Española y Apizaco

VARIABLES	COMUNIDAD	MEDIANA	MEDIA	MÍN	MÁX	SD	VALORES DE REFERENCIA
Colinesterasa UI/ml*	Españita	3.7	3.67	1.15	6.3	1.155	4.65 - 14.4
	Apizaco	4.6	4.53	3.2	4.9	0.334	
	Santa Ana N	4.45	4.83	2.1	7.9	1.674	
Testosterona ng/dl*	Españita	0.024	1.51	0.09	6.61	2.116	0-1 mujeres 2.2 - 10.5 varones
	Apizaco	1.920	2.23	0.09	6.25	2.031	
	Santa Ana N	2.58	2.78	0.22	9.09	2.32	
Estrógenos pg/ml*	Españita	73.42	101.71	27.83	818.09	11.704	Mujeres varía por el ciclo 17-430 Varones 0.0 - 50.0
	Apizaco	50.26	57.67	13.5	249	45.089	
	Santa Ana N	72.05	88.25	11.3	280.5	59.32	
Urea en sangre mg/dl	Españita	18.54	19.28	8.78	34.91	5.81	10-50
	Apizaco	19.35	19.81	10.02	32.38	5.62	
	Santa Ana N	21.28	21.98	11.38	46.66	6.71	
Transaminasa oxalacética U/l	Españita	29.48	32.04	17.11	165.86	17.73	Mujeres máx 31 Varones max 37
	Apizaco	24.78	24.51	10.03	36.38	5.69	
	Santa Ana N	24.84	26.89	16.18	51.81	8.18	
Transaminasa pirúvica U/l	Españita	18.20	21.83	9.34	159.65	19.03	Mujeres máx 31 Varones máx 40
	Apizaco	21.28	21.71	8.76	49.68	7.92	
	Santa Ana N	-	21.44	5.27	84.43	13.05	
Fosfatasa ácida U/l	Españita	3.940	4.16	0	9.1	2.18	0-5.4
	Apizaco	4.045	4.64	1.02	9.57	2.04	
	Santa Ana N	-	-	-	-	-	

Fosfatasa alcalina U/l	Españita	-	-	-	-	-	98 - 279
	Apizaco	-	-	-	-	-	
	Santa Ana N		452.36	140.85	1067.76	233.06	
Creatinina en sangre mg/dl*	Españita	0.580	0.5743	0.33	0.88	0.11	0.6 - 1.1
	Apizaco	0.565	0.5716	0.44	0.75	0.08	
	Santa Ana N	0.61	0.5948	0.37	0.89	0.12	
Tasa de filtración glomerular*	Españita	110.7	116.82	77.06	186.48	25.004	Mujeres mín 70 Varones mín 84
	Apizaco	117.1	118.03	93.07	154.12	16.46	
	Santa Ana N	110.2	114.58	73.41	162.8	22.47	
Bilirrubina directa mg/dl	Españita	0.130	0.151	0.03	0.47	0.098	0.00 - 0.25
	Apizaco	0.125	0.146	0.03	0.41	0.093	
	Santa Ana N	0.155	0.171	0.03	0.4	0.07	
Ácido úrico mg/dl*	Españita	4.330	4.455	2.08	8.02	1.407	Mujeres 2.4 - 5.7 Varones 3.4 - 7.0
	Apizaco	4.025	4.066	2.27	6.67	1.149	
	Santa Ana N	4.135	4.199	2.13	8.96	1.502	
Colesterol total mg/dl*	Españita	143.0	143.72	89.49	203.36	22.77	101 - 200
	Apizaco	140.3	143.19	51.87	205.73	31.96	
	Santa Ana N	149.6	148.82	96.51	215.62	24.40	
Glucosa en sangre mg/dl*	Españita	83.50	84.47	62	99.3	8.20	75 - 115
	Apizaco	89.25	88.95	76.3	102.3	5.69	
	Santa Ana N	87.05	87.11	73.3	105.2	6.50	
Triglicéridos mg/dl*	Españita	102.8	108.95	31.07	504.76	65.87	40 - 150
	Apizaco	77.18	88.107	33.81	281.42	41.48	
	Santa Ana N	77.90	84.21	37.08	283.43	37.92	

TABLA 2.

Parámetros clínicos evaluados en las personas participantes de las zonas de estudio de en España y Apizaco, diferenciados por sexo

COLINESTERASA	SEXO	MEDIANA	MEDIA	MÍN	MÁX	SD
España	F	4.1	4.08	1.7	6.3	1.141
	M	2.9	3.16	1.16	5.3	0.966
Apizaco	F	4.6	4.55	4	4.9	0.241
	M	4.6	4.51	3.2	4.9	0.392
Santa Ana N	F	5.7	5.44	2.4	7.9	1.69
	M	4.0	4.41	2.1	7.3	1.54
TESTOSTERONA	SEXO	MEDIANA	MEDIA	MÍN	MÁX	SD
España	F	0.17	0.21	0.09	0.71	0.154
	M	2.95	3.10	0.09	6.61	2.32
Apizaco	F	0.29	0.28	0.09	0.82	0.205
	M	3.34	3.61	1.04	6.26	1.527
Santa Ana N	F	0.42	0.51	0.22	1.70	0.302
	M	4.67	4.34	1.05	9.09	1.727
ESTRÓGENOS	SEXO	MEDIANA	MEDIA	MÍN	MÁX	SD
España	F	98.73	134.27	27.83	818.09	141.121
	M	62.49	61.80	30.64	90.9	15.111
Apizaco	F	64.14	80.92	25.3	249	59.54
	M	35.70	41.06	13.51	74.35	19.51
Santa Ana N	F	112.5	129.2	11.30	280.2	71.73
	M	60.90	60.10	28.90	114.0	22.87
COLESTEROL	SEXO	MEDIANA	MEDIA	MÍN	MÁX	SD
España	F	144.8	142.77	89.49	187.97	21.29
	M	140.6	144.88	101.76	203.36	24.77
Apizaco	F	137.0	148.45	113.57	205.73	30.93
	M	141.9	139.44	51.87	188.67	32.90
Santa Ana N	F	149.8	153.2	112.9	215.6	27.25
	M	149.6	145.8	96.51	201.0	22.19
TRIGLICERIDOS	SEXO	MEDIANA	MEDIA	MÍN	MÁX	SD
España	F	108.1	123.82	53.24	504.72	80.47
	M	82.75	90.72	31.07	182.3	34.99
Apizaco	F	76.10	89.54	53.4	197.81	38.01
	M	79.12	87.07	33.81	218.42	44.70
Santa Ana N	F	83.23	90.82	37.08	223.2	42.01
	M	74.41	79.68	43.47	238.4	34.81

TABLA 3.

Parámetros de la biometría hemática evaluada en las personas participantes de las zonas de estudio de Españita y Apizaco

BIOMETRÍA HEMÁTICA						
INDICADOR	COMUNIDAD	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	SD	VALOR DE REFERENCIA
Eritrocitos $\times 10^6/\text{mm}^3$	Españita	5.21	4.5	5.9	0.33	4.5-6
	Apizaco	5.056	4.5	5.87	0.32	
	Santa Ana N	5.24	4.37	6.24	0.42	
Hemoglobina g/dl	Españita	15.33	13	17.5	0.93	12-16 mujeres 13-18 varones
	Apizaco	15.41	13.1	18.4	1.24	
	Santa Ana N	15.27	13	17.3	1.16	
Valor globular medio fl	Españita	84.08	74.7	91	2.76	80-96
	Apizaco	88.88	81.2	93.7	3.12	
	Santa Ana N	87.37	80.7	95.8	3.74	
Hematocrito %	Españita	43.78	36.1	49.5	2.56	38-47
	Apizaco	44.91	39.1	54.2	3.36	
	Santa Ana N	45.81	38.8	52.7	3.56	
Concentración de Hb media %	Españita	35.02	33.8	36.7	0.75	32-36
	Apizaco	34.22	32.5	35.8	0.73	
	Santa Ana N	33.36	32.1	34.2	0.49	
Sedimentación globular mm/h	Españita	18.14	3	37	9.41	0-20
	Apizaco	13.91	4	40	9.16	
	Santa Ana N	14.92	2	40	10.41	
Plaquetas $\times 10^3/\text{mm}^3$	Españita	307.07	192	456	53.88	150-400
	Apizaco	283.05	158	419	62.68	
	Santa Ana N	259.18	144	427	60.90	
Leucocitos $\times 10^3/\text{mm}^3$	Españita	6.37	3.5	11.8	2.03	5-10
	Apizaco	5.90	4	8.8	1.19	
	Santa Ana N	5.7	3.2	10.5	1.52	
Linfocitos %	Españita	42.64	19	61	9.64	20-35
	Apizaco	47.82	29	71	8.48	
	Santa Ana N	42.46	15	58	8.3	
Neutrófilos %	Españita	54.91	37	78	9.68	53-76

Segmentados %	Apizaco	49.88	28	69	8.59	50-76
	Santa Ana N	55.12	34	85	8.84	
	Españita	54.89	37	78	9.65	
	Apizaco	48.88	28	69	8.59	
Juveniles %	Santa Ana N	55.12	34	85	8.84	0-0
	Españita	0	0	0	0	
	Apizaco	0	0	0	0	
	Santa Ana N	0	0	0	0	
N en banda %	Españita	0.014	0	1	0.12	0-3
	Apizaco	0	0	0	0	
	Santa Ana N	0	0	0	0	
	Eosinófilos %	Españita	1.149	0	9	
Apizaco	1.6	0	9	2.03		
Santa Ana N	1.24	0	8	1.61		
Basófilos %	Españita	0.179	0	2	0.45	1-3
	Apizaco	0.028	0	1	0.16	
	Santa Ana N	0.277	0	1	0.45	
	Mielocitos %	Españita	0	0	0	
Apizaco		0	0	0	0	
ANORMALIDADES DE ERITROCITOS	COMUNIDAD	NO DETECTADAS %		DETECTADAS %		VALOR DE REFERENCIA
	Españita	95.52		4.48		ND
	Apizaco	100		0		
	Santa Ana N	100		0		

TABLA 4. Parámetros del examen general de orina evaluados en las personas participantes de las zonas de estudio de en Españita y Apizaco

ANÁLISIS EN ORINA					
INDICADOR**	COMUNIDAD	NO DETECTA-DO %	ESCASO %	REGULAR/MODERADO	ABUNDANTE
Leucocitos	Españita	95.65	1.45	1.45	1.45
	Apizaco	100	0	0	0
	Santa Ana	90.74	3.7	5.56	0
Nitritos	Españita	100	0	0	0
	Apizaco	91.67	8.33	0	0
	Santa Ana	100	0	0	0
Proteínas	Españita	98.55	0	1.45	0
	Apizaco	97.22	2.78	0	0

	Santa Ana	94.44	5.56	0	0
Filamento mucoso	Españita	52.17	31.88	15.94	0
	Apizaco	38.89	36.11	22.22	2.78
	Santa Ana	92.59	3.70	3.70	0
Bacterias	Españita	79.71	18.84	1.45	0
	Apizaco	75.00	16.67	8.33	0
	Santa Ana	44.44	27.78	20.37	7.41
Eritrocitos	Españita	95.65	1.45	0	3.3
	Apizaco	88.89	5.52	5.52	0
	Santa Ana	96.30	3.70	0	0
Cristales de fosfato amorfo	Españita	97.10	0	2.69	0
	Apizaco	88.89	8.33	2.78	0
	Santa Ana	92.59	1.85	3.70	1.85
Cristales de oxalato de calcio	Españita	76.47	8.82	14.71	0
	Apizaco	80.56	5.56	11.11	2.78
	Santa Ana	90.74	1.85	7.41	0
Cristales de ácido úrico	Españita	98.55	1.45	0	0
	Apizaco	100	0	0	0
	Santa Ana	100	0	0	0
Cristales de urato amorfo	Españita	98.55	0	0	1.45
	Apizaco	91.67	2.78	0	5.56
	Santa Ana	98.15	0	1.85	0
Células renales	Españita	98.55	1.45	0	0
	Apizaco	97.22	2.78	0	0
	Santa Ana	100	0	0	0

Nota: **El valor de referencia para todos los indicadores es no detectado. Los únicos que pueden encontrarse son el filamento mucoso, y eritrocitos en orina; estos últimos únicamente en caso de que la paciente se encuentre en el momento de la menstruación.

ANEXO J

LOS RIESGOS OCUPACIONALES Y AMBIENTALES PARA LA ENFERMEDAD RENAL CRÓNICA Y LOS BIOMARCADORES DE SU DIAGNÓSTICO PRECOZ, PARA UNA MEJOR PREVENCIÓN Y ATENCIÓN EN LOS ARTESANOS ADULTOS EN RIESGO

Cuantificación del plomo en sangre

La determinación del plomo en sangre se realizó por espectrofotometría de absorción atómica, de acuerdo al método analítico descrito en la norma NOM-199-SSA1-2000, **Apéndice A** del presente anexo.

A partir de muestras de sangre y estándares de concentración conocida, se obtendrán átomos de plomo en estado elemental; se harán pasar a través de éstos un haz de luz de 283.3 nm y se mide la cantidad de luz absorbida, que es proporcional al número de átomos presentes; para ello: a) se acondicionarán las muestras de sangre y los estándares con modificador de matriz; b) se colocarán en forma individual y automatizada en una plataforma de L'vov de temperatura estable, instalada en un tubo de grafito pirolítico; c) se someterán a un tratamiento térmico inducido por resistencia eléctrica; d) se harán pasar a través de la nube atómica obtenida, un haz de luz generado por lámparas específicas de cátodo hueco o de descarga sin electrodo; e) se obtendrá la respuesta instrumental de absorbancia integrada, usando un corrector de fondo y f) se comparará la absorbancia integrada de muestras y estándares para obtener la concentración de plomo en la sangre estudiada. Los resultados serán reportados en microgramos por decilitro ($\mu\text{g/dl}$).

Las muestras fueron enviadas para su procesamiento a un laboratorio clínico de referencia, acreditado por el College of American Pathologist y por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), siguiendo las normas nacionales establecidas (**NOM-199-SSA1-2000; NOM-047-SSA1-2011**).

APENDICE A

MÉTODOS DE PRUEBA PARA LA DETERMINACIÓN DE PLOMO EN SANGRE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON HORNO DE GRAFITO, CORRECTOR DE FONDO, MODIFICADOR DE MATRIZ Y PLATAFORMA DE L'VOV; Y VOLTAMPEROMETRÍA DE REDISOLUCIÓN ANÓDICA

1. Toma de la muestra

Para que los resultados de las determinaciones de plomo en sangre sean confiables, la colección y el manejo de muestras son factores importantes que hay que controlar adecuadamente, por lo que la muestra debe ser colectada por punción venosa en un

lugar cerrado fuera del área de exposición y con las condiciones de higiene adecuadas para evitar la contaminación de la misma.

La sangre humana se debe manejar cuidadosamente considerándola como fuente potencial de enfermedades infectocontagiosas (hepatitis, SIDA, entre otras, por lo cual se deben cumplir las medidas de seguridad e higiene para el manejo y disposición de materiales, sustancias y residuos biológico, infecciosos (NOM-087-ECOL-1994).

1.1 Material requerido:

Todo el material utilizado en el desarrollo de este método debe ser exclusivo para esta finalidad y no debe ser empleado para otras determinaciones, para disminuir la probabilidad de contaminación por fuentes externas.

1.1.1 Tubos libres de plomo de 1 ml de capacidad con anticoagulante (para niños menores de 1 año).

1.1.2 Tubos de extracción de sangre al vacío de 3 a 10 ml de capacidad, que contengan anticoagulante.

1.1.3 Anticoagulantes en polvo: K3EDTA (EDTA al 15%/ml de sangre), Na2EDTA (1.5 mg de EDTA/ml de sangre), heparina sódica o de litio (143 unidades USP).

Se recomienda usar EDTA-Tripotásico y disódico debido a que la heparina permite la formación de microcoágulos en muestras almacenadas.

Si la persona sujeta a análisis está bajo tratamiento farmacológico con agentes quelantes, se debe obtener la muestra cinco días después de haber tomado la última dosis.

Únicamente para el método de prueba de voltamperometría de redisolución anódica. En caso de utilizar material con EDTA, se requiere que el tubo sea llenado por lo menos a dos tercios de su capacidad al tomar la muestra, para que la concentración del anticoagulante sea la indicada.

1.1.4 Agujas estériles para toma múltiple.

1.1.5 Adaptador o sujetador de plástico para los tubos al vacío.

1.1.6 Torniquete o liga de hule flexible.

1.1.7 Torundas de algodón.

1.1.8 Alcohol etílico 96°.

1.1.9 Producto limpiador dermatológicamente probado con eficiencia demostrada para eliminar plomo en piel.

1.1.10 Recipiente adecuado para el desecho de material con residuos peligrosos, biológico-infecciosos (NOM-087-ECOL-1994).

1.1.11 Recipientes, contenedores térmicos o hieleras con refrigerantes en su interior

1.1.12 Etiquetas adhesivas.

1.1.13 Charola de plástico o acero inoxidable.

1.1.14 Palangana de plástico o acero inoxidable.

1.1.15 Gasas estériles.

1.1.16 Guantes desechables.

1.1.17 Paño de lino estéril.

1.1.18 Alcohol isopropílico.

1.2 Procedimiento.

1.2.1 Para sangre venosa.

1.2.1.1 Lavar perfectamente el sitio de la toma de la muestra (brazo, antebrazo, talón, cara anterior de la muñeca y el área de punción) con agua y algún producto limpiador dermatológicamente probado, que arrastre el plomo, enjuagando con agua desionizada y dejar secar.

1.2.1.2 Etiquetar e identificar con tinta indeleble cada tubo para la toma de las muestras al menos con la siguiente información: a) nombre de la persona y b) número de clave o código asignado por el laboratorio.

1.2.1.3 Realizar la punción venosa y tomar la muestra. Obtener al menos 2 ml de sangre en el caso de personas mayores de 1 año y 1 ml en niños menores de un año. Para el método de voltamperometría de redisolución anódica se debe coleccionar la sangre al menos hasta dos tercios de la capacidad del tubo al tomar la muestra.

1.2.1.4 Agitar suavemente por inversión el tubo donde se coleccionó la muestra, mínimo 20 veces, para mezclar el anticoagulante.

1.2.2 Para cordón umbilical.

1.2.2.1 La toma de la muestra en cordón umbilical debe realizarse en los primeros 30 minutos después del parto.

1.2.2.2 Utilice una charola preparada y reciba la placenta en una palangana del equipo de obstetricia.

1.2.2.3 Extienda el cordón sobre el borde de la palangana con la pinza de la charola. Limpie con gasas cualquier líquido que exista en el cordón, desde el punto de unión a la placenta, hasta el punto que cuelga sobre el borde de la palangana.

1.2.2.4 Coloque un paño de lino estéril bajo el cordón, de tal manera que quede situado bajo todo el cordón umbilical que descansa sobre la palangana.

1.2.2.5 Frote en una sola dirección, del punto de unión de la placenta al borde de la palangana, el cordón umbilical con una torunda de alcohol isopropílico. Repita este procedimiento con una segunda torunda.

1.2.2.6 Posteriormente enjuague el cordón umbilical con 10 ml de agua desionizada con una jeringa, teniendo cuidado de rociar del final del cordón (en el borde de la palangana) hacia la placenta.

1.2.2.7 Limpie el exceso de agua con una gasa estéril, asegurándose de limpiar en una sola dirección, del borde de la palangana hacia la placenta. Cambie de guantes conforme sea necesario.

1.2.2.8 Etiquetar e identificar con tinta indeleble cada tubo al vacío para la toma de las muestras al menos con la siguiente información: a) nombre de la madre del niño, b) especificar que es sangre del cordón umbilical del producto y c) número de clave o código asignado por el laboratorio.

1.2.2.9 Realizar la punción utilizando el contenedor del tubo al vacío, inserte una aguja del número 20 en la parte limpia del cordón umbilical. Posteriormente inserte el tubo al vacío y obtenga al menos $\frac{3}{4}$ partes de sangre de la capacidad del tubo al vacío al tomar la muestra.

1.2.2.10 Agite suavemente 20 veces el tubo al vacío, permitiendo que el anticoagulante se mezcle con la sangre.

1.2.2.11 Método de prueba para la determinación de plomo en sangre.

1.3 Manejo, transporte y almacenamiento:

Cuando las muestras de sangre sean transportadas al laboratorio para su análisis, se deben tener en cuenta las precauciones siguientes:

1.3.1 Si el tiempo utilizado para su transporte es menor a seis horas deben mantenerse en un intervalo de temperatura de 4 a 25°C, hasta llegar al laboratorio donde serán refrigeradas a una temperatura de 4 a 8°C para su conservación.

1.3.2 El análisis de la muestra no será mayor a tres semanas a partir del día de la toma de la muestra.

1.3.3 Si el tiempo utilizado para su transporte es mayor a 6 horas se debe emplear un

recipiente térmico para mantener las muestras a una temperatura de 4 a 8°C mediante refrigerantes.

1.4 Criterios de rechazo de muestras:

El criterio para el rechazo de muestras es aplicable a:

- A) Aquellas cuyo volumen sea menor a 2 ml en el caso de personas mayores de un año y 0.50 ml en niños menores de un año, para espectrofotometría de absorción atómica.
- B) En voltamperometría de redisolución anódica, cuando el volumen sea menor de dos tercios de la capacidad del tubo.
- C) Aquellas en las que se sospeche de contaminación debido al manejo inadecuado evidente.
- D) Muestras coaguladas.

2. Limpieza del material utilizado para el análisis de las muestras

Todo el material de vidrio, plástico u otro utilizado para el análisis de muestras para la determinación de plomo en sangre, que se use más de una vez, debe someterse a técnicas específicas de limpieza química con el fin de evitar alguna contaminación por plomo y polvo proveniente del medio ambiente.

2.1 Equipos, materiales y reactivos

2.1.1 Instrumental de vidrio, plástico u otros materiales (pipetas, matraces, vasos de precipitado, probetas, tapones, tubos de ensaye, botes de polipropileno y recipientes diversos).

2.1.2 Jabón o solución limpiadora catiónica al 2.0%.

2.1.3 Solución de ácido nítrico (HNO_3) al 10% grado analítico.

2.1.4 Agua tipo H_2O $10.0 \text{ M} \cdot \text{cm}^{-1}$.

2.1.5 Estufa para secado de material, ajustada a una temperatura de 70°C.

2.1.6 Recipientes de vidrio o plástico cuyas dimensiones permitan la limpieza segura del instrumental.

2.1.7 Bolsas de plástico.

2.1.8 Agua corriente.

2.1.9 Guantes resistentes al ácido nítrico al 10%.

2.2 Procedimiento para el lavado.

2.2.1 Lavar con agua corriente los implementos e instrumental de vidrio, plástico u otros.

2.2.2 Sumergirlos en una solución de detergente catiónico al 2.0%, al menos durante 2 horas.

2.2.3 Enjuagarlos con agua corriente.

2.2.4 Sumergirlos en una solución que contenga ácido nítrico al 10%, se dejan reposar al menos 12 horas.

2.2.5 Enjuagarlo abundantemente con agua tipo ≤ 10.0 mhos/cm.

2.2.6 Secarlos perfectamente dejándolos escurrir o en la estufa a una temperatura de 70°C por un tiempo de 2 a 3 horas, a excepción del instrumental calibrado.

2.2.7 Dejarlos enfriar sobre una superficie teniéndolos cubiertos para evitar que se contaminen por fuentes externas.

2.2.8 Guardarlos en bolsas de plástico para evitar la contaminación de cualquier agente externo.

3. Método de prueba

ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON HORNO DE GRAFITO, CORRECTOR DE FONDO, MUESTREADOR AUTOMÁTICO, MODIFICADOR DE MATRIZ, PLATAFORMA DE L VOV.

Método para la determinación de plomo en sangre por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito, corrector de fondo y muestreador automático, usando modificador de matriz y plataforma de L vov.

Este método es adecuado para evaluar el plomo en sangre que tenga concentraciones de este metal hasta 80 µg/dl. Sin embargo, pueden determinarse niveles mayores de plomo cuando se aplican diluciones a la muestra original.

3.1 Principio del método.

A partir de muestras de sangre y estándares de concentración conocida, se obtienen átomos de plomo en estado elemental; se hace pasar a través de éstos un haz de luz de 283.3 nm y se mide la cantidad de luz absorbida, que es proporcional al número de átomos presentes; para ello:

- a) se acondicionan las muestras de sangre y los estándares con modificador de matriz.
- b) se colocan en forma individual y automatizada en una plataforma de L vov de temperatura estable, instalada en un tubo de grafito pirolítico.
- c) se someten a un tratamiento térmico inducido por resistencia eléctrica.
- d) se hace pasar a través de la nube atómica obtenida, un haz de luz generado por lámparas específicas de cátodo hueco o de descarga sin electrodo.
- e) se obtiene la respuesta instrumental de absorbancia integrada, usando un corrector de fondo.
- f) se compara la absorbancia integrada de muestras y estándares para obtener la concentración de plomo en la sangre estudiada.

3.2 Reactivos.

Todas las sustancias químicas deben cumplir con los requerimientos de pureza:

- A) Agua tipo ≥ 10.0 mhos/cm.
- B) Ácido nítrico (HNO_3) ultrapuro.
- C) Fosfato dibásico de amonio ultrapuro $(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$.
- D) Octil-fenoxi-polietoxietanol (Tritón X-100).
- E) Estándar de plomo [1000 $\mu\text{g/ml}$] con certificado de análisis.
- F) Control de plomo en sangre con certificado de análisis, emitido por un organismo internacional reconocido.

3.3 Material y equipo.

3.3.1 Espectrofotómetro de absorción atómica equipado con horno de grafito, corrector de fondo y muestreador automático.

3.3.2 Lámpara de plomo de cátodo hueco o de descarga sin electrodo.

3.3.3 Utilizar argón o nitrógeno como gas de purga, de grado alta pureza.

3.3.4 Tubos de grafito pirolítico.

3.3.5 Plataformas de L vov.

3.3.6 Pipeta volumétrica o probetas de 10 ml.

3.3.7 Micropipetas con capacidad de: 20 µl volumen fijo; y de 100 µl y 1000 µl volumen variable.

3.3.8 Puntas de plástico para micropipetas.

3.3.9 Matraces volumétricos clase A de: 10, 100 y 1000 ml.

3.3.10 Copas de muestreo.

3.3.11 Guantes para trabajo en el laboratorio.

3.3.12 Balanza con capacidad de resolución 0.001 gr.

3.3.13 Refrigerador (4 a 8°C).

3.4 Preparación de la muestra y estándares

Nota: Usar siempre agua tipo $\leq 10.0 \text{ M cm}^{-1}$.

a) Solución modificadora de matriz:

En un matraz aforado de 100 ml añadir 0.2 g. de fosfato dibásico de amonio y la cantidad mínima de agua para obtener su disolución; adicionar 0.5 ml de Tritón X-100 y 0.2 ml de ácido nítrico ultrapuro. Mezclar y aforar con agua.

b) Solución de lavado para el automuestreador:

Colocar al menos 200 ml de agua en un recipiente de polipropileno de 2 litros previamente lavado.

Agregar al recipiente de polipropileno 10 ml de Tritón X-100 medidos con una probeta o pipeta de 10 ml, agitar hasta disolución.

Lavar 3 veces pipeta volumétrica o la probeta con agua y agregar el agua de lavado al recipiente de polipropileno.

Llenar con agua el recipiente de polipropileno hasta un 90% de su volumen total y agitar para mezclar la solución.

Adicionar el agua faltante según lo permita el nivel de espuma formado (esta solución se prepara según se requiera por el equipo).

c) Preparación de Estándares:

c.1 Solución patrón de plomo con certificado de análisis [1000 µg/ml]

De acuerdo a las instrucciones de dilución del fabricante obtener una solución patrón de 1000 µg/ml en ácido nítrico ultrapuro al 5%. La vigencia de esta solución es de un año.

c.2 Solución intermedia de plomo [10 µg/ml]

En un matraz volumétrico de 100 ml poner 1 ml de solución patrón de plomo [1000 µg/ml] y 5 ml de ácido nítrico y aforar con agua. La vigencia de esta solución es de un mes.

c.3 Soluciones de trabajo

Preparar cada semana los estándares de trabajo de 50, 100, 250, 500 y 750 µg/l (5, 10, 25, 50 y 75 µg/dl) de una la solución intermedia de plomo [10 µg/ml].

Preparación de las soluciones de trabajo:

VOLUMEN DE SOLUCIÓN INTERMEDIA (1000 µg/dl) AGREGADOS (ml)	VOLUMEN DE AGUA DESTILADA AGREGADOS (ml) PARA UN AFORO DE 10 ml	CONCENTRACIÓN FINAL DE LA SOLUCIÓN DE TRABAJO (µg/dl)
0.05	9.95	5
0.1	9.9	10
0.25	9.75	25
0.5	9.5	50
0.75	9.25	75

NOTA: Se podrán preparar soluciones de trabajo cuyas concentraciones se encuentren dentro del intervalo de linealidad del método (desde el límite de cuantificación hasta 80 µg/dl de concentración).

d) Preparación de estándares de calibración y de las muestras:

Preparar los estándares de calibración en las copas de muestreo.

d.1 Con modificador de matriz.

Preparar los estándares de calibración y las muestras como se describe en el cuadro número 1, cumpliendo con el intervalo de concentración del cuadro.

CUADRO NO. 1									
	MODIF.	AGUA	SOLUCIONES DE TRABAJO					MUESTRAS	CC
	MATRIZ (µl)	(µl)	50 [µg/l]	100 [µg/l]	250 [µg/l]	500 [µg/l]	750	µl	µl
BLANCO REACTIVO	900	100	-	-	-	-	-	-	-
ESTÁNDAR 5 µg/dl	900	-	100µl	-	-	-	-	-	-

ESTÁN- DAR 10 µg/dl	900	-	-	100µl	-	-	-	-	-
ESTÁN- DAR 25 µg/dl	900	-	-	-	100µl	-	-	-	-
ESTÁN- DAR 50 µg/dl	900	-	-	-	-	100µl	-	-	-
ESTÁN- DAR 75 µg/dl	900	-	-	-	-	-	-	-	-
MUES- TRAS									
	900	-	-	-	-	-	-	100	-
*CC	900	-	-	-	-	-	-	-	100

*CC (Control de plomo en sangre con certificado de análisis)

d.2 Con adición de estándar

Preparar los estándares de calibración y las muestras como se describe en el cuadro número 2. Usar como sangre base una muestra previamente preparada y analizada según el punto 3.5 y cuyo contenido de plomo sea ≤ 10.0 µg/dl.

Homogeneizar la muestra de sangre con agitación suave y adicionar la alícuota como se señala en el cuadro 2, enjuagar y mezclar mediante bombeo repetido con la micro-pipeta, utilizando la punta como agitador para eliminar de ésta toda traza de sangre.

CUADRO NO. 2										
	MODIF.	AGUA	SOLUCIONES DE TRABAJO					SANGRE	MUESTRAS	CC
	MA- TRIZ (µl)	(µl)	50 [µg/l]	100 [µg/l]	250 [µg/l]	500 [µg/l]	750 [µg/l]	BASE	µl	µl
BLAN- CO REAC- TIVO	800	100	-	-	-	-	-	100	-	-
ES- TÁN- DAR 5 µg/dl	800	-	100µl	-	-	-	-	100	-	-
ES- TÁN- DAR 10 µg/dl	800	-	-	100µl	-	-	-	100	-	-
ES- TÁN- DAR 25 µg/dl	800	-	-	-	100µl	-	-	100	-	-

ES-TÁN-DAR 50 µg/dl	800	-	-	-	-	100µl	-	100	-	-
ES-TÁN-DAR 75 µg/dl	800	-	-	-	-	-	100µl	100	-	-
MUES-TRAS										
	900	-	-	-	-	-	-	-	100	-
*CC	900	-	-	-	-	-	-	-	-	100
*CC (Control de plomo en sangre con certificado de análisis).										

3.5 Procedimiento.

3.5.1 El área de preparación y análisis de las muestras debe ser aislada, estar limpia y libre de polvo.

3.5.2 Los parámetros instrumentales son los siguientes:

Longitud de onda: 283.3 nm. Tipo de señal: absorbancia integrada. Medición de la señal: área del pico. Ancho de banda: de acuerdo a las especificaciones de cada instrumento.

Los parámetros como las temperaturas y los tiempos de: secado, calcinado y atomizado del horno de grafito se establecen a partir de las especificaciones de operación y se optimizan en cada laboratorio.

3.5.3 Curva de calibración.

Elaborar una curva de absorbancia integrada vs concentración con estándares acuosos de plomo o una curva de calibración con adición de estándar, debiendo obtener un coeficiente de correlación $r > 0.995$.

Analizar los controles de plomo en sangre con certificado de análisis, en caso de que algún valor esté fuera del intervalo certificado volver a preparar la curva de calibración.

3.5.4 Análisis de la muestra.

Analizar las muestras, usando la longitud de onda de 283.3 nm y corrector de fondo.

El análisis se realiza por duplicado, tomando 20 µl de muestra.

3.5.5 Control de calidad.

Analizar el control de plomo en sangre con certificado de análisis cada 20 muestras leídas, para comprobar la calidad de los resultados.

En caso de que la lectura del control de plomo en sangre esté fuera del intervalo certificado, recalibrar y repetir las lecturas del último lote de muestras.

Cuando alguna muestra exceda el intervalo lineal definido con esta curva, se analizará nuevamente, realizando una dilución 1:20 de la siguiente manera: 100 µl de sangre más 1900 µl de modificador de matriz.

3.5.6 Expresión de los resultados.

Para calcular la concentración de plomo de muestras, se interpola el valor de absorbancia integrada en la gráfica de la curva de calibración.

Para muestras que se han diluido considerar el factor de dilución.

La concentración de plomo en las muestras se reporta en µg/dl, con una cifra decimal.

3.5.7 Límite de detección.

Límite de detección 1.5 µg de plomo/dl de sangre.

3.5.8 Linearidad.

Desde el límite de cuantificación establecido para las condiciones específicas de operación hasta 80.0 µg de plomo/dl de sangre.

3.5.9 Precisión.

Coeficiente de variación < 10%.

4. Método de prueba

VOLTAMPEROMETRÍA DE REDISOLUCIÓN ANÓDICA

Método para la determinación de plomo en sangre por voltamperometría de redisolución anódica.

El análisis se realiza con 100 µl de sangre, por duplicado.

Este método es adecuado para evaluar el plomo en sangre total que tenga concentraciones de este metal en un intervalo de 1 a 100 µg/dl.

4.1 Principio del método

La voltamperometría de redisolución anódica es un método de alta precisión virtualmente libre de interferencias. 1) La sangre se añade en el reactivo apropiado para la rápida liberación del plomo de la muestra. 2) El plomo de la muestra se concentra y

deposita en un electrodo de mercurio/grafito, durante la etapa de electrodeposición. 3) El plomo depositado se remueve del electrodo en la etapa de redisolución, y se cuantifica por la integración del pico de corriente resultante de una rápida reacción electroquímica, el área del pico que se obtiene durante la etapa de redisolución, es proporcional a la cantidad de plomo presente en la sangre.

4.2 Reactivos

Los apropiados para la determinación de plomo en sangre por voltamperometría de redisolución anódica de acuerdo al equipo utilizado.

- a) Reactivo que cumpla con las propiedades requeridas para la determinación de plomo en sangre, por voltamperometría de redisolución anódica.
- b) Agua tipo I: $\cdot 10.0 \cdot M \text{ cm}^{-1}$
- c) Reactivos de calibración de plomo específicos para voltamperometría de redisolución anódica con concentración para la calibración (dentro del intervalo de calibración de 5 a $100 \mu\text{g/dl}$).
- d) Controles de plomo en sangre con certificado de análisis de un organismo internacional reconocido.

4.3 Material y equipo

Todo el material que sea utilizado en la determinación de plomo en sangre y que se encuentre en contacto con el equipo y la sangre debe estar libre de plomo.

4.3.1 Voltámetro con capacidad de analizar muestras de sangre cuyas concentraciones de plomo sean de 1 a $100 \mu\text{g/dl}$.

4.3.2 Micropipetas de volumen fijo $100 \mu\text{l}$.

4.3.3 Puntas desechables para micropipetas lavadas de acuerdo al inciso 2.2.

4.3.4 Guantes.

4.3.5 Piseta.

4.4 Preparación del equipo:

El voltámetro debe ser preparado de acuerdo a los procedimientos del manual de operación del fabricante y cumplir con las indicaciones propias para la determinación de plomo en sangre.

4.5 Calibración del equipo

Calibrar el equipo siguiendo el procedimiento de operación y analizar por duplicado los controles de calibración.

4.6 Control de calidad.

Analizar los controles de plomo en sangre con certificado de análisis inmediatamente después de la calibración y después de cada 20 muestras leídas, para comprobar la calidad de los resultados.

Verificar la linealidad del instrumento con los controles propios para voltamperometría.

En caso de que la lectura de los controles de plomo certificados esté fuera del intervalo, recalibrar y repetir las lecturas del último lote de muestras.

Cuando el resultado de una muestra exceda el intervalo definido en la curva de calibración, se debe repetir el análisis utilizando 50 µl de sangre.

4.7 Expresión de resultados.

Los resultados de los análisis deben expresarse en µg/dl con una cifra decimal.

4.8 Límite de detección.

1µg/dl de plomo.

4.9 Linealidad.

De 5.0 a 100.0 µg/dl de plomo en sangre.

4.10 Precisión.

Coeficiente de variación < 10%.

APENDICE B

INFORME DE RESULTADOS

El informe de resultados de laboratorio debe estar foliado y tener los siguientes datos:

1. Identificación del laboratorio aprobado: Nombre o razón social Domicilio
Número de aprobación Firma del signatario.
2. Identificación del cliente: Nombre o razón social de la persona física o moral que solicita realizar las pruebas de laboratorio. Domicilio.

3. Identificación de la muestra: Tipo de prueba que se realizó Método utilizado
 Fecha de toma Fecha de recepción Fecha de análisis Fecha de emisión del
 informe de resultados Resultado de análisis Unidades en µg/dl Número de
 clave o código asignado por el laboratorio Valores de referencia del estándar
 certificado para el control de calidad.

4. Identificación de la persona: Nombre, sexo y edad.

Variables del cuestionario más importantes:

CARACTERÍSTICAS SOCIOLABORALES	
Edad en años, media (DE) [%]	
Categorías de edad. Frecuencia (%)	
	16-20
	21-30
	31-40
	41-50
	51-60
	>61
Escolaridad n (%)	
Primaria, lee y analfabeta	
Secundaria	
Preparatoria	
Licenciatura y maestría	
Artesanos n (%)	
Cerámica: talavera vidriada con plomo	
Barro tradicional vidriado con plomo	
Barro tradicional sin plomo o bruñido	
Otros (textil, madera, ónix, etc.)	
Comunidades n (%)	
San Pablo del Monte	
La Trinidad Tenexyecac	
Tzompantepec	
Españita	
Otras comunidades	
Generaciones que usan plomo n (%)	
	0
	1
	2
	≥3
Años como artesanos Media (DE)	

Cerámica: talavera
Barro tradicional vidriado con plomo
Barro tradicional sin plomo o bruñido
Otros artesanos (textil, madera, ónix, bordado, etc.)
Cuentan con horno n (%)
No
Sí en casa
Sí, fuera de casa
Horas que trabaja cada día
mediana [Q25, Q75]
(mín-máx)
Kilogramos de plomo utilizados cada mes
mediana [Q25-Q75]
(mín-máx)
Número de veces que quema cada mes
mediana [Q25-Q75]
(mín-máx)
Conductas higiénicas: en los talleres de cerámica
Malas conductas
Buenas conductas
Usan BVPb# para cocinar n (%)
No
Sí
Ingesta de alcohol n (%)
Actual
Nunca
En el pasado
Tabaquismo n (%)
Actual
Nunca
En el pasado