



Gestión del riesgo hídrico industrial en León, Guanajuato: peligro, exposición y vulnerabilidad

Industrial water risk management in León, Guanajuato: hazard, exposure, and vulnerability

Oriana Landa Cansigno , Norma Claudia Calderón Rosas  ✉, Catalina Leticia De la Rosa Juárez ,
Miroslava Alejandra Silva Goujon 

CIATEC AC, Dirección de Investigación Aplicada y Desarrollo, Área de Medio Ambiente y Biotecnología, Omega 201, Industrial Delta, León, Guanajuato, CP 37545, Tel. 477-710-0011 Ext.15303

Resumen

El objetivo de este estudio es evaluar el peligro, la exposición y la vulnerabilidad del municipio de León ante la contaminación hídrica, como parte del Atlas Municipal de Riesgos. La metodología, basada en la guía de CENAPRED, integró análisis ambientales y espaciales para identificar zonas críticas. Los resultados evidencian que la zona suroeste, desde la Central de Abastos hasta la colindancia municipal, está fuertemente contaminada, con valores de Demanda Química de Oxígeno de hasta 10,979 mg/L y contaminación fecal generalizada, clasificándose con niveles de peligro altos. Estas áreas coinciden con sectores industriales y a la vez, de elevada vulnerabilidad social, lo que incrementa el riesgo sanitario-ambiental. La contaminación se asocia en parte al sector curtidor, aunque otros giros comerciales también contribuyen, requiriéndose acciones prioritarias de regulación.

Palabras clave: Contaminación, descargas industriales y comerciales, vulnerabilidad social, parámetros de calidad del agua, niveles de peligro, zonas críticas.

Abstract

The aim of this study is to assess the hazard, exposure, and vulnerability of the municipality of León to water pollution, as part of the Municipal Risk Atlas. The methodology, based on the CENAPRED guide, integrated environmental and spatial analyses to identify critical areas. The results show that the southwest area, from the *Central de Abastos* to the municipal boundary, is severely polluted, with Chemical Oxygen Demand values of up to 10,979 mg/L and widespread fecal contamination, classifying it with high hazard levels. These areas coincide with industrial sectors and at the same time, with high social vulnerability, which increases the health-environmental risk. Pollution is mainly associated with the tanning sector, although other commercial activities also contribute, requiring priority actions for regulation.

Keywords: Pollution, industrial and commercial discharges, social vulnerability, water quality parameters, hazard levels, critical zones.

Introducción

La contaminación del agua representa uno de los principales desafíos ambientales y de salud pública en las ciudades con fuerte presencia industrial (Valdovinos-Flores, 2025; Babuji *et al.*, 2023). El vertido de agua residual sin tratamiento en los cuerpos de agua superficial contribuye a su deterioro ambiental. Esto provoca la alteración de las condiciones químicas y con ello puede generar olores, mortandad de fauna y flora acuática y deterioro del paisaje.

En el municipio de León, Guanajuato, la histórica vocación productiva industrial ha promovido un crecimiento económico, pero ha intensificado la presión sobre la disponibilidad del agua (Tagle-Zamora, 2023) y la gestión inadecuada de efluentes ha resultado en efectos adversos al medio ambiente. Estudios previos han demostrado la presencia de sustancias, tales como el cromo hexavalen-

Historial

Manuscrito recibido: 31 de octubre de 2025

Manuscrito aceptado: 19 de abril de 2026

Manuscrito publicado: agosto de 2026

✉ Autor para correspondencia

Norma Claudia Calderón Rosas

ncalderon@ciatec.mx

Como citar

Landa Cansigno O, Calderón Rosas NC, De la Rosa Juárez CL, Silva Goujon MA (2026). Gestión del riesgo hídrico industrial en León, Guanajuato: peligro, exposición y vulnerabilidad. *Ciencia Nicolaita* 97:31-40. DOI:[10.35830/cn.vi97.924](https://doi.org/10.35830/cn.vi97.924)

te, sulfuros y bacterias fecales en el agua residual en el Arroyo Hondo, Arroyo Las Mulas, Río Turbio, cuerpos de agua ubicados en zonas industriales (CIATEC *et al.*, 2013). Dichos contaminantes han sido vinculados con el sector cuero-calzado, y potencialmente tienen un efecto en

la incidencia de enfermedades gastrointestinales, daños al sistema nervioso, y otros crónicos, dependiendo de los niveles y tiempos de exposición (Babuji *et al.*, 2023; Smith, 2023). Adicionalmente, el agua mezclada con estos efluentes que ha sido empleada a largo plazo en la agricultura ha incrementado la salinidad y sodicidad así como ha disminuido la función biológica del suelo (Álvarez-Bernal, *et al.*, 2006). Actualmente Programa de Regulación Ecológica (PRECO) y el programa de saneamiento del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL) siguen vigentes para descargas de tipo comercial e industrial, pero no todos se encuentran adheridas al programa (Avila, 2026), lo que sugiere que, a pesar de los esfuerzos técnicos por tratar el agua, aún existen irregularidades que afectarían la contabilización, recaudación y tratamiento adecuados.

Por lo anterior, se requiere la consideración articulada de los peligros (presencia y concentración de contaminantes), la exposición de los sistemas humanos, productivos y ecológicos, así como su nivel de vulnerabilidad y capacidad de respuesta (Cavero-Torres y Mariño-Tenio, 2025) en el estudio de la contaminación hídrica en el municipio de León. Bajo esta perspectiva, los Atlas de Riesgos municipales constituyen una herramienta estratégica para evaluar la información de manera integrada y con ello poder conocer la degradación ambiental y también los factores de riesgo, y sustentar acciones de prevención en el municipio.

El objetivo general de este trabajo es evaluar los peligros asociados a la actividad industrial para la exposición de la población y de los sistemas hídricos, y de su vulnerabilidad frente a la contaminación del agua como parte del fenómeno sanitario-ambiental de un atlas de riesgo, estudiado en la ciudad de León. Esto con el fin de generar evidencia que sustente la priorización de acciones para el control de la contaminación hídrica, en el contexto de la gestión integral del riesgo de desastres, y que contribuya a la formulación de políticas públicas orientadas a garantizar un entorno urbano seguro y ambientalmente sostenible.

Metodología

La metodología se desarrolló principalmente en un marco de la *Guía de Contenido Mínimo para la Elaboración del Atlas Nacional de Riesgos* (DOF, 2016), acoplados con metodologías ambientales y de análisis territorial. En este sentido, se integraron actividades de reconocimiento en campo, análisis fisicoquímicos en laboratorio, cálculos de indicadores de peligro y vulnerabilidad, y se realizó su representación geoespacial, con el propósito de generar evidencia que ubique los sitios críticos.

Caso de estudio

El municipio de León se ubica entre las coordenadas 21.330172° y 20.864598° latitud Norte y -101.8333448° y -101.372250° longitud Oeste, en un rango altitudinal de 1,000 a 2,900 m.s.n.m. Tiene una superficie de 1,222.8 km² y se conforma por 678 localidades. Su precipitación es de 600 a 900 mm por año y sus principales climas son semiseco semicálido, templado subhúmedo y semicálido subhúmedo con lluvias en verano. La población total es de 1,721,215 habitantes, de los cuales el 49.2% son hombres y el 50.8% son mujeres (INEGI, 2020). La red hidrográfica se conforma de varias corrientes y cuerpos de agua intermitentes o perennes, tales como los ríos Alfaro, Ibarra, Granizo, Arroyo Hondo, Grande, y el canal (río) de Los Gómez, que posteriormente llega al Río Turbio. Los cuerpos de agua más grandes corresponden a la Presa El Palote y Presa Blanca, entre otras (IMPLAN, 2023a). Existen 23 desarrollos de origen industrial y 4 aglomeraciones o naves industriales que se encuentran distribuidos en la ciudad, 22 de éstos registran un promedio de porcentaje de ocupación del 50% (IMPLAN, S.f.).

En la **Figura 1** se observa el municipio, sus colindancias y zonas habitadas (urbanas y rurales), las corrientes hidrográficas y algunos parques industriales (Parque Industrial Colinas de León I y II, Parque Industrial PIEL, Parque Industrial PILBA, Parque Industrial Stiva y Parque Industrial Vynmsa León).

Identificación de descargas

Para la identificación de descargas activas en el periodo 2020 a 2023, se consultaron los inventarios de descargas registradas a nivel municipal y federal (solicitud directa), estudios previos, el inventario de reportes ciudadanos a Protección Civil y en observaciones directas en campo, como se explica en IMPLAN (2023b). En campo se recorrieron las siguientes corrientes de agua: Arroyo Hondo (0.87 km), Arroyo Las Liebres (3.23 km), Arroyo El Grande (1.87 km), y la zona de Canal los Gómez- Río Turbio y el Arroyo Los Castillos (23.84 km). Se registró la presencia o ausencia de caudal, ubicación y presencia de tuberías observables (**Figura 2**). Posteriormente, se clasificaron según su origen y ubicación, de acuerdo con los datos recopilados.

En el caso de los reportes ciudadanos, se realizó un análisis lexicométrico ubicando palabras clave que describieran el principal contaminante, la empresa que lo origina o bien el tipo de residuo líquido. Si la descripción no era detallada, se categorizaron como otros.

Estimación de peligro

El análisis de peligro incluyó evaluar el grado de contami-

nación en diversas corrientes de agua superficiales y posteriormente, generar un índice de peligro. Se llevó a cabo una jornada de muestreo durante el mes de enero de 2023 en 14 sitios (puntos verdes, **Figura 2**), donde se evaluaron la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la deman-

da química de oxígeno (DQO) y las coliformes fecales, siguiendo procedimientos estandarizados (NMX-AA-042-SCFI-2015; NMX-AA-028-SCFI-2012; NMX-AA-030/1-SCFI-2012). Estos parámetros se eligieron por su representatividad para mostrar la contaminación orgánica,

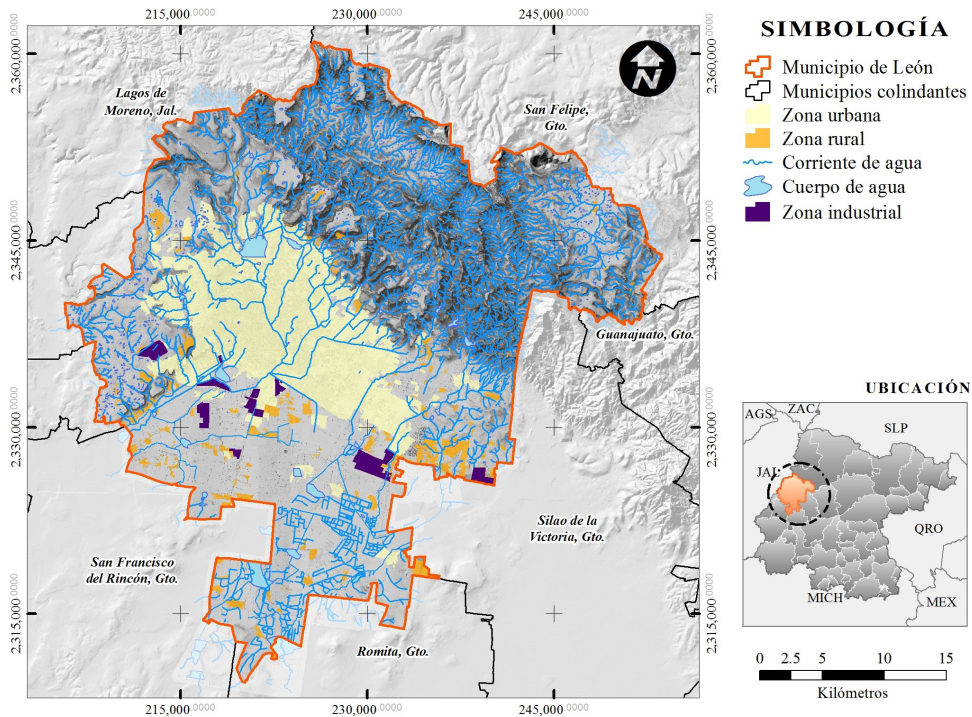


Figura 1. Localización del sitio de estudio y algunas zonas industriales.

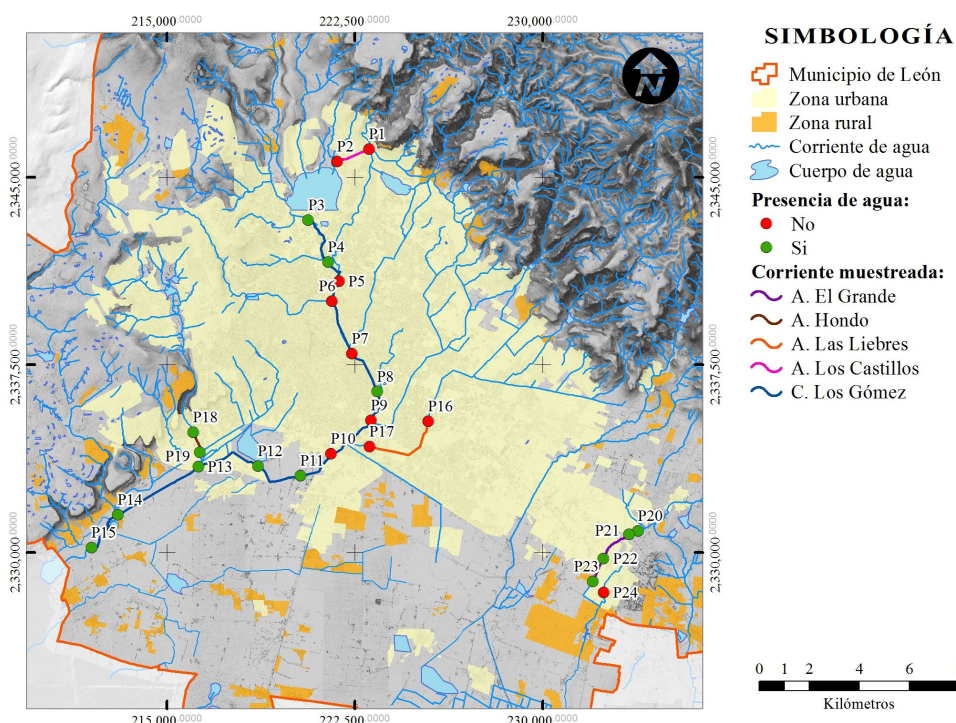


Figura 2. Mapa de recorridos.

inorgánica y fecal. La DBO estima el oxígeno requerido por microorganismos para degradar la materia orgánica en cinco días; la DQO mide la demanda de oxígeno necesaria para la oxidación química total de compuestos orgánicos; y las bacterias coliformes fecales indican la posibilidad de encontrar patógenos que podrían estar en el tracto digestivo de personas y en consecuencia en las heces fecales (SEMARNAT, 2008).

Los resultados se contrastaron con los índices de calidad de agua en cuerpos lóticos de CONAGUA (2022). Éstos se presentan en una escala de cinco niveles, pero para simplificar el análisis, los resultados se clasificaron en tres. Se propuso como “Aceptable” a todos los que resultaran en los niveles “Excelente”, “Buena Calidad” y “Aceptable” según Conagua y se mantuvieron equiparables las categorías de “Contaminada” y “Fuertemente Contaminada”, tal como se muestra en la **Tabla 1**.

Para interpretar el peligro se propuso un índice que asume que la presencia simultánea de condiciones Contaminado y Fuertemente Contaminado por diferentes parámetros aumentaría el peligro. A partir de esto, se generó una matriz multicriterio y se representa en tres niveles: Bajo, medio y alto de peligro (**Tabla 2**). Los resultados se presentaron en un mapa, mediante el software ArcGIS desktop v. 10.5 (Esri, 2017).

Identificación de Exposición

La exposición se evaluó a partir de identificar sitios contaminados con sistemas receptores, considerando que una proximidad física incrementaría la probabilidad de ser afectado. En este caso se ubicaron dos sistemas expuestos: pozos de agua potable y cuerpos de agua, considerando que se encontraran en el mismo acuífero. Si bien, la susceptibilidad del agua subterránea a ser contaminada por el agua superficial depende de la dinámica de contaminantes y mecanismos de infiltración, para este estudio se hace un análisis descriptivo. La información se obtuvo de SAPAL (solicitud directa) y del INEGI (2020). Los resultados se plasmaron en un mapa donde se observa la cercanía a los sitios muestreados.

Evaluación de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad implica que un sistema expuesto tiene una susceptibilidad de ser afectado. En este sentido, se adaptó el índice de Vulnerabilidad Social del Sistema Nacional para el Desarrollo Integral de la Familia (DIF, 2017) para integrar un enfoque de marginación y de las capacidades para afrontar y recuperarse de efectos sanitarios. Este índice estima la magnitud de la población que se encuentra en desventaja debido a múltiples factores (familiares e individuales). En este estudio se consideraron las vulnerabilidades: a) familiar (asociada a acceso de servicios en la vivienda o de salud; *ecuación 1*), b) por discapacidad y edad (*ecuación 2*), y c) por ser población infantil (*ecuación 3*). La consideración explícita de la población infantil y adulta mayor responde a la susceptibilidad biológica a enfermarse y recuperarse (OMS, 2023). La estimación se basó en los indicadores del Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2020), principal fuente de datos para este cálculo.

$$VF = \frac{PSINDER + PE_INAC + (VPH_NDEAED \cdot PROM_OCUP)}{3} \quad (1)$$

Donde VF representa la vulnerabilidad familiar, la cual se compone del indicador PSINDER (población sin afiliación a servicios de salud), PE_INAC (población de 12 años y más no económicamente activa), y el producto de VPH_NDEAED $\times$ PROM_OCUP (población residente en viviendas particulares habitadas que no disponen de energía eléctrica, agua entubada ni drenaje, por el promedio de ocupantes por vivienda).

$$VD = PCON_DISC + P_60YMAS + P_0A2 + P_3A5 \quad (2)$$

Donde VD corresponde a la vulnerabilidad asociada a la discapacidad y a la condición de adulto mayor, integrada por PCON_DISC (población con discapacidad), P_60YMAS (población de 60 años y más), así como P_0A2 y P_3A5 (población infantil de 0 a 2 años y de 3 a 5 años, respectivamente).

Tabla 1. Escala de clasificación del agua de acuerdo a la concentración de los parámetros.

CONAGUA	Este estudio	Escala (mg/L)		Escala (UFC/mL)
Excelente	Aceptable	0<DQO≤10	0<DBO≤3	0<CF≤100
Buena calidad		10<DQO≤20	3<DBO≤6	100<CF≤200
Aceptable		20<DQO≤40	6<DBO≤30	200<CF≤1,000
Contaminada	Contaminada	40<DQO≤200	30<DBO≤120	1000<CF≤10,000
Fuertemente contaminada	Fuertemente contaminada	200< DQO	120<DBO	10,000<CF

Fuente: Modificado de CONAGUA, 2022



Figura 3. Ejemplos de descargas identificadas durante los recorridos de campo.

Tabla 2. Categorización del nivel de peligro.

Nivel	Criterios	Interpretación
Bajo	0-3	Los tres parámetros son aceptables.
Medio	4-6	Los tres parámetros se combinan en niveles aceptables a contaminados (ej, dos aceptables y un contaminado, dos contaminados y un aceptable, los tres contaminados o uno de cada categoría).
Alto	7-9	Los parámetros se combinan contaminados a fuertemente contaminados.

$$VE = 6A11_NOA + P12A14_NOA + P15YM_SE + P15PRI_IN \quad (3)$$

Donde *VE* representa la vulnerabilidad infantil en educación, la cual se construye a partir de los siguientes indicadores poblacionales: *P6A11_NOA* (población de 6 a 11 años que no asiste a la escuela), *P12A14_NOA* (población de 12 a 14 años que no asiste a la escuela), *P15YM_SE* (población de 15 años y más sin escolaridad, es decir, que no aprobó ningún grado escolar), y *P15PRI_IN* (personas de 15 años y más que no concluyeron la educación primaria). La suma de todos estas sirvieron para el cálculo de la vulnerabilidad social (*ecuación 4*).

$$IVS = (0.5)VF + (0.2)VD + (0.30)VE \quad (4)$$

Se ajustó la ponderación de importancia, otorgándose un valor más alto a la vulnerabilidad familiar debido a que incluye las deficiencias en la infraestructura sanitaria, de saneamiento básico, acceso al agua potable, vivienda con piso de tierra, así como la limitación para la higiene personal y del hogar que favorecen el desarrollo de enfermedades diarreicas agudas (Secretaría de Salud, 2022). Se

elaboró un mapa temático que refleja la distribución espacial de la vulnerabilidad, con alta exposición a cuerpos de agua contaminados. El análisis se limitó a la sección longitudinal de 500 metros Si bien no existe una distancia específica sobre los efectos nocivos del agua contaminada, se tomó un rango de 500 metros (como distancia mínima a partir del eje de la corriente de agua muestreada) para el análisis de vulnerabilidad.

Resultados

Identificación de descargas

La identificación de descargas industriales y comerciales se realizó a partir de información de campo, reportes y oficios emitidos por dependencias gubernamentales. Se encontró que se regularon 91 tenerías con un volumen estimado de 2.9×10^6 m³/año de aguas residuales, además de un conjunto heterogéneo de otros giros comerciales equivalentes a 5.1×10^5 m³/año (SAPAL, 2022). Asimismo, ocho descargas registradas en el Registro de Emisiones y Contaminantes del Estado de Guanajuato (SMAOT, 2021), fueron responsables de la descarga anual de 7,551 kg de cromo y 1,141 kg de cianuros al alcantarillado. Además, se reportaron 22 descargas de agua tratada como parte de las plantas de tratamiento municipales de SAPAL que se distribuyen en todo el municipio (IMPLAN, 2023b); una de ellas es el módulo de desbaste, la cual es una planta de tratamiento para efluentes industriales. Se reportaron dos descargas sin autorización, una del sector hotelero al Arroyo Alfaro y otra de una tenería al canal La Sardeneta (IMPLAN, 2023b). Además, las observaciones directas permitieron identificar al menos 12 tuberías directas a los cuerpos Canal Los Gómez-Turbio y Arroyo El Grande, las cuales no fueron declaradas y se desconoce si están activas o no.

Por otra parte, del listado y base de datos de denuncias en la ciudad de León se reportaron 54 escurrimientos sobre la vía pública o cuerpos de agua, identificados por la

emisión de olores o flujos líquidos que las personas afectadas identifican como desagradables (IMPLAN, 2023b). Los giros involucrados se asociaron a la industria curtidora (30) debido a la descripción que las refieren como “*agua de tenería, aguas negras con químicos y cromo, sulfuros con agua*” y a su ubicación. En el caso de curtidurías se conoce que existen cuatro etapas principales (rivera, curtido, recutidos – teñido – engrase y acabado), que emplean cloruro de sodio, sales de cromo autobasificables, sulfato básico de cromo, recurientes (vegetales, acrílicos, resínicos, etc.), entre otros (Instituto Nacional de Ecología, 1999). Por tanto, si los ciudadanos reportaron algo similar se asumió una relación con este giro industrial. Otras 11 menciones se asociaron al sector alimentario, donde mayormente se refieren a “*grasa o agua con grasa*” y palabras asociadas a “*pescado y mariscos*”. Se señalaron explícitamente dos de “*agua de deshielo*” y una de “*líquidos de estéticas*”. Es importante destacar que la información recabada no contenía datos de ubicación.

Estos resultados confirman la existencia de puntos de descarga o escurrimientos industriales y otras fuentes comerciales que también carecen de regulación, no obstante, de acuerdo con la información obtenida, es difícil estimar el número y tipo de establecimientos específicos que están en incumplimiento. La industria curtidora es conocida por aportar contaminantes, pero la alta presencia de coliformes fecales también podría ser de origen doméstico. La contaminación del agua compromete la funcionalidad ecosistémica del río Turbio y representa una amenaza di-

recta a la salud de las comunidades aledañas (Nava y Perera-Burgos, 2025).

Peligro por contaminación del agua

La evaluación de la calidad de agua en cuerpos de agua superficial, para los parámetros DBO y DQO, indica que los sitios de la zona sur poniente presentan una fuerte contaminación industrial, ver **Tabla 3**. Destacan las concentraciones en la Salida del Parque Industrial PIEL (4,406 mgDQO/L; 2,129 mgDBO/mL), Río Turbio (1,841 mgDQO/L; 1,034 mgDBO/mL) en el Río Los Gómez-Turbio. En observaciones directas se identificó un caudal muy bajo o inexistente en el punto previo a la Central de Abastos, sobre la avenida Timoteo Lozano (ver P10 en la **Figura 2**). Esta condición sugiere que la situación crítica en la zona poniente de la ciudad podría estar vinculada a descargas o a desviaciones de agua en esa zona, tal sería el caso de la Presa Blanca, arroyos ubicados en esta área o descargas cercanas a la Central de Abasto. Por su parte, en el tramo cercano al Parque Industrial PIEL se concentra la mayor proporción de industrias, predominando las relacionadas con la curtiduría, debido a que en este parque industrial se reubicó a un número considerable de tenerías.

El Arroyo Hondo, cuya concentración es la más alta (DQO 10,979 mg/L) y que es afluente del Río Turbio contribuye al acarrear descargas industriales, como lo sugiere su concentración. Se encontró que el 44% de las empresas localizadas en las manzanas adyacentes a dicho

Tabla 3. Resultados con escala de clasificación de calidad de agua.

No	Corriente	ID	Descripción	CF NMP/100mL	DQO mg/L	DBO ₅ mg/L
1	Los Gómez- Turbio	P3	Salida de la Presa el Palote	1100	37.8	<9.9
2		P4	Puente Blvd. Alonso de Torres	460	48.6	<9.9
3		P8	Blvd. Mariano Escobedo	≥ 2400	261	75.9
4		P11	Central de abastos	<3	1087	511.3
5		P12	Entrada Parque Industrial PIEL	≥2400	389	200.7
6		P13	Salida Parque Industrial PIEL	≥ 2400	4406	2129.8
7		P14	Puente Peatonal amarillo	≥ 2400	4252	1702.3
8		P15	Puente Río Turbio	≥ 2400	1841	1034.2
9	Arroyo Hondo	P18	Arroyo Hondo por Torres Landa	≥ 2400	252	200.7
10		P19	Arroyo Hondo por planta de desbaste	<3	10,979	5064.7
11	Arroyo El Grande	P20	Arriba de Hospital	≥2400	113	82.1
12		P21	Canal del Hospital	≥2400	387	182.4
13		P22	Canal Los López sur	≥ 2400	59.2	23.1
14		P23	Canal cerca del campo de fútbol	≥ 2400	75.7	21.9

Fuente: IMPLAN, 2023b

arroyo, corresponden al giro de curtido y acabado de piel o cuero (INEGI, s.f.).

Los niveles de coliformes fecales resultaron mayores a 2,400 NMP/100 mL en casi todos los sitios muestreados, lo cual representa un riesgo generalizado y directo para la salud pública. Esto debido a que la contaminación fecal está ampliamente distribuida y no focalizada a un sitio y podrían estar asociadas a contaminación doméstica, considerándose una situación de atención.

Respecto al análisis de peligro, éste resultó de Medio a Alto en todas las corrientes de agua muestreadas debido a que en la mayoría de los sitios hubo al menos dos parámetros indicando contaminación (**Figura 4**).

Exposición

En términos de exposición, se observó que los pozos de agua potable se encuentran ampliamente distribuidos en todo el municipio, en sitios cercanos a sitios fuertemente contaminados de acuerdo con el parámetro DQO (**Figura 5**). Si bien, la proximidad física no es el único criterio, la conectividad hidrológica, dinámica de los contaminantes y la presión hídrica complementarían el estudio. El municipio de León en su mayoría se ubica sobre el acuífero Valle de León, cuyos niveles piezométricos varían desde 2 hasta 150 metros (Zamora y Orozco, 2018). Dada la información que se tiene, se requieren futuros estudios para comprender esta susceptibilidad.

Las corrientes de agua superficiales, Presa del Palote y Presa Blanca, ubicadas cerca del Río de Los Gómez, contrastan en calidad. La primera se emplea para el suministro de agua potable, mientras que la segunda ha sido afectada por la contaminación, como lo indican otros estudios (IMPLAN, 2022).

Vulnerabilidad

El análisis de vulnerabilidad social identificó que la población que presenta una desigualdad estructural por rezago educativo, falta de acceso a salud y servicios en la vivienda y condiciones de hacinamiento, se ubica en la zona suroeste de la ciudad de León (**Figura 6**). Esta ubicación coincide geográficamente con las zonas clasificadas como Fuertemente contaminadas para el parámetro DQO. Este fenómeno se ha encontrado en otras partes de México donde las descargas industriales de sustancias tóxicas (incluyendo al cromo) están fuertemente asociadas con los índices más altos de marginación (Chakraborti y Shimshack, 2022). Por tanto, la coincidencia espacial entre zonas de alta actividad industrial, cuerpos de agua con niveles elevados de contaminación y población socialmente vulnerable evidencia un patrón de riesgo territorial asociado a la dinámica productiva del municipio que se intensifica por la falta de acceso a servicios de salud e infraestructura de saneamiento.

Aunque no es posible establecer atribuciones directas

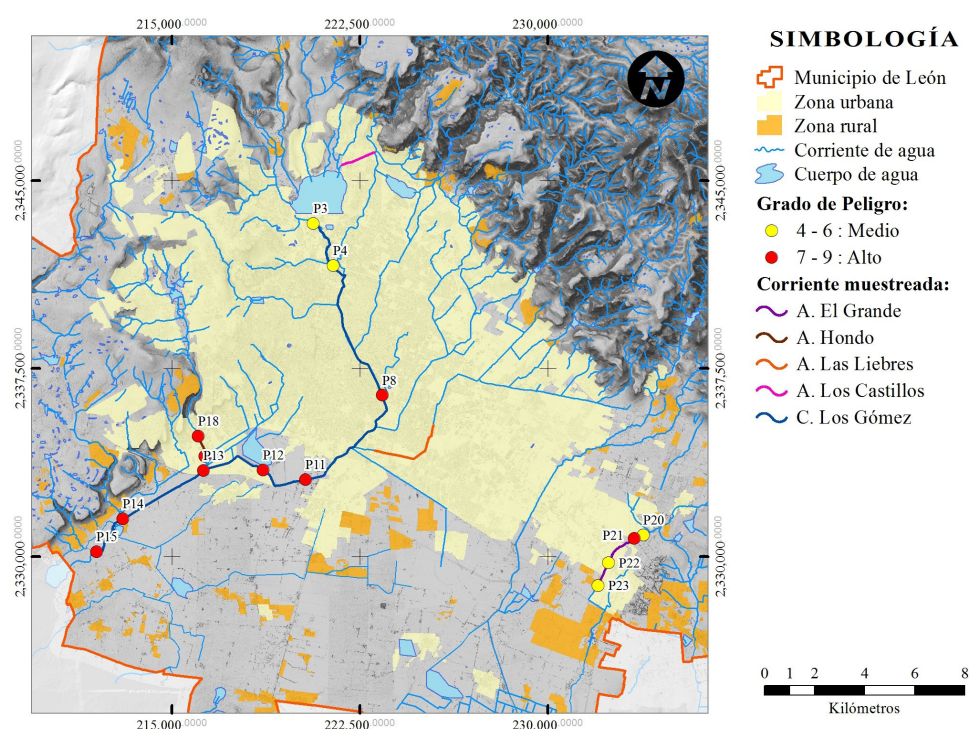


Figura 4. Mapa de peligro por contaminación del agua.

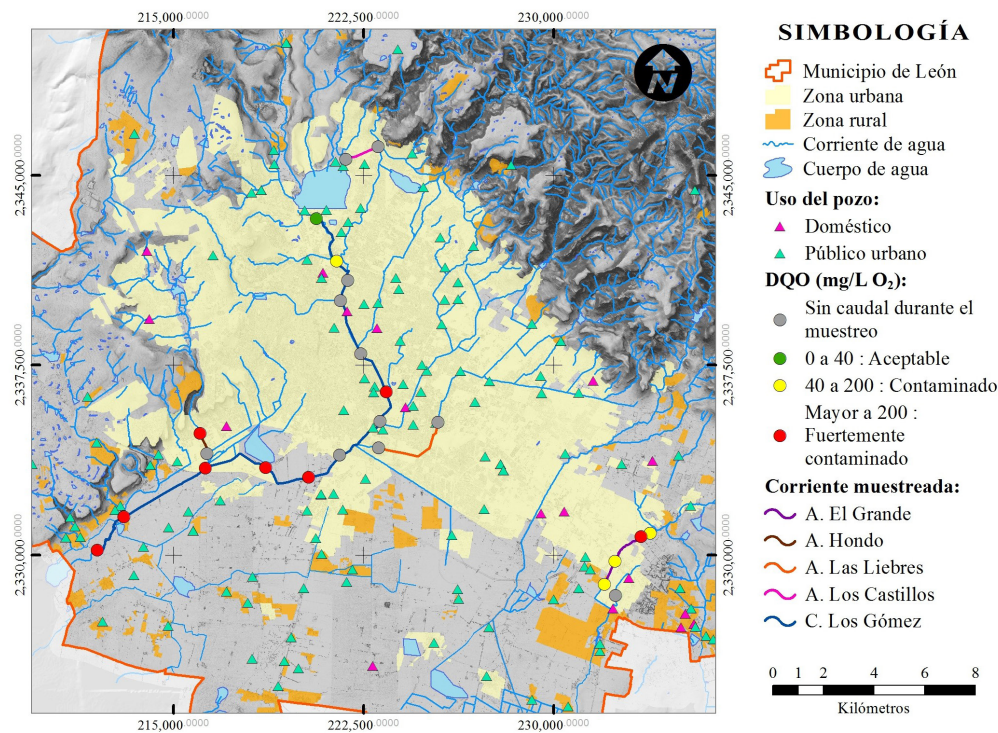


Figura 5. Mapa de sistemas expuestos en contraste con calidad de agua por DQO.

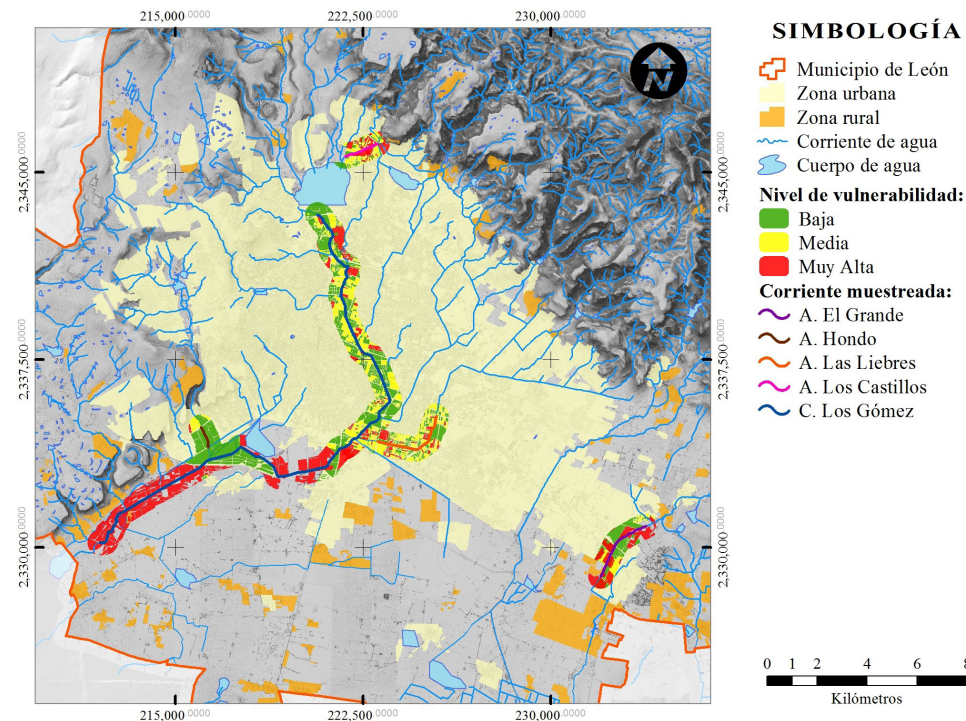


Figura 6. Mapa de vulnerabilidad por contaminación del agua.

a establecimientos específicos, los resultados sugieren que ciertas actividades industriales constituyen un factor estructural relevante en la configuración del riesgo hídrico urbano en León, lo que resalta la necesidad de fortalecer la regulación ambiental y la planeación territorial preventiva.

Conclusiones

Este estudio evidenció que la contaminación del agua en la ciudad de León, Guanajuato, es un fenómeno sanitario-ecológico de alta complejidad, originado por un desarrollo

industrial desarticulado de una gestión ambiental adecuada. Aunque la información sobre estas descargas irregulares es mínima, las altas concentraciones del parámetro DQO en el Río Turbio, el Arroyo Hondo (zona suroeste) del municipio, aunado a las evidencias en campo y contraste con los reportes de ciudadanos afectados, se asocian a una fuerte contaminación industrial. Aunque se presume que una parte proviene del sector curtidor, existen comercios y otros giros que no se pudieron corroborar en su totalidad. Por tanto, es necesario orientar esfuerzos hacia la identificación y responsabilidad de los generadores de contaminación, así como a estudios ambientales de efectos de las descargas en el ecosistema.

La integración metodológica de componentes de peligro, exposición y vulnerabilidad permitió identificar zonas críticas donde se entrelazan altos niveles de contaminación, presencia de población en situación de marginación y exposición directa a cuerpos de agua contaminados. Este enfoque integral revela que la contaminación afecta de forma desproporcionada a sectores sociales con menor capacidad de respuesta, amplificando las desigualdades existentes.

El marco de análisis planteado combinó varias herramientas, tales como el análisis fisicoquímico en laboratorio, trabajo de campo, cálculo de indicadores y análisis espaciales, constituyen aportaciones relevantes para el fortalecimiento de la planeación territorial y la toma de decisiones informada. En conjunto, los hallazgos reafirman la necesidad de articular la gestión del riesgo con políticas de control ambiental, salud pública, acceso al agua segura.

Los resultados subrayan la necesidad de articular la gestión del riesgo con políticas de control ambiental, salud pública y justicia ambiental, y plantean recomendaciones orientadas al fortalecimiento de la regulación industrial, la modernización del saneamiento, la participación ciudadana, la protección de grupos vulnerables, la planeación territorial preventiva, la actualización del Atlas de Riesgo y la educación ambiental, con el fin de reducir y prevenir la contaminación del agua. Estas recomendaciones están orientadas a transitar hacia una gestión del riesgo más equitativa, preventiva y basada en evidencia, que permita no solo reducir los niveles actuales de contaminación, sino también prevenir futuras afectaciones al ambiente y a la salud colectiva.

Referencias

Alvarez-Bernal D, Contreras-Ramos SM, Trujillo-Tapia N, Olalde-Portugal V, Frías-Hernández JT y Dendoveen L (2006). Effects of tanneries wastewater on chemical and biological soil characteristics, *Applied Soil Ecology* 33(3):269–277. doi:10.1016/j.apsoil.2005.10.007

Ávila A (2026). “Sólo 7% de empresas regulan descargas, pese a alta carga curtidora al Módulo de Desbaste de SAPAL”. *Zona Franca* <https://zonafranca.mx/politica-sociedad/solo-7-de-empresas-regulan-descargas-pese-a-alta-carga-curtidora-al-modulo-de-desbaste-de-sapal/> [consultado el 11 de febrero de 2026].

Babuji P, Thirumalaisamy S, Duraisamy K y Periyasamy G (2023). Human health risks due to exposure to water pollution: a review. *Water* 15(14):2532. doi:10.3390/w15142532

Cavero-Torres JJ y Mariño-Tenio BR (2025). Diagnóstico en los sistemas de saneamiento desde la gestión del riesgo de desastres: una revisión sistemática. *InveCom* 5(3):1–8. doi:10.5281/zenodo.14532819

Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIA-TEC), Colegio de Michoacán (COLMICH) y Comisión de Cuenca del Río Turbio (2013). *Proyecto de saneamiento y servicios ambientales del Río Turbio, Guanajuato, México*. Proyecto FORDECYT.

Chakraborti L y Shimshack JP (2022). Environmental disparities in urban Mexico: evidence from toxic water pollution. *Resource and Energy Economics* 67:101281. doi:10.1016/j.reseneeco.2021.101281

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2022). “Indicadores de la calidad del agua superficial”, *Gobierno de México*. <https://www.gob.mx/conagua/articulos/indicadores-de-calidad-del-agua> [consultado el 3 de febrero de 2026].

Diario Oficial de la Federación (2016). *Acuerdo por el que se emite la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/469329/Guia_contenido_minimo_para_la_elaboracion_de_atlas_nacional_de_riesgos_CENAPRED.pdf [consultado el 3 de febrero de 2026].

DIF (2017). *Índice de Vulnerabilidad Social. Actualización 2017*. <https://transparencia.info.jalisco.gob.mx/sites/default/files/%C3%8Dndice%20de%20Vulnerabilidad%20Social%202017.pdf> [consultado el 3 de febrero de 2026].

Esri (2017). *ArcGIS Desktop: Release 10.5*. Environmental Systems Research Institute.

IMPLAN (2022). *Diagnóstico ambiental de la Presa Blanca para determinar la factibilidad de establecer un parque en la zona sur de la ciudad de León, Gto.*, León, Guanajuato. IMPLAN–Ayuntamiento de León.

IMPLAN (2023a). *Estudio de agua y drenaje a nivel metropolitano. Documento de síntesis*, León, Guanajuato. IMPLAN, p. 94. <https://implan.gob.mx/pdf/estudios/viviendaregional/estudio-de-agua-y-drenaje-a-nivel-metropolitano.pdf> [consultado el 3 de febrero de 2026].

IMPLAN (2023b). *Actualización del Atlas de Riesgo para la Ciudad de León, Gto., Tomo I. Documento de síntesis*, León, Guanajuato. IMPLAN. https://implan.gob.mx/pdf/estudios/resiliencia/Tomo%20I_Atlas%20Riesgos%202023.pdf [consultado el 3 de febrero de 2026].

IMPLAN (s.f.). *Estrategia de consolidación de polígonos industriales existentes en León, Gto.*, León, Guanajuato. IMPLAN, p. 67. https://implan.gob.mx/1/admin/POL_INDUSTRIAL.pdf.

- INEGI (2020). *Marco geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469>.
- INEGI (s.f.). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)*. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>, [consultado el 3 de febrero de 2026].
- Instituto Nacional de Ecología (1999). *Manual de procedimientos para el manejo adecuado de los residuos de la curtiduría*, México, Instituto Nacional de Ecología.
- Nava LF, Perera-Burgos JA (2025). Key challenges and potential opportunities in water management crises: the case of the Río Turbio Basin in Mexico. *Water* 17(4):550. doi:10.3390/w17040550
- OMS, Organización Mundial de la Salud (2023). “Agua para consumo humano. *Organización Mundial de la Salud*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>, [consultado el 3 de febrero de 2026].
- SAPAL (2022). *Informe anual*, León, Guanajuato, Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León. https://leon.gob.mx/adminayuntamiento/archivos_gaceta/anexo-353-918641375-Informe_anual_del_Sistema_de_Agua_Potable_y_Alcantarillado_de_Len.pdf [consultado el 3 de febrero de 2026].
- Secretaría de Salud (2022). *Manual de procedimientos estandarizados para la vigilancia epidemiológica de la enfermedad diarreica aguda (EDA)*. https://epidemiologia.salud.gob.mx/gobmx/salud/documentos/manuales/44_Manual_EDA_2022.pdf, [consultado el 3 de febrero de 2026].
- SEMARNAT (2008). *Conjunto de Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental, Agua: Calidad del agua, Indicadores de estado*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_2008/02_agua/02_calidad_estado.html, [consultado el 10 de febrero de 2026].
- SMAOT (2021). *Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) y Registro de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (REGyCEI) del Estado de Guanajuato 2021*. Guanajuato, Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial, p. 176.
- Smith I (2023). Water pollution and cancer: an updated review. *Science Insights* 43(4):1079–1086. doi:10.15354/si.23.re801
- Tagle Zamora D (2023). Presa El Zapotillo: una discusión de su pertinencia para León, Guanajuato, a una década del conflicto por el agua. *Estudios Demográficos y Urbanos* 38(1):247–282. doi:10.24201/edu.v38i1.2086
- Valdovinos-Flores C (2025). Industrialization and its environmental impact on health and pollution in the Santiago River Basin of Mexico. *International Journal of Environmental Science and Technology* 22:16247–16260. doi:10.1007/s13762-025-06708-7
- Zamora F y Orozco I (2018). Efectos del cambio climático en el acuífero Valle de León, XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Buenos Aires, Argentina. https://www.ina.gob.ar/congreso_hidraulica/resumenes/LADHI_2018_RE_399.pdf