

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA ECONÓMICAS, A.C.



REFLEJOS DE DESIGUALDAD:
EL IMPACTO DE LA MARGINACIÓN SOCIAL EN
LA CONTAMINACIÓN DE LOS ACUÍFEROS MEXICANOS

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN ECONOMÍA

PRESENTA

JOSÉ ÁNGEL GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

DIRECTOR DE LA TESINA: PROF. BENJAMIN OLIVA VÁZQUEZ

CIUDAD DE MÉXICO

2023

A mi madre, por su apoyo, guía y cariño

durante este camino

Te amo.

Agradecimientos

Agradezco a Angélica y a José Alfredo, por todo el esfuerzo y sacrificio que han hecho para que esté donde me encuentro ahora. Gracias, mamá, por todo el acompañamiento que me has dado en este camino, siempre has estado a mi lado en cada decisión que he tomado en la vida. No hay palabras que expresen el infinito agradecimiento, admiración y amor que siento por ti. Gracias, papá, por haberme brindado elementos que admiro de ti: la dedicación y la motivación que le dedicas a lo que te apasiona. ¡Soy afortunado de ser su hijo!

A mis abuelos, Ángeles y Jesús, que han estado a mi lado desde el día que nací. Gracias a ustedes se me han abierto muchas oportunidades en la vida. Su cariño y apoyo han formado en gran parte mi camino. Son un ejemplo de que el amor verdadero existe.

A mis abuelos, Bernardina y José, que en paz descansen. Gracias por enseñarme que teniendo fe se logran cosas extraordinarias, están siempre en mi memoria.

A mi hermana, Paola, por ser un ejemplo de empatía y de amabilidad. Gracias por todos los momentos juntos, gracias por ser parte de mi vida.

A Carlos R., gracias por ser el hombro en quien me he podido recargar durante los malos y buenos momentos de este camino. Gracias por enseñarme el valor de la compañía y que juntos podemos llegar lejos.

A mis amigos, Valeria, Víctor, Aldair, Daniela, Neil y Oliver, que hicieron que estos cuatro años fueran una gran experiencia. Las lágrimas y las risas por las que pasamos hicieron de estos cuatro años los mejores de mi vida. Estoy orgulloso de cada uno de ustedes.

A mi asesor y lector de tesina, Prof. Benjamín Oliva, por guiarme y orientarme durante la tesina y mi carrera. Gracias a sus enseñanzas definí qué camino profesional quiero tomar.

A mis lectores, Dra. Alejandra Elizondo y Dr. Fausto Hernández, que leyeron y me guiaron durante mi proceso de escritura, gracias por sus comentarios y consejos.

Al CIDE, por sus enseñanzas y las herramientas que me han preparado para mi futuro profesional.

Resumen

Este estudio examina la relación entre la marginación regional y la contaminación del agua por desechos industriales utilizando datos de alrededor de 750 municipios en México. Son evaluadas dos posturas de la literatura. La primera es la de justicia ambiental que menciona que existen mayores niveles de contaminación en regiones con mayores niveles de marginación social y económico. La segunda indica que los niveles de contaminación están relacionados con mayores niveles de urbanismo e industrialización. Esta relación es evaluada con el índice de marginación de CONAPO y con las métricas de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Sólidos Suspendidos Totales (SST) que son medidas de la calidad del agua en un cuerpo de agua. Primero se analiza que hay una relación positiva entre la marginación y la urbanización, por lo que los municipios con mayores niveles de marginación tienen un menor grado de urbanización. Después, por un modelo panel que controla por efectos fijos de tiempo y de región, se encuentra que la contaminación de los acuíferos se concentra en los municipios con mayores grados de urbanización, mientras que los municipios más rurales o poco urbanizados cuentan con una mejor calidad del agua. Esta investigación resalta la necesidad de una planificación urbana efectiva para abordar los desafíos ambientales derivados de la contaminación del agua.

Índice

1. Introducción	1
2. Literatura previa	3
2.1 Mayor contaminación en regiones marginadas	3
2.2 Mayor contaminación en regiones urbanizadas	5
3. Datos	8
4. Estadística descriptiva	12
4.1 Estadística descriptiva marginación	12
4.2 Estadística descriptiva contaminación del agua	16
5. Estrategia empírica	20
5.1 Metodología	20
5.2 Resultados	22
6. Discusión de los resultados	28
7. Conclusión	30
Referencias	31

Índice de figuras

Figura 1. Grado de marginación municipal en México 2010-2020	12
Figura 2. Porcentaje del grado de marginación municipal 2010-2020	13
Figura 3. Distribución de indicadores del índice de marginación 2010-2020.	15
Figura 4. Tendencia en los niveles de contaminación del agua en México 2012-2021.	16
Figura 5. Calidad del agua en los acuíferos de México por tipo de indicador	17
Figura 6. Media de niveles de contaminación por grado de marginación de 2015 a 2020 . . .	18
Figura 7. Relación entre el índice de marginación y los indicadores de contaminación	19

Índice de tablas

Tabla 1. Medias por año de las variables del índice de marginación	14
Tabla 2. Relación entre los niveles de DQO y los grados de marginación	25
Tabla 3. Relación entre los niveles de SST y los grados de marginación	26
Tabla 4. Relación entre los niveles de DBO5 y los grados de marginación	27

1. Introducción

¿Son los lugares más marginados y desfavorecidos los que experimentan mayores niveles de contaminación del agua, o son las áreas más urbanizadas e industrializadas las que presentan un mayor nivel de contaminantes? Esta relación adquiere una creciente relevancia en vista de la urgente necesidad de abordar los problemas tanto de contaminación como de escasez del agua. Analizar las características y patrones de la contaminación del agua en diferentes contextos, permite facilitar la toma de decisiones y la implementación de políticas públicas para una efectiva mitigación del impacto medioambiental y mejorar la salud de las personas. En México, existe la ley de Aguas Nacionales que establece un marco regulatorio para la gestión integral y sustentable de los recursos hídricos, destacando la importancia de preservar la calidad y cantidad de agua para lograr un desarrollo equitativo y sostenible,¹ por lo que es esencial analizar en qué áreas resultan más dañinos los efectos de la contaminación del agua.

La existente literatura toma dos posturas principales. La primera argumenta que las regiones con mayor grado de marginación también son las regiones más contaminadas debido a que hay menor presión por regulaciones ambientales en zonas más pobres, así como un mayor número de concesiones a las empresas para verter desechos tóxicos en el agua en ríos localizados en regiones más aisladas. Por otro lado, la segunda postura indica que las áreas más urbanizadas e industrializadas están más contaminadas pues en estas regiones existe mayor densidad de población y mayor actividad industrial, que están asociados con un mayor nivel de contaminación. De este modo, el objetivo de esta investigación es buscar cuál es la relación que prevalece entre la marginación y los niveles de contaminación del agua en el contexto mexicano. La principal hipótesis es que la contaminación del agua está relacionada de forma positiva con la urbanización y desarrollo de los municipios; de tal modo que los municipios más urbanizados son los más contaminados.

Para demostrar esta relación, la investigación hará uso de un modelo panel controlando por efectos fijos de tiempo y de estado. Los resultados encontrados indican que existe una relación negativa entre la contaminación del agua y la marginación social.

¹ México, Cámara de Diputados, *Ley de Aguas Nacionales*, orden DOF 24-03-2016, publicado el 1° de diciembre de 1992, Ley de Aguas Nacionales (www.gob.mx)

Específicamente, se observa que un aumento del 1% en el índice de marginación aumenta 1.85, 1.19 y 2.78 veces los niveles de DQO, SST y DBO5 en el agua, respectivamente. Además, se encontró que, en municipios con muy baja y baja marginación, los niveles de contaminación del agua son significativamente menores que los demás municipios entre 9.6 y 50 puntos porcentuales. Los resultados contribuyen al sustento científico del Programa Nacional Hídrico 2020-2024 que tiene como objetivo garantizar los derechos humanos al agua y al saneamiento, hacer eficiente el uso del agua, reducir la vulnerabilidad a las sequías e inundaciones, preservar la integridad del ciclo del agua y mejorar las condiciones para la gobernanza del agua.²

La estructura de esta investigación está dividida de la siguiente forma: La primera parte corresponde a la introducción. La segunda parte a la literatura previa. La tercera parte a la descripción de los datos a y su estadística descriptiva. La cuarta parte a la especificación empírica que corresponde a la especificación del modelo y a los resultados. La última parte corresponde a la discusión de los resultados y a las conclusiones.

² México, Secretaría de gobernación, Programa Nacional Hídrico 2020-2024, publicado el 30 de diciembre de 2020, https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609188&fecha=30/12/2020#gsc.tab=0

2. Literatura Previa

2.1 Mayor contaminación en regiones marginadas

Bullard (2000) es de los primeros autores que contribuyen a la literatura de la justicia ambiental. Define a este concepto como el principio bajo el que todas las personas y comunidades tienen derecho a la misma protección ambiental y a las leyes y reglamentos de salud pública. Este concepto surgió a finales de la década de los setenta en Estados Unidos bajo el contexto del surgimiento de los movimientos ambientalistas en conjunto con los movimientos antirracistas. El enfoque de estos grupos ya no era únicamente la protección de áreas naturales, sino que también prestaron atención a las comunidades afroamericanas que padecían en mayor magnitud los impactos ambientales (Hervé, 2010). Este enfoque ha incrementado popularidad dentro de la literatura ambiental pues reconoce que cualquier grupo minoritario, no sólo afroamericanos, es propenso a un mayor impacto ambiental. Dorceta Taylor argumenta que el movimiento de justicia ambiental emergió rápidamente debido al proceso de enmarcación del concepto, las oportunidades políticas y la movilización de recursos. (Taylor, 2012).

Así, la literatura en justicia ambiental se expandió globalmente. En países desarrollados, un estudio realizado en el Reino Unido, que evaluó diez mil localidades, encontró que las comunidades más pobres son las que sufren mayores niveles de contaminación del aire, incluso cuando son las que emiten la menor cantidad de contaminantes (Mitchell y Dorling, 2003). Otro estudio en Noruega demuestra que hay mayor concentración de PM_{2.5} en comunidades con mayor marginación social, lo cual indica que la exposición a la contaminación del aire y sus efectos en salud no están distribuidos de forma equitativa. (Naess, 2007). En países en vías de desarrollo, también se encuentra esta relación. Un estudio de distintos distritos en Brasil encontró que el PM₁₀ tiene relación negativa con los niveles de ingreso. Es decir, en comunidades con mayor nivel de ingreso y de educación hay menor contaminación del aire en comparación con las personas que viven en los barrios marginados (Martins, Fatigati y Véspoli, 2004). Otro estudio de comunidades en China demuestra que existe una relación no lineal entre el nivel socioeconómico y la contaminación en el aire, de tal forma que cada grupo socioeconómico está expuesto a distintos niveles de contaminación.

Específicamente, observan que los efectos de la contaminación en la salud son mayores entre los grupos con un estatus socioeconómico más bajo (Jiao, Xu y Liu, 2018).

Existe en menor medida literatura que relaciona la marginación social con la contaminación del agua, en comparación con la vasta literatura sobre contaminación del aire. Esto puede deberse a que los efectos de la contaminación del aire son más inmediatos y visibles que los de la contaminación de acuíferos. Algunos estudios han evaluado esta relación en países asiáticos que son los mayores contribuidores de la contaminación del agua a nivel global.³ Un estudio aplicó un método para entender las desigualdades socioespaciales cuando hay contaminación en Dhaka, Bangladesh. Demuestran que la exposición a la contaminación era mayor para las mujeres y las niñas en áreas de bajos ingresos pues sus actividades diarias están relacionadas con la exposición a los ríos (Hoque, Peters y Hossain, 2021). Otro estudio en India demuestra que los casos anuales de diarrea, malaria y fiebre tifoidea están relacionados con la contaminación del agua, la cual se concentra en comunidades con mala vivienda y con bajos ingresos familiares (Karn y Harada, 2002). En contextos más cercanos, en México fue realizado un estudio que encuentra disparidades entre la exposición a la contaminación del agua y el nivel de marginación social. Observan que las industrias contaminan más en comunidades marginadas y en comunidades que se vuelven más marginadas a lo largo del tiempo. Estos resultados los atribuyen a que las comunidades tienen menor capacidad de acción colectiva y ejercer menor presión a los gobernadores (Chakraborti y Shimshack, 2021).

³ “River Pollution: The dark waters of Asia.” *Asian Geographic*, agosto 2021. <https://asiangeo.com/articles/river-pollution-the-dark-waters-of-asia/#:~:text=Up%20to%2095%20percent%20of,Pearl%20River%2C%20and%20Amur%20River.>

2.2 Mayor contaminación en regiones urbanizadas

Por otro lado, existe otra postura que indica que mientras existe más urbanización también es mayor la presencia de contaminación. La urbanización se ve reflejada en mayor industrialización, actividad comercial, mayor densidad de población, entre otros factores. Ésta puede ayudar a reducir la pobreza, combatir la enfermedad, la discriminación y tener avances en el desarrollo humano, siempre y cuando se gestione de forma planeada. De no ser así, puede conducir al crecimiento de los barrios marginales, el aumento del crimen y la contaminación.⁴ Según la Organización de las Naciones Unidas, la urbanización bien gestionada puede reducir a la pobreza y la desigualdad mejorando las oportunidades educativas y laborales, y aumentando el acceso los servicios de salud y a buena infraestructura.⁵ Así, la marginación puede reducir a medida que la urbanización aumenta. Por ejemplo, la urbanización afecta al crecimiento económico de tres formas principales. En primer lugar, gracias a las oportunidades laborales, educativas y servicios de salud. En segundo lugar, la urbanización implica la aglomeración de las personas y de las firmas, por lo que los costos de producción se reducen. En tercer lugar, la urbanización promueve el emprendimiento gracias a la facilidad de acceso al mercado de créditos (Arouri, Youssef y Soucat, 2014).

La región de Asia es responsable de aproximadamente el 88% de la contaminación de los océanos por plásticos, lo que la convierte en la principal fuente de este problema a nivel mundial. Además, se ha identificado que ocho de los diez ríos más contaminados del mundo se encuentran en esta región.⁶ Estos datos sustentan la necesidad urgente de adoptar estándares más estrictos de control de la calidad del agua en las zonas más industrializadas de Asia. En el sur de Asia, un estudio demuestra que la contaminación de los ríos es más severa en comunidades urbanizadas debido a las mayores cantidades de descargas residuales por la actividad urbana. (Sarker, Keya y Mahir, 2021). Específicamente, pese al aumento de las

⁴ Developing Countries Need to Harness Urbanization to Achieve the MDGs, Banco Mundial, 17 de abril 2013 <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2013/04/17/developing-countries-need-to-harness-urbanization-to-achieve-mdgs-imf-world-bank-report>

⁵ Urbanization: expanding opportunities, but deeper divides | UN DESA | United Nations Department of Economic and Social Affairs

⁶ River Pollution: The Dark Waters of Asia, 24 de Agosto de 2021 <https://asiangeo.com/articles/river-pollution-the-dark-waters-of-asia/#:~:text=Close%20to%2088%20percent%20of,rivers%2C%20eight%20are%20in%20Asia.>

instalaciones de tratamiento del agua, el aumento de la industria está asociado con el aumento del tonelaje de las aguas vertidas, así como con efectos negativos sobre la salud como en el cáncer digestivo (Ebenstein, 2012). Además, se demostró que los vertidos no controlados de residuos industriales han impactado en mayor medida en regiones con un ritmo acelerado de industrialización en Rajasthan, India (Rajput y Pandey, 2017).

Corbin (1972) define a la urbanización como el proceso de cambio en la ocupación de la tierra y que su uso de como resultado la conversión de tierras rurales a tierra urbanas, industriales y a la creación de comunidades urbanas. Menciona que la urbanización aumenta el nivel máximo del volumen del flujo de agua en una corriente, lo cual provoca el ensanchamiento de los canales, que a su vez aumenta la carga de sedimentos en el agua en la forma de materia suspendida. Existe amplia literatura que analiza el efecto de la carga de los sedimentos en la calidad del agua. Un estudio realizado en Kenia demuestra que la carga de sedimentos en el agua de los ríos tiene un efecto negativo sobre la calidad del agua. Estos sedimentos contribuyen a la turbidez del agua y la contaminación de los ríos (Kithiia, 2012).

Uno de los principales efectos de la urbanización es el aumento de la densidad de población. Este aumento se debe a la migración de las personas de zonas rurales a causa del aumento de las actividades industriales y comerciales. Una investigación en Sri Lanka observa que la calidad del agua es peor en áreas altamente pobladas, siendo la densidad de población el factor principal a controlar para evitar el deterioro y degradación del agua (Chamara y Koichi, 2017). Un estudio realizado en el lago Victoria de 1990 a 2012, demuestra que el aumento de la población y aumentaba la descarga de contaminantes en el río. Además, el desarrollo económico en esta región también está asociado con un aumento en los desechos tóxicos en el agua. (Dauglas y Hogntao, 2014).

Además, uno de los impactos negativos de la urbanización no controlada es la congestión vehicular. Un estudio para Hungría observa que la congestión vehicular provoca la acumulación de contaminantes cercanas a las zonas con mayor tráfico. Esta acumulación de contaminantes tiene mayor presencia durante la temporada seca y está asociada con las partículas sólidas en el agua, lo cual afecta a la calidad del agua.

En Latinoamérica también existen algunos estudios que analizan la relación entre la urbanización y la calidad del agua. Un estudio en el río das Velhas, que recibe las aguas residuales de la ciudad de Minas Gerais en Brasil, demuestra que, a mayor desarrollo urbano de la ciudad, también es menor la riqueza y la diversidad marina del río, así como la imposibilidad del uso de esta agua para su consumo (Pompeu y Mascarenhas, 2013). Otro estudio en varios ríos de Colombia observa que los residuos industriales sin tratamiento tienen efectos negativos sobre la calidad de aguas acuíferas naturales, así como provoca la reducción en la diversidad de especies. (Rolda, Builes y Trujillo, 2018). En México, un estudio muestra que el crecimiento poblacional, el desarrollo industrial poco planeado y los procesos de producción no planeados tienen un deterioro ambiental en ríos aledaños a los estados de Tlaxcala y Puebla. (Estrada, Díaz y Fonseca, 2022).

Esta investigación aporta a la literatura, ya que, a diferencia de otros estudios en Latinoamérica que se centran en la relación entre desarrollo urbano y contaminación del agua utilizando datos de ríos cercanos a grandes ciudades, éste enfoque es más amplio. La base de datos abarca la mayoría de las cuencas hidrológicas de México, lo cual permite analizar la relación entre desarrollo y contaminación del agua a un nivel más completo y proporcionar una discusión más generalizada.

3. Datos

Los datos de contaminación del agua fueron recabados a partir de sitios de monitoreo de calidad del agua de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). CONAGUA tiene como función integrar el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA), el cual contiene bases de datos con información relevante en cuanto a la cantidad, calidad, uso y conservación del agua. Esta información se obtiene a partir de las estaciones de monitoreo con las que cuenta cada cuerpo de agua. Además, la base de datos cuenta con información referente a la ubicación del cuerpo del agua, tal como el municipio en el que se encuentra, el estado y la región hidrológica. Existen alrededor de 2050 sitios de monitoreo de calidad del agua en México que son operados por CONAGUA, los cuales han recabado información desde 2003 hasta 2021. CONAGUA mide la calidad del agua a través de cuatro indicadores: Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST). El grado de contaminación en el agua depende de la información que se recaba sobre la calidad del agua a través de las estaciones de monitoreo. La tabla 1 describe a los tres indicadores de calidad de agua, las causas y consecuencias de cada uno, además de la clasificación del grado de contaminación.

Contaminante	Sigla	Definición	Causa	Consecuencia	Criterio	Clasificación
Demanda Química de Oxígeno	DQO	Mide la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica. Evalúa la efectividad de los procesos de tratamiento de aguas residuales	Surge por la actividad humana, aguas industriales, y la materia orgánica natural	Altos niveles de DQO pueden afectar a organismos acuáticos, disrupción en la cadena alimenticia, afecta el sabor, olor y calidad del agua potable	$DQO \leq 10$	Excelente
					$10 < DQO \leq 20$	Buena calidad
					$20 < DQO \leq 40$	Aceptable
					$40 < DQO \leq 200$	Contaminada
					$DQO > 200$	Fuertemente Contaminada
Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días	DBO5	Mide la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos en la descomposición de materia orgánica en acuíferos	Surge por plantas en descomposición, desechos humanos y animales, escurrimiento industrial y aguas residuales	Afecta la cantidad de oxígeno disuelto en ríos y arroyos, altos niveles de DBO5 implican menos oxígeno disponible para la vida acuática	$DBO \leq 3$	Excelente
					$3 < DBO5 \leq 6$	Buena calidad
					$6 < DBO \leq 30$	Aceptable
					$30 < DBO \leq 120$	Contaminada
					$DBO > 120$	Fuertemente Contaminada
Sólidos Suspendedos Totales	SST	Aquellas sustancias presentes en el agua que tienen un estado sólido cuando se encuentran puras	Provocado por la erosión del suelo, la contaminación y actividad humana, las algas	Altos niveles de SST impiden la supervivencia de organismos acuáticos, además de que impide	$SST \leq 25$	Excelente
					$25 < SST \leq 75$	Buena calidad

Los datos utilizados para la marginación fueron obtenidos a partir del Índice de Marginación del Consejo Nacional de Población (CONAPO). En el año 2020, CONAPO publicó un nuevo índice de marginación que permite la comparación a lo largo del tiempo con los índices anteriores. Se utilizaron los índices municipales estimados para los periodos de 2010, 2015 y 2020 para los fines de esta investigación.

CONAPO define a la marginación como “un fenómeno estructural que se origina en la modalidad, estilo o patrón histórico de desarrollo, que se expresa, por un lado, en la dificultad para propagar el progreso técnico en el conjunto de la estructura productiva y en las regiones del país, y por el otro, en la exclusión de grupos sociales del proceso de desarrollo y del disfrute de sus beneficios.”⁷ La marginación tiene un carácter multidimensional que identifica distintas formas de exclusión que apartan socialmente a las comunidades. El índice considera a la educación, vivienda, distribución de la población y a los ingresos por trabajo como las cuatro dimensiones estructurales. Específicamente, la estimación del índice considera y pondera las siguientes formas de exclusión: Analfabetismo, población sin educación básica completa, viviendas particulares sin drenaje, sin agua entubada, sin energía eléctrica, con piso de tierra, localidades con menos de 5000 habitantes y la población ocupada que percibe hasta dos salarios mínimos. El índice se lee de la siguiente manera: mientras mayor es el índice, menor es el grado de marginación municipal. Por ejemplo, la alcaldía Benito Juárez es el lugar menos marginado con un índice de 62.39, mientras que el municipio de Batopilas de Manuel Gómez es el más marginado con un índice de 21.40. Los grados de marginación fueron estimados con el método de Dalenius y Hodges para formar estratos de manera que la varianza sea mínima al interior de cada estrato y máxima entre cada uno de ellos.⁸ Los parámetros que construyen al índice en relación con la vivienda (viviendas sin drenaje, sin sanitario, sin energía eléctrica, sin agua entubada, con piso de tierra y en hacinamiento) y el parámetro de distribución de la población (localidades con menos de 5000 habitantes) están directamente relacionados con el grado de urbanización de los municipios. De este modo, el índice de marginación está relacionado con el grado de urbanización de los municipios.

⁷ México, Índice de Marginación 2020, Consejo Nacional de Población, https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/823996/Entidad_municipio_parte_1.pdf

⁸ Dalenius y Hodges (1959).

Finalmente, tanto los datos de contaminación del agua como los del índice de marginación fueron alineados por medio del identificador municipal. De este modo, la base de datos con la que se realiza la especificación econométrica cuenta con información de 754 municipios para el 2015 y con 749 municipios para el 2020. Cada observación incluye los datos socioeconómicos de los municipios y los indicadores de la contaminación del agua de los cuerpos del agua que se encuentran en el municipio.

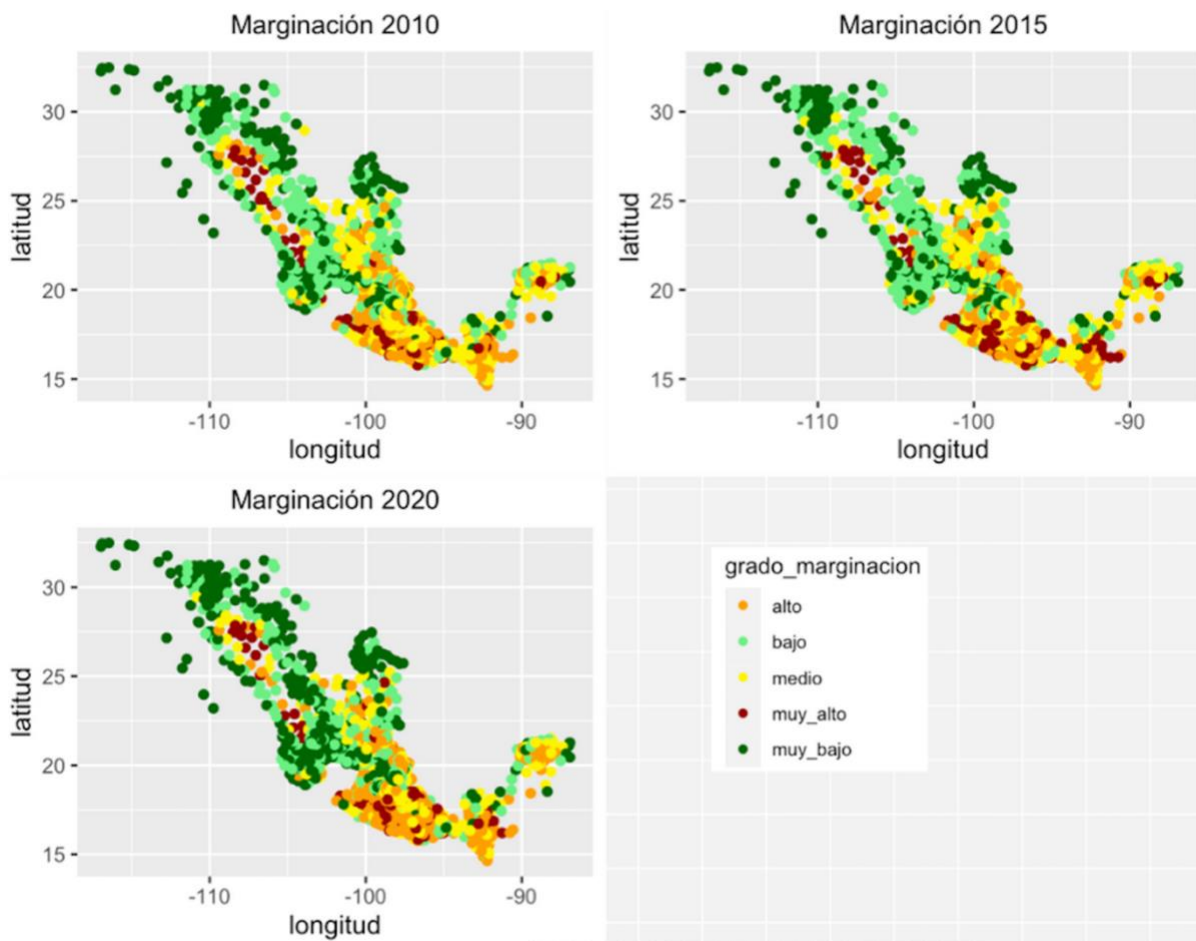
Índice de marginación (i)	Grado de marginación
$i > 56.54$	Muy bajo
$54.59 \leq i < 56.54$	Bajo
$52.63 \leq i < 54.59$	Medio
$48.73 \leq i < 52.63$	Alto
$i < 48.73$	Muy alto

4. Estadística descriptiva

4.1 Estadística descriptiva Marginación

En los primeros mapas se observa la distribución del grado de marginación para los municipios de México en 2010, 2015 y 2020. Destaca que, en el sur de México, en estados como Guerrero, Chiapas, Oaxaca, Yucatán y en la sierra madre se concentra el mayor número de municipios con marginación alta o muy alto. Mientras que en estados del norte de México, Jalisco, CDMX y Estado de México se concentra la mayor cantidad de municipios con grado de marginación bajo y muy bajo.

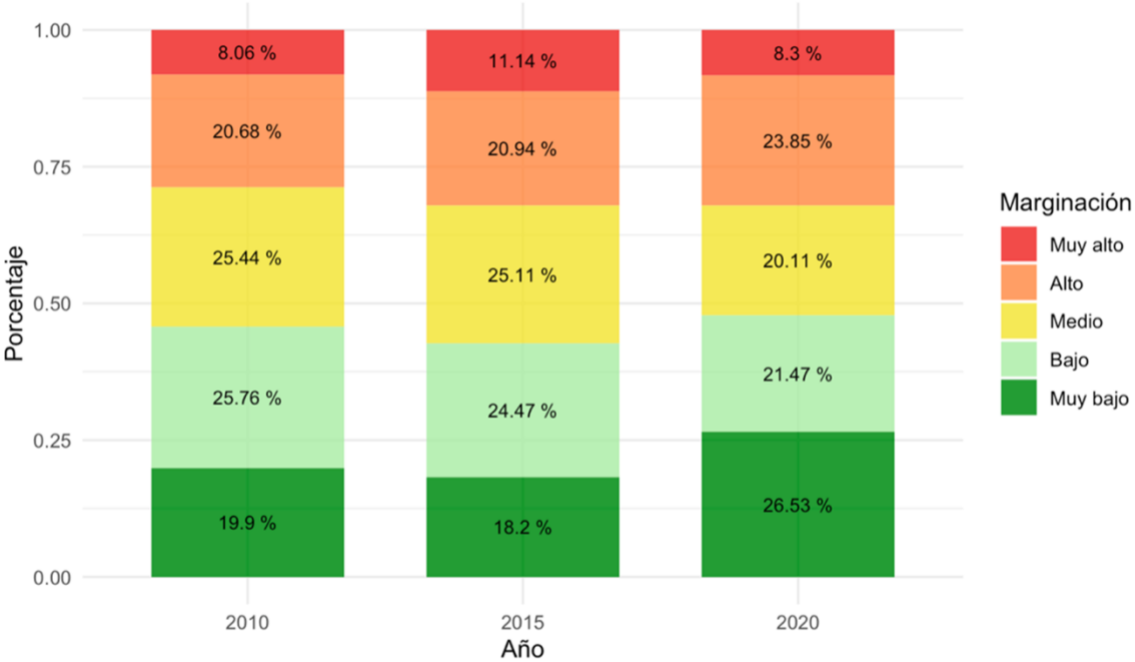
Fig. 1 Grado de marginación municipal en México 2010-2020



Elaboración propia con datos de CONAPO.

En la figura 2 se presenta la proporción de grado de marginación en los municipios entre 2010, 2015 y 2020. En 2010, alrededor del 20% de los municipios tenían un muy bajo grado de marginación, mientras que en 2020 habían 26.5% municipios con un muy bajo grado de marginación, lo cual representa un aumento del 6% en la proporción de municipios muy poco marginados. Por otro lado, alrededor de 29% de los municipios en México tenían un alto y muy alto nivel de marginación en el 2015, a diferencia de 2020 que el 32% de los municipios tenían un alto y muy alto grado de marginación. Esto significa que municipios en México se mantuvieron rezagados en los último diez años, además de que algunos empeoraron en cuanto a su nivel de marginación con respecto a periodos anteriores.

Fig. 2 Porcentaje del grado de marginación municipal 2010-2020



Elaboración propia con datos de CONAPO.

La tabla 1 muestra la estadística descriptiva del índice de marginación. Las filas muestran los distintos grados de exclusión que proporciona la CONAPO y la información representa el porcentaje medio de cada variable de exclusión para el 2010, 2015 y 2020. La población mayor a 15 años analfabeta cayó 4 puntos porcentuales entre 2010 y 2020. El porcentaje de personas de más de 15 años sin educación básica completa redujo en 15 puntos porcentuales. El porcentaje de población en viviendas particulares sin drenaje ni sanitario bajo del 6% al 3%. El porcentaje de población en viviendas particulares sin energía eléctrica bajo del 4% al 1.5%. El porcentaje de ocupantes en viviendas particulares sin agua entubada redujo en 8.6%. El porcentaje de ocupantes en viviendas particulares con piso de tierra redujo en 4.7%. El porcentaje de viviendas particulares con hacinamiento cayó en 18.2%. El porcentaje de personas que reside en localidades con menos de 5000 habitantes cayó únicamente en 2%. El porcentaje de población ocupada con ingresos de hasta dos salarios mínimos aumentó en 20%.

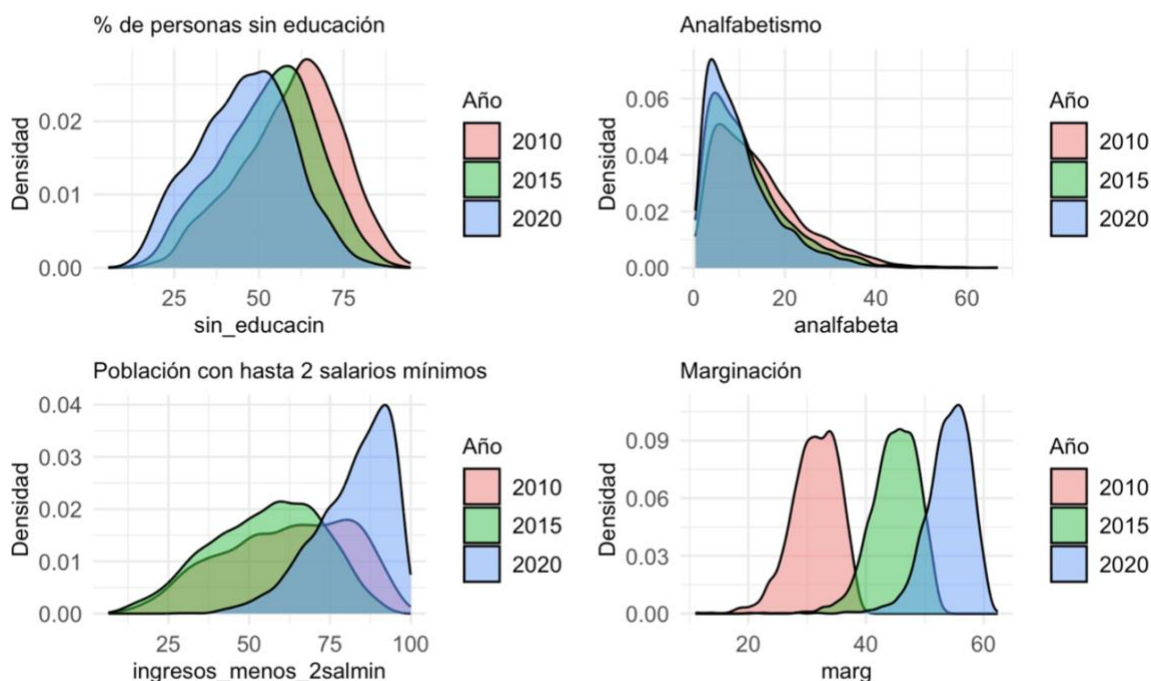
Tabla 1. Medias por año de las variables del índice de marginación

	2010	2015	2020
poblacion	45,739.630	48,649.070	51,038.490
analfabeta	14.063	11.748	10.164
sin_educacin	59.601	52.911	45.853
pob_sin_drenaje	6.980	4.482	3.160
p_sin_energia	4.043	2.209	1.501
p_sin_agua_entubada	14.705	8.726	6.118
p_piso_tierra	12.691	8.305	7.987
viv_hacinamiento	44.723	36.279	26.566
p_menos_cinco_mil	71.989	71.984	69.900
ingresos_menos_2salmin	61.764	55.429	82.144
marg	31.318	44.831	53.956
marg_norm	0.765	0.823	0.845

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPO.

La figura 3 muestra la distribución para algunas variables. La primera imagen muestra la distribución del porcentaje de personas que no tienen educación básica hasta la secundaria. Se puede observar que entre 2010 y 2020 existe un mayor número de personas que sí terminan la educación secundaria. La segunda imagen muestra la distribución del porcentaje de personas analfabetas en los municipios. Se aprecia que la variación en la distribución es menor en 2020 en comparación con 2015 y 2010. La tercera imagen muestra la distribución de la población que cuenta con hasta dos salarios mínimos. En esta ocasión, se puede observar gráficamente un cambio significativo entre 2010, 2015 y 2020. La variación en los salarios es cada vez menor y, en promedio, alrededor del 90% de la población en los municipios cuenta con al menos dos salarios mínimos. Finalmente, la cuarta imagen muestra la distribución del índice de marginación; la cual indica que ha habido un aumento del índice de marginación entre 2010 y 2020, es decir, los municipios cada vez son menos marginados.

Fig. 3 Distribución de indicadores del índice de marginación

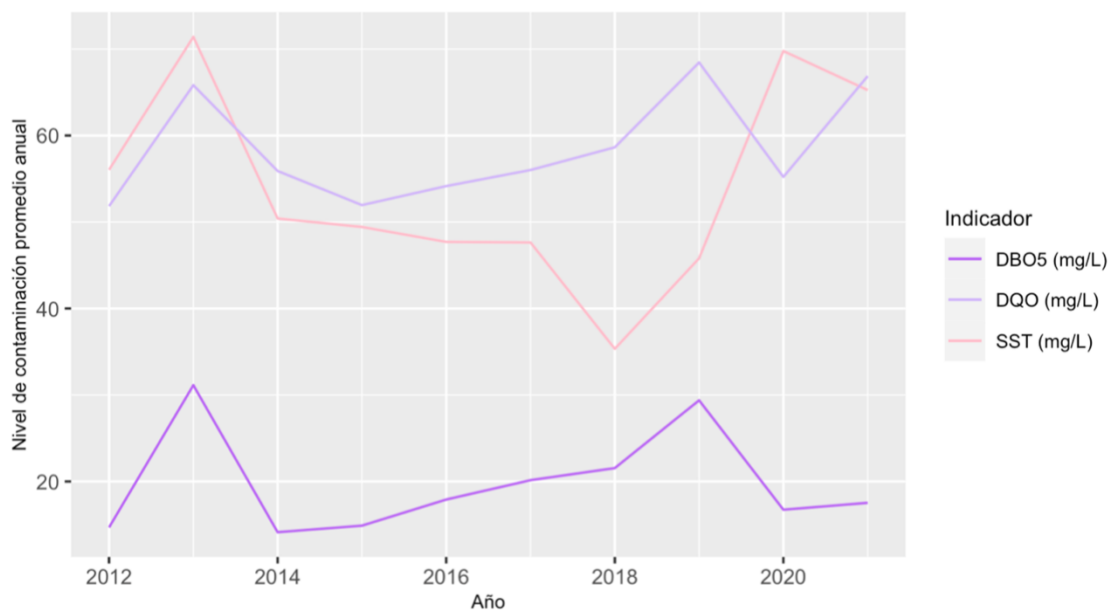


Elaboración propia con datos de CONAPO.

4.2 Estadística descriptiva Contaminación del agua

La figura 4 muestra la evolución de los niveles de contaminación promedio para cada indicador durante el período comprendido entre 2012 y 2021. En general, se observa una tendencia estable a lo largo del tiempo, aunque con algunos picos y caídas ocasionales. En el intervalo de tiempo de 2012 a 2013, todos los indicadores experimentaron un aumento significativo en sus niveles de contaminación. Sin embargo, al año siguiente, estos indicadores volvieron a caer a los niveles anteriores. Además, se presenta estadística descriptiva básica de los distintos indicadores de contaminación. El promedio de SST en el agua en México de 2012 a 2021 es de 60.42 lo cual está catalogado como agua de buena calidad. El promedio para los niveles de DBO5 es de 18.69 lo cual está catalogado como agua de calidad aceptable. El promedio para los niveles de DQO es de 67.83 lo cual está catalogado como agua contaminada.

Fig. 4 Tendencias en los niveles de contaminación del agua en México 2012-2021



Elaboración propia con datos de CONAGUA.

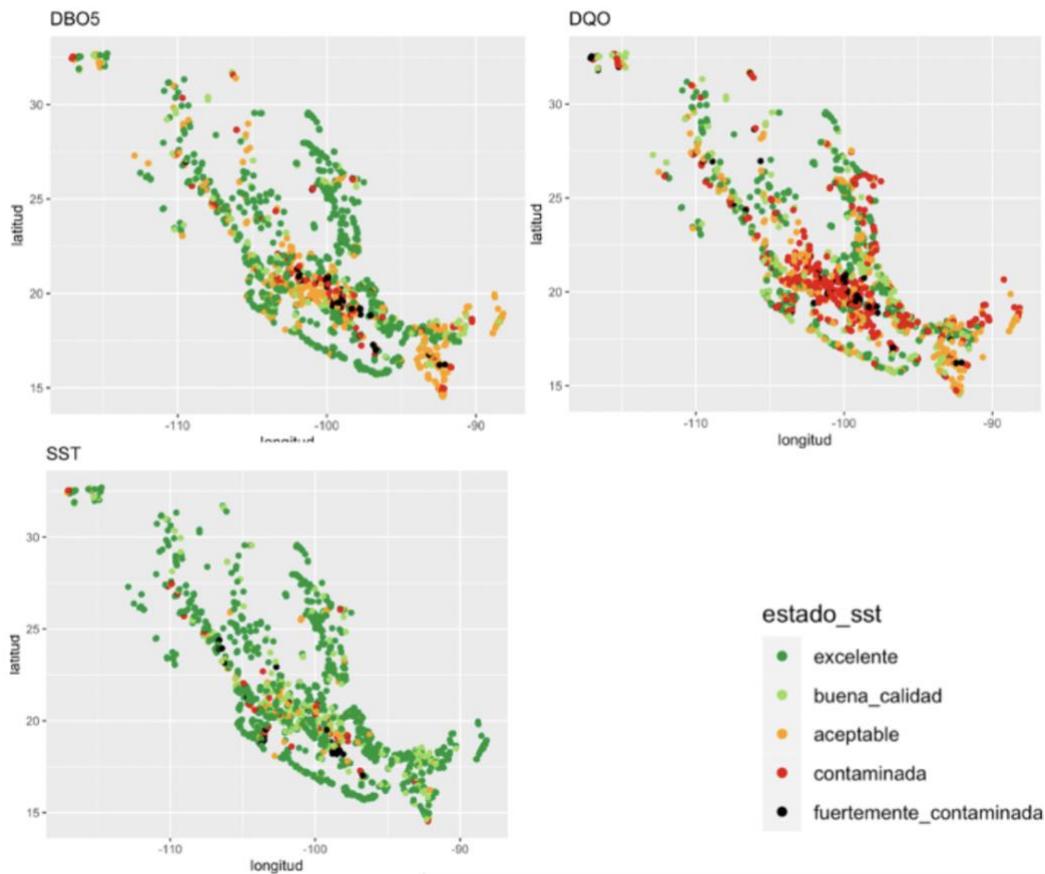
Tabla. Estadística descriptiva contaminación del agua

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
sst	28,897	60.42	233.69	2.50	15,003.50
dbo5	21,887	18.69	88.80	0.50	4,651.01
dqo	21,895	67.83	212.29	2.50	10,050.00

Elaboración propia con datos de CONAGUA.

La figura 5 muestra la distribución espacial de la calidad del agua en México para cada indicador de contaminación del agua. Para los niveles de DBO5 y DQO se observa que los municipios con acuíferos contaminados y fuertemente contaminados se concentran en la región central del país, específicamente en las aguas del valle de México y la región Lerma-Pacífico-Santiago. Estas regiones coinciden con la localización de los estados mexicanos con

Fig. 5 Calidad del agua en los acuíferos de México por tipo de indicador

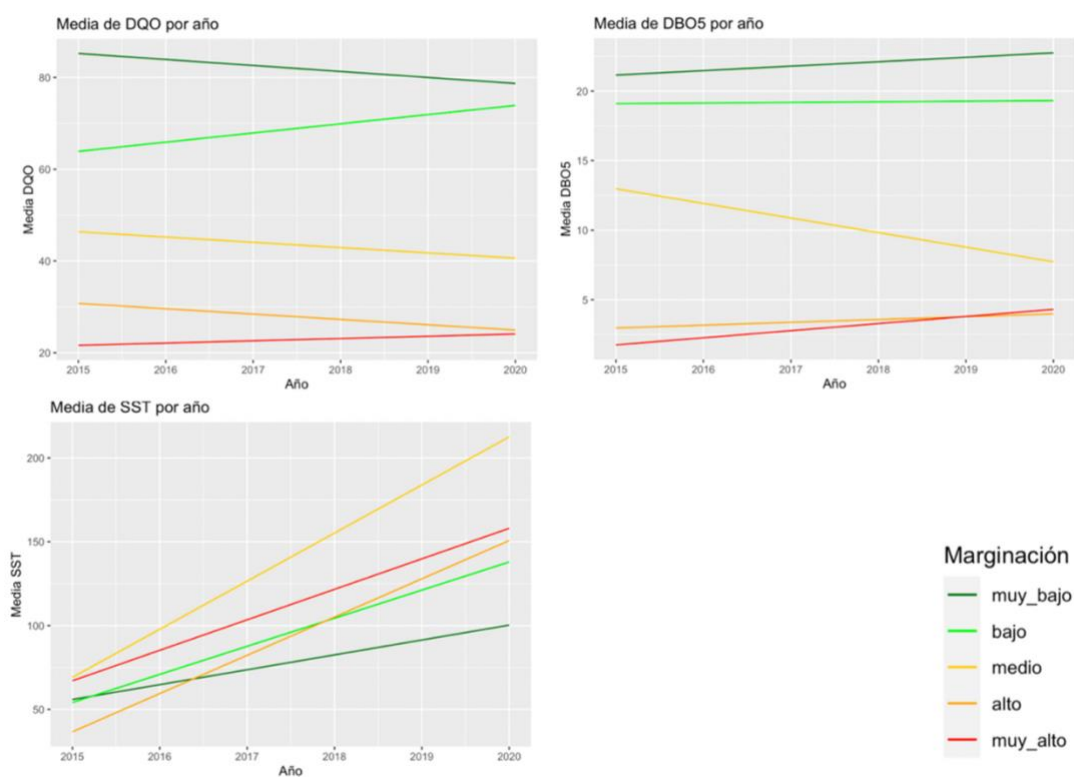


Elaboración propia con datos de CONAGUA.

mayor concentración de industria manufacturera que son Estado de México, Ciudad de México, Querétaro, Puebla, Veracruz, Jalisco y regiones fronterizas como Sonora y Coahuila.⁹

En la figura 6 se muestran las medias de los indicadores de contaminación del agua para cada grado de marginación entre el 2010 y el 2020. Para los indicadores de DQO y DBO5, se puede observar gráficamente que la media para ambos indicadores es mayor mientras menor es el grado de marginación. Para los SST, todas las medias de los niveles de contaminación aumentaron entre 2015 y 2020, sin embargo, no parece existir una relación gráfica entre los niveles de SST y el grado de marginación municipal.

Fig. 6 Media de niveles de contaminación por grado de marginación de 2015 a 2020

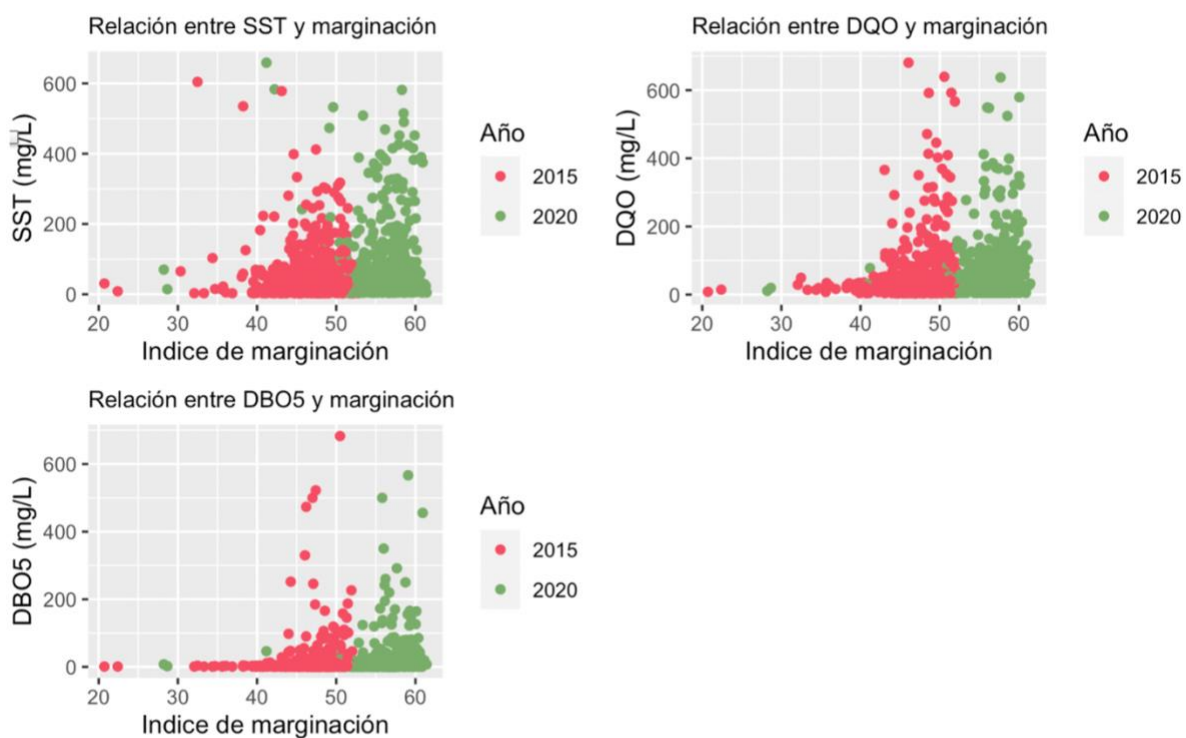


Elaboración propia con datos de CONAGUA y CONAPO.

⁹ López Castro, Elda Magdalena y Saucedo Acosta, Edgar Juan. "Principales regiones industriales de México, base población ocupada sector industria manufacturera". Presentado en el evento de la Mesa de trabajo de Administración y Consecuencias Globales, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México, 2022

En la figura 7 está graficada la relación entre los distintos indicadores de contaminación y el índice de marginación. Para cada contaminante, la evidencia gráfica indica una relación exponencial entre el índice de marginación y los niveles de contaminación.¹⁰ Esto indica que a medida que la marginación reduce, aumentan los niveles de contaminación en los municipios. Además, en la gráfica se observa la diferencia entre 2015 y 2020, donde los datos para el 2020 están distribuidos a la derecha de los datos para el 2015 donde el índice es menor. Esto indica que existe menor marginación para el 2020 que para el 2015.

Fig. 7 Relación entre el índice de marginación y los indicadores de contaminación por año



Elaboración propia con datos de CONAGUA y CONAPO.
Nota: Mientras el índice es mayor, menor es la marginación

¹⁰ Cuando el índice aumenta, menor es la marginación en los municipios.

5. Estrategia empírica

5.1 Metodología

Diversa literatura utiliza un modelo de regresión panel con efectos fijos para encontrar la relación entre niveles de contaminación y marginación social. Un estudio en China utiliza un modelo de efectos fijos multinivel para evaluar la relación entre el estatus socioeconómico y la percepción de la calidad del aire y de salud de ciertas comunidades (Jiao, Xu y Liu, 2018). Otro estudio en China utiliza estimaciones panel por efectos fijos y aleatorios para analizar el efecto del ingreso en la contaminación del aire en 30 provincias de China (Zho y Li, 2021). Otro estudio en China Este modelo utiliza datos panel para analizar cómo cambian las variables independientes en función de las variables dependientes a lo largo del tiempo. La ventaja de este modelo es que controla por todas las variables no observadas que son específicas a cada municipio y que no cambian en el tiempo. Además, al incluir efectos fijos por el tiempo, podemos controlar por características específicas de cada año que no cambian entre los municipios.

La primera estrategia consiste en investigar la correlación entre la contaminación de agua y los índices de marginación. La segunda consiste en modelar la interacción entre la contaminación del agua y los índices de marginación y controlar por efectos fijos de tiempo. La variable dependiente son los indicadores de contaminación del agua SST, DQO, DBO5 y la variable independiente corresponde a los grados de marginación que es el estrato de marginación que se le asigna a cada municipio: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo. La variable omitida que se tomará como base es la marginación media pues es el punto medio de comparación. Además, otra especificación es que, en lugar de añadir los grados de marginación, es añadido el índice de marginación normalizado. Hacer esto funciona como prueba de robustez, pues demuestra si los resultados se mantienen consistentes con la primera especificación.

Además, son añadidas otras mediciones de control que pueden explicar los niveles de contaminación en el agua. Por ejemplo, son incluidas variables de actividad industrial pues ciertos sectores son los mayores contaminadores del agua. Entre ellos, se encuentra la industria minera, la agricultura, la industria textil y el sector energético. La actividad de todas

estas industrias está asociada con un incremento en los niveles de contaminación del agua. Otra variable común dentro de la literatura es la densidad poblacional. No es clara la relación entre contaminación y densidad poblaciones pues lugares más poblados generan mayor contaminación, pero también pueden inducir a más presión hacia las industrias para que contaminen menos. Finalmente, serán añadidos controles por tamaño de localidad. Resulta intuitivo pensar que regiones urbanas están más contaminadas que las rurales, e incluso dentro de las zonas urbanas existe la distinción entre metrópoli y ciudad. INEGI define una zona metropolitana como el conjunto de municipios que concentran a una población de más de 50 mil habitantes. Por otro lado, define a una ciudad como aquellas localidades que cuentan con una población mayor a 2500 personas.¹¹

$$\ln Cont_{it} = \alpha + \beta_1 margMuyalta_{it} + \beta_2 margAlta_{it} + \beta_3 margBaja_{it} + \beta_4 margMuybaja_{it} + \beta_5 X_{it} + \beta_t year_t + estado_i + \epsilon_{it}$$

De este modo, serán probados distintos modelos de regresión. La ecuación (1) tiene como variable dependiente a los niveles de contaminación del agua medidos en DQO, SST y DBO5, las variables dependientes son dummies que controlan por el grado de marginación, X son los controles previamente especificados, año_t se refiere al efecto fijo del tiempo, mun_i es el efecto fijo por estado. La variable que se toma como base es la de marginación media.

En un modelo con esta forma, el coeficiente asociado a una variable dummy se interpreta como un cambio absoluto. Para obtener el cambio porcentual en el valor esperado asociado con un cambio en β , se utiliza la expresión

$$\begin{aligned} \% (\Delta E[y|x, d]/\Delta d) &= 100\% \left\{ \frac{E[y|x, d = 1] - E[y|x, d = 0]}{E[y|x, d = 0]} \right\} \\ &= 100\% \left\{ \frac{\exp(\beta_1 + \beta_2 x + \beta_3) E[\exp(\epsilon)] - \exp(\beta_1 + \beta_2 x) E[\exp(\epsilon)]}{\exp(\beta_1 + \beta_2 x) E[\exp(\epsilon)]} \right\} \\ &= 100\% [\exp(\beta_3) - 1]. \end{aligned}$$

¹¹ Glosario de término, INEGI, <https://cuentame.inegi.org.mx/glosario/c.aspx?tema=G#:~:text=Espacio%20geogr%C3%A1fico%20creado%20y%20transformado,2%20500%20habitantes%20en%20adelante>.

Así, β_1 , β_2 , β_3 y β_4 se interpretan como variación porcentual promedio de los niveles de contaminación ante un cambio en el grado de marginación con respecto a la marginación media.

5.2 Resultados

La tabla 1, la tabla 2 y la tabla 3 presentan los resultados del modelo de regresión de la ecuación (1) y presentan evidencia sobre la relación entre la marginación y los niveles de DQO, DBO5 y SST. De la columna (1) a la columna (4) se presentan los resultados de la regresión entre los grados de marginación municipal y los niveles de DQO en el agua. La columna (1) presenta los resultados del modelo de regresión sin ningún control. La columna (2) presenta los resultados de la regresión añadiendo controles por efectos fijos por estado y por año, lo cual incrementa significativamente el desempeño del modelo para los tres tipos de contaminantes. La columna (3) muestra los resultados añadiendo controles por tamaño de municipio, es decir, si es una ciudad o una metrópoli. La columna (4) muestra los resultados añadiendo controles por sectores. Por otra parte, la columna (5) presenta los resultados del modelo de regresión entre el índice de marginación y los niveles de DQO, SST y DBO5 y controla por todas las variables.

Para los niveles de DQO, los resultados en la tabla 2 presentan evidencia estadísticamente significativa de que hay una relación positiva entre el índice de marginación municipal y los niveles de DQO en el agua. Es decir, a medida que en un municipio la población muestra un mayor nivel de marginación, menor es la contaminación por DQO. Los municipios con marginación muy alta presentan niveles promedio de contaminación entre 24.1% y 9.6% más bajos en comparación con los municipios de marginación media.¹² Los municipios con marginación alta presentan niveles de contaminación significativos promedio entre 20% y 24% menores que los municipios con marginación media. Los municipios con marginación baja presentan niveles de contaminación entre 27% y 46% más altos que los municipios con un grado de marginación medio. Los municipios con marginación muy baja presentan niveles de contaminación entre 49% y 64% más altos que los municipios con un grado de marginación medio. Las diferentes regresiones implementadas muestran que los

¹² Al coeficiente más grande y chico asociado a cada grado de marginación se le aplicó $\exp(\beta_i) - 1$ para que la interpretación sea de cambio porcentual y no de cambio absoluto.

resultados son consistentes a lo largo de diferentes especificaciones. Esto ocurre cuando se incluyen efectos fijos por tiempo y por estado, al igual que bajo el escenario en el que se incorpora el índice de marginación. Los resultados indican que un aumento del 1% en el índice de marginación está asociado con un aumento proporcional en los niveles de DQO en más de 1.85 veces. Es decir, mientras mayor es el valor del índice, menores son los niveles de DQO. En otras palabras, a medida que la marginación disminuye en los municipios, los niveles de contaminación en el agua son mayores.

Para los niveles de SST, los resultados en la tabla 3 presentan evidencia estadísticamente significativa de que hay una relación negativa entre la marginación municipal y los niveles de SST en el agua. A medida que en un municipio la población muestra un mayor nivel de marginación, menor es la contaminación por SST. Los municipios con marginación muy alta presentan niveles promedio de contaminación entre 18% y 34% más bajos en comparación con los municipios de marginación media. Los municipios con marginación alta presentan niveles de contaminación promedio entre 15% y 22% menores y significativos que los municipios con marginación media. Los municipios con marginación baja presentan niveles de contaminación entre 3.9% y 9.9% más altos que los municipios con un grado de marginación medio. Los municipios con marginación muy baja presentan niveles de contaminación entre 4.6% y 19% más altos que los municipios con un grado de marginación medio. Las diferentes regresiones implementadas muestran que los resultados son consistentes a lo largo de diferentes especificaciones. Esto ocurre cuando se incluyen efectos fijos por tiempo y por estado, al igual que bajo el escenario en el que se incorpora el índice de marginación. Los resultados indican que un aumento del 1% en el índice de marginación está asociado con un aumento proporcional en los niveles de SST en más de 1.19 veces. Es decir, mientras mayor es el valor del índice, menores son los niveles de SST. En otras palabras, a medida que la marginación disminuye en los municipios, los niveles de contaminación en el agua son mayores.

Para los niveles de DBO5, los resultados en la tabla 4 presentan evidencia estadísticamente significativa de que hay una relación negativa entre la marginación municipal y los niveles de DBO5 en el agua. A medida que en un municipio la población muestra un mayor nivel de marginación, menor es la contaminación por DBO5. Los municipios con

marginación muy alta presentan niveles promedio de contaminación entre 23% y 50% más bajos en comparación con los municipios de marginación media. Los municipios con marginación alta presentan niveles de contaminación promedio entre 30% y 33% menores y significativos que los municipios con marginación media. Los municipios con marginación baja presentan niveles de contaminación entre 29% y 52% más altos que los municipios con un grado de marginación medio. Los municipios con marginación muy baja presentan niveles de contaminación entre 84% y 142% más altos que los municipios con un grado de marginación medio. Las diferentes regresiones implementadas muestran que los resultados son consistentes a lo largo de diferentes especificaciones. Esto ocurre cuando se incluyen efectos fijos por tiempo y por estado, al igual que bajo el escenario en el que se incorpora el índice de marginación. Los resultados indican que un aumento del 1% en el índice de marginación está asociado con un aumento proporcional en los niveles de DBO5 en más de 2.78 veces. Es decir, mientras mayor es el valor del índice, menores son los niveles de DBO5. En otras palabras, a medida que la marginación disminuye en los municipios, los niveles de contaminación en el agua son mayores.

Tabla 2. Relación entre los niveles de DQO y los grados de marginación

<i>Dependent variable:</i>					
	(1)	(2)	log(dqo) (3)	(4)	(5)
Muy alta	-0.287 (0.175)	-0.116 (0.147)	-0.101 (0.146)	-0.102 (0.143)	
Alto	-0.229** (0.106)	-0.277*** (0.089)	-0.259*** (0.088)	-0.247*** (0.087)	
Bajo	0.245*** (0.085)	0.382*** (0.072)	0.336*** (0.072)	0.333*** (0.071)	
Muy bajo	0.403*** (0.082)	0.651*** (0.075)	0.497*** (0.080)	0.435*** (0.081)	
Ln(Índice noramlizado)					1.852*** (0.351)
Efectos fijos año y estado	-	Si	Si	Si	Si
Ciudad			0.181 (0.133)	0.160 (0.131)	0.163 (0.133)
Metrópoli			0.461*** (0.140)	0.376*** (0.139)	0.433*** (0.139)
Sectores	-	-	-	Si	Si
Constant	3.206*** (0.067)	3.427*** (0.268)	3.181*** (0.296)	3.250*** (0.292)	3.807*** (0.294)
Estado	No	No	No	No	No
Observations	1,502	1,502	1,502	1,502	1,502
R ²	0.041	0.386	0.397	0.418	0.402
Adjusted R ²	0.039	0.370	0.381	0.400	0.385
Residual Std. Error	1.107 (df = 1497)	0.896 (df = 1465)	0.888 (df = 1463)	0.875 (df = 1456)	0.886 (df = 1459)
F Statistic	16.031*** (df = 4; 1497)	25.537*** (df = 36; 1465)	25.332*** (df = 38; 1463)	23.191*** (df = 45; 1456)	23.387*** (df = 42; 1459)

Note:

* p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA y CONAPO.

Tabla 3. Relación entre los niveles de SST y los grados de marginación

	<i>Dependent variable:</i>				
	(1)	(2)	Ln(SST) (3)	(4)	(5)
Muy alto	-0.216 (0.196)	-0.411** (0.187)	-0.412** (0.188)	-0.422** (0.187)	
Alto	-0.169 (0.120)	-0.248** (0.115)	-0.245** (0.115)	-0.245** (0.114)	
Bajo	0.095 (0.097)	0.074 (0.093)	0.055 (0.094)	0.039 (0.094)	
Muy bajo	0.161* (0.093)	0.174* (0.098)	0.122 (0.106)	0.045 (0.107)	
log(Índice)					1.190** (0.461)
Efectos fijos año y estado	-	Si	Si	Si	Si
Ciudad	-	-	-0.093 (0.172)	-0.118 (0.171)	-0.116 (0.171)
Metrópolis	-	-	0.012 (0.181)	-0.081 (0.182)	-0.088 (0.180)
Sectores	-	-	-	Si	Si
Constant	3.420*** (0.075)	2.654*** (0.359)	2.718*** (0.397)	2.813*** (0.396)	2.990*** (0.394)
Estado	No	No	No	No	No
Observations	1,585	1,585	1,585	1,585	1,585
R ²	0.008	0.169	0.171	0.182	0.180
Adjusted R ²	0.006	0.150	0.150	0.159	0.158
Residual Std. Error	1.302 (df = 1580)	1.204 (df = 1548)	1.204 (df = 1546)	1.198 (df = 1539)	1.199 (df = 1542)
F Statistic	3.201** (df = 4; 1580)	8.773*** (df = 36; 1548)	8.366*** (df = 38; 1546)	7.635*** (df = 45; 1539)	8.055*** (df = 42; 1542)

Note: * p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA y CONAPO.

Tabla 4. Relación entre los niveles de DBO5 y los grados de marginación

	<i>Dependent variable:</i>				
	(1)	(2)	Ln(DBO5) (3)	(4)	(5)
Muy alto	-0.712 ^{***} (0.218)	-0.291 (0.186)	-0.266 (0.185)	-0.262 (0.182)	
Alto	-0.411 ^{***} (0.133)	-0.410 ^{***} (0.113)	-0.383 ^{***} (0.112)	-0.367 ^{***} (0.110)	
Bajo	0.256 ^{**} (0.106)	0.422 ^{***} (0.092)	0.364 ^{***} (0.092)	0.363 ^{***} (0.091)	
Muy bajo	0.610 ^{***} (0.102)	0.884 ^{***} (0.096)	0.679 ^{***} (0.102)	0.617 ^{***} (0.103)	
log(Índice)					2.781 ^{***} (0.446)
Efectos fijos por año y estado	-	Sí	Sí	Sí	Sí
Ciudad	-	-	0.354 ^{**} (0.169)	0.326 [*] (0.167)	0.350 ^{**} (0.169)
Metrópolis	-	-	0.717 ^{***} (0.178)	0.618 ^{***} (0.177)	0.721 ^{***} (0.177)
Sectores	-	-	-	Si	Si
Constant	1.184 ^{***} (0.084)	1.240 ^{***} (0.341)	0.803 ^{**} (0.375)	0.876 ^{**} (0.371)	1.629 ^{***} (0.374)
Estado	No	No	No	No	No
Observations	1,502	1,502	1,502	1,502	1,502
R ²	0.069	0.382	0.395	0.413	0.398
Adjusted R ²	0.066	0.367	0.379	0.395	0.380
Residual Std. Error	1.383 (df = 1497)	1.139 (df = 1465)	1.127 (df = 1463)	1.113 (df = 1456)	1.127 (df = 1459)
F Statistic	27.586 ^{***} (df = 4; 1497)	25.153 ^{***} (df = 36; 1465)	25.149 ^{***} (df = 38; 1463)	22.777 ^{***} (df = 45; 1456)	22.939 ^{***} (df = 42; 1459)

Note:

* p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA y CONAPO.

6. Discusión de los resultados

Este estudio demostró que existe una relación negativa entre la marginación municipal y los niveles de contaminación del agua. De tal modo que en los municipios que existen menores grados de marginación también son los que cuentan con un mayor grado de contaminación. Estos resultados coinciden con los que menciona una postura de la literatura. La primera postura menciona que el agua está más contaminada a medida que la marginación aumenta debido a que las comunidades marginadas tienen menor capacidad de generar presión gubernamental, hay mayor desecho de aguas residuales en acuíferos en zonas marginadas y la mala calidad de la infraestructura incide en la contaminación. La segunda indica que las regiones con un mayor grado de urbanización también concentran mayor contaminación del agua debido a la industrialización, a la aglomeración vehicular, actividad industrial, densidad de población, entre otros factores. Cabe recordar que las variables que construyen el índice de marginación de CONAPO son indicadores del grado de urbanización de las localidades pues estos son indicadores de la oferta de servicios básicos, calidad de vivienda, tamaño de población y oferta de educación. De esta manera, el índice de marginación es un buen proxy del grado de urbanización municipal.

Así, los resultados encontrados por esta investigación son consistentes con la literatura previa de la postura de que a medida que la urbanización aumenta, también aumentan los niveles de contaminación en el agua. Por ejemplo, un estudio en los ríos de San Luis en Argentina se observó que, en los sitios con mayor actividad urbana y afluencia turística, el agua tiene mayores niveles de contaminación que sitios sin influencia antropogénica.¹³ Una evaluación de los principales ríos del este de África reveló que en los sitios con mayor expansión urbana existen mayores niveles de contaminación del agua, además de que la disminución de la calidad del agua ocurre en áreas centrales urbanas de las ciudades más grandes de la África subsahariana.¹⁴ Por otro lado, otro estudio en China analiza la calidad del agua de áreas urbanas y suburbanas en la ciudad de Shanghái encuentra que existe una

¹³ Almeida, C.A., Quintar, S., González, P. et al., "Influence of urbanization and tourist activities on the water quality of the Potrero de los Funes River (San Luis – Argentina)," *Environmental Monitoring and Assessment* 133 (2007): 459-465, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9600-3>.

¹⁴ Chen, S.S., Kimirei, I.A., Yu, C. et al., "Assessment of urban river water pollution with urbanization in East Africa," *Environmental Science and Pollution Research* 29 (2022): 40812-40825, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18082-1>.

relación con una curva “U” inversa entre la contaminación del agua y el nivel de urbanización. Es decir, la contaminación del agua es mayor en áreas con un nivel medio de urbanización, a diferencia de áreas con un bajo y un alto nivel de urbanización que cuentan con una mejor calidad del agua. Los resultados los atribuye a que la rápida urbanización trae consigo problemas en la gestión de la calidad del agua, pero una vez que un área se encuentra altamente urbanizada comienza a existir mayor presión por regulaciones ambientales.¹⁵ Acorde con la literatura, este patrón se repite en países en vías de desarrollo que han experimentado una urbanización veloz. De hecho, en estos países las principales prioridades suelen ser el desarrollo económico y la industrialización, en lugar del desarrollo sustentable.¹⁶ En lugares con bajos niveles de urbanización, la calidad del agua suele ser decente debido a la menor actividad humana e industrial, lo que resulta en una reducción del vertido de aguas residuales y contaminantes en los acuíferos. Sin embargo, a medida que las ciudades se urbanizan, aumenta la actividad industrial y humana, lo que puede llevar a una gestión ineficiente de las aguas residuales y, como consecuencia, un incremento en la contaminación del agua.

No obstante, en ciudades con altos niveles de desarrollo, a medida que la región se vuelve altamente urbanizada, también se observa un aumento en el desarrollo y una mayor presión para implementar regulaciones ambientales, lo que contribuye a mejorar la calidad del agua. Por ello, es esencial un desarrollo sostenible acompañado de un crecimiento económico sustentable. De otro modo, la misma contaminación puede repercutir en las pérdidas económicas de un país. Un informe del Banco Mundial indica que la contaminación del agua reduce en un tercio el potencial económico en zonas gravemente contaminadas por aguas residuales, productos químicos y desechos pues afecta en la producción, en la pobreza y en la salud de las personas.¹⁷ Por lo que es esencial implementar políticas y medidas que promuevan un desarrollo urbano planificado y sostenible. Estas políticas deben abordar la gestión

¹⁵ Wang, Junying, Liangjun Da, Kun Song, Bai-Lian Li, "Temporal variations of surface water quality in urban, suburban and rural areas during rapid urbanization in Shanghai, China," *Environmental Pollution* 152 (2008): 387-393, doi:10.1016/j.envpol.2007.06.050

¹⁶ Shen, L., Cheng, S., Gu, D. S., Lu, Y., "Environment policy and law for sustainable natural resources development -Issues and challenges-," *Environmental Policy and Law* 32 (2002): 91-98.

¹⁷ "Worsening Water Quality Reducing Economic Growth by a Third in Some Countries: World Bank. Press Release, August 20, 2019," *World Bank*, <https://www.worldbank.org/>.

adecuada de las aguas residuales, el control de la contaminación industrial, el fomento de tecnologías limpias y el uso eficiente de los recursos hídricos.

7. Conclusión

Este trabajo investiga la relación que existe entre la marginación municipal y la contaminación del agua utilizando datos de 750 municipios de México entre 2015 y 2020. Los resultados indican que la calidad del agua es peor en los municipios con menor marginación, que a su vez son los municipios con un mayor grado de urbanización. Esto puede ser un indicativo de que las ciudades con mayor grado de urbanización no cuentan con los recursos y sistemas adecuados para gestionar y tratar de manera efectiva los desechos y la contaminación del agua. La falta de acceso a servicios básicos, junto con un aumento en la actividad industrial y urbana, podría estar contribuyendo a esta relación inversa entre marginación y calidad del agua en los municipios estudiados. A diferencia de los resultados de la U invertida por (Wand y Da, 2007), la evidencia para México indica una relación positiva entre urbanización y contaminación, lo cual podría indicar que, en promedio, los municipios en México aún no llegan a un nivel de desarrollo e infraestructura suficiente como para gestionar adecuadamente los recursos hídricos. De igual modo, esta investigación encuentra un área de oportunidad para siguientes investigaciones que cuenten con datos con periodicidad más larga que permita un análisis de series de tiempo. Es importante reconocer que el equilibrio entre el desarrollo urbano y la conservación de los recursos naturales es esencial para asegurar un futuro sostenible para nuestras comunidades.

Referencias

- Avraham Ebenstein; The Consequences of Industrialization: Evidence from Water Pollution and Digestive Cancers in China. *The Review of Economics and Statistics* 2012; 94 (1): 186–201. doi: https://doi.org/10.1162/REST_a_00150
- Bai, Xuemei, Timon McPhearson, Helen Cleugh, Harini Nagendra, Xin Tong, Tong Zhu, y Yong-Guan Zhu. "Linking Urbanization and the Environment: Conceptual and Empirical Advances." *Annual Review of Environment and Resources* 42 (octubre de 2017): 215-240. Publicado en línea el 14 de agosto de 2017 como revisión anticipada. doi:10.1146/annurev-environ-102016-061128.
- Bullard, Robert D. "Environmental Justice in the 21st Century: Race Still Matters." *Phylon* (1960-) 49, no. 3/4 (2001): 151–71. <https://doi.org/10.2307/3132626>.
- Dorceta, Taylor. "The Rise of the Environmental Justice Paradigm: Injustice Framing and the Social Construction of Environmental Discourses." *American Behavioral Scientist*, 43(4), 508–580. <https://doi.org/10.1177/0002764200043004003>
- Espejo Dominique, Hervé. "Noción y elementos de la justicia ambiental: directrices para su aplicación en la planificación territorial y en la evaluación ambiental estratégica." *Revista de Derecho (Valdivia)* 23, no. 1 (2010): 9-36. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-09502010000100001&lng=es&nrm=iso.
- Estrada-Rivera, Andrés, Alfonso Díaz Fonseca, Samuel Treviño Mora, Wendy Argelia García Suastegui, Edith Chávez Bravo, Rosalía Castelán Vega, José Luis Morán Perales y Anabella Handal-Silva. "The Impact of Urbanization on Water Quality: Case Study on the Alto Atoyac Basin in Puebla, Mexico." *Sustainability* 14, no. 2 (7 de enero de 2022): 667. DOI: 10.3390/su14020667.
- Hoque, Sonia Ferdous, Rebecca Peters, Paul Whitehead, Robert Hope, y Mohammed Abed Hossain. "River pollution and social inequalities in Dhaka, Bangladesh." *Environmental Research Communications*, vol. 3, no. 9 (16 de septiembre de 2021): 095003. DOI: 10.1088/2515-7620/ac2458.
- Jiao, K., Xu, M. & Liu, M. Health status and air pollution related socioeconomic concerns in urban China. *Int J Equity Health* 17, 18 (2018). <https://doi.org/10.1186/s12939-018-0719-y>
- Juma, D.W., Wang, H. & Li, F. Impacts of population growth and economic development on water quality of a lake: case study of Lake Victoria Kenya water. *Environ Sci Pollut Res* 21, 5737–5746 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11356-014-2524-5>
- Kithiia, Shadrack Mulei. "Effects of Sediments Loads on Water Quality within the Nairobi River Basins, Kenya." (2012).

- Liyanage, Chamara P., y Koichi Yamada. "Impact of Population Growth on the Water Quality of Natural Water Bodies." *Sustainability* 9, no. 8 (9 de agosto de 2017): 1405. DOI: 10.3390/su9081405.
- Longwu Liang, Zhenbo Wang, Jiabin Li, the effect of urbanization on environmental pollution in rapidly developing urban agglomerations, *Journal of Cleaner Production*, Volume 237, 2019, 117649, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117649>.
- Lopamudra Chakraborti, Jay P. Shimshack, Environmental disparities in urban Mexico: Evidence from toxic water pollution, *Resource and Energy Economics*, Volume 67, 2022, 101281, ISSN 0928-7655, <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2021.101281>.
- Martins MC, Fatigati FL, Véspoli TC, Martins LC, Pereira LA, Martins MA, Saldiva PH, Braga AL. Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in São Paulo, Brazil. *J Epidemiol Community Health*. 2004 Jan;58(1):41-6. doi: 10.1136/jech.58.1.41. PMID: 14684725; PMCID: PMC1757032.
- McGriff, E.C., Jr. (1972), The Effects of Urbanization on Water Quality. *Journal of Environmental Quality*, 1: 86-88. <https://doi.org/10.2134/jeq1972.00472425000100010020x>
- México, Cámara de Diputados, Ley de Aguas Nacionales, orden DOF 24-03-2016, publicado el 1° de diciembre de 1992, Ley de Aguas Nacionales (www.gob.mx)
- México, Secretaría de gobernación, Programa Nacional Hídrico 2020-2024, publicado el 30 de diciembre de 2020, https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609188&fecha=30/12/2020#gsc.tab=0
- Mitchell, G., & Dorling, D. (2003). An Environmental Justice Analysis of British Air Quality. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 35(5), 909–929. <https://doi.org/10.1068/a35240>
- Mohamed, Arouri & Youssef, Adel & Nguyen, Cuong & Soucat, Agnès. (2014). Effects of urbanization on economic growth and human capital formation in Africa.
- Naess O, Piro FN, Nafstad P, Smith GD, Leyland AH. Air pollution, social deprivation, and mortality: a multilevel cohort study. *Epidemiology*. 2007 Nov;18(6):686-94. doi: 10.1097/EDE.0b013e3181567d14. PMID: 18049185.
- Pompeu, Paulo & Alves, Carlos Bernardo. (2013). The Effects of Urbanization on Biodiversity and Water Quality in the Rio das Velhas Basin, Brazil.
- Rajput, Ritu Singh, Pandey, Sonali and Bhadauria, Seema. "Status of water pollution in relation to industrialization in Rajasthan" *Reviews on Environmental Health*, vol. 32, no. 3, 2017, pp. 245-252. <https://doi.org/10.1515/reveh-2016-0069>

- Roldan P., Gabriel et al. "Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del Río Medellín." Medellín-Universidad de Antioquia, ISSN 0304-3584.
- S. Kumar Karn, H. Harada; Field survey on water supply, sanitation and associated health impacts in urban poor communities - a case from Mumbai City, India. *Water Sci Technol* 1 December 2002; 46 (11-12): 269–275. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0749>
- Sarker, Bijoyee & Keya, Kamrun N. & Mahir, Fatin & Nahiun, Khandakar & Shahida, Shahirin & Khan, Ruhul. (2021). Scientific Review Surface and Ground Water Pollution: Causes and Effects of Urbanization and Industrialization in South Asia. *Scientific Review*. 7. 32-41. 10.32861/sr.73.32.41.
- Yueyue Du, Qing Wan, Haimeng Liu, Hao Liu, Kelly Kapsar, Jian Peng, How does urbanization influence PM2.5 concentrations? Perspective of spillover effect of multi-dimensional urbanization impact, *Journal of Cleaner Production*, Volume 220, 2019, Pages 974-983, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.222>.
- Zhou A, Li J. Air pollution and income distribution: evidence from Chinese provincial panel data. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2021 Feb;28(7):8392-8406. doi: 10.1007/s11356-020-11224-x. Epub 2020 Oct 15. PMID: 33058066.