

RÍOS Y MONTAÑAS EN RIESGO

Una mirada crítica
a la extracción de
materiales pétreos
en México



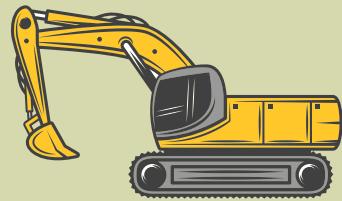
Manuel Llano • Carla Flores Lot • Carlos Carabaña



RÍOS Y MONTAÑAS EN RIESGO

Una mirada crítica
a la extracción de
materiales pétreos
en México





RÍOS Y MONTAÑAS EN RIESGO

Una mirada crítica a la extracción de materiales pétreos en México

Primera edición. Diciembre de 2024
ISBN 978-607-59723-7-4

Fundación Heinrich Böll, e.V.
José Alvarado 12, Col. Roma Norte, Alcaldía Cuauhtémoc,
Ciudad de México, 11850.
mx.boell.org

CartoCrítica
www.cartocritica.org.mx



Autores
Manuel Llano Vázquez Prada
Carla Flores Lot
Carlos Carabaña Ruiz del Árbol

Agradecemos a Waldo Terry Carrillo de Amigos del Río San Rodrigo por toda la información brindada para la elaboración de este documento.

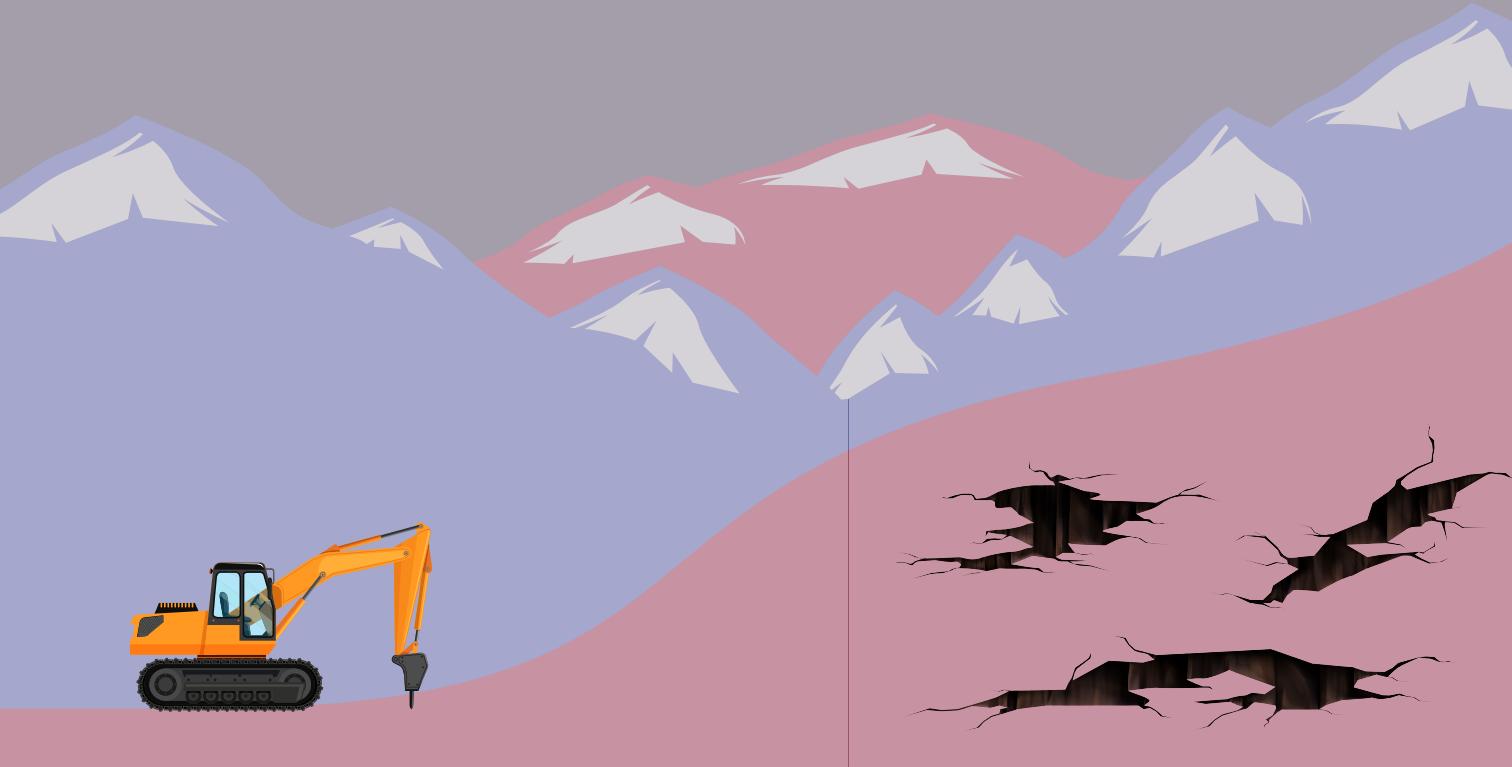
Corrección de estilo
Dolores Rojas Rubio

Dirección de arte y diseño editorial
Comunes / Agustín Martínez Monterrubio

Forma sugerida de citar:
Llano Vázquez Prada, M., Flores Lot, C., & Carabaña Ruiz del Árbol, C. (2024). Ríos y montañas en riesgo: Una mirada crítica a la extracción de materiales pétreos en México. Fundación Heinrich Böll, e.V.

Esta publicación se realizó con el apoyo de la Fundación Heinrich Böll. Su contenido es responsabilidad de sus autores y no representan la opinión de la Fundación. Se permite, agradece y se alienta la reproducción total o parcial del presente informe, siempre y cuando se haga explícita la autoría del documento.





ÍNDICE

PROLOGO	6
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Objetivo del estudio	9
1.2. Importancia de la investigación	10
1.3. Introducción a los bancos de material	11
1.4. Tipos de materiales extraídos y usos	12
1.5. Métodos de extracción	14
2. IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIALES DE LA EXTRACCIÓN	16
2.1. Impactos en superficie terrestre	18
2.2. Impactos en ríos y cuerpos de agua	20
3. AFECTACIONES SOCIOAMBIENTALES POR LA EXPLOTACIÓN DE BANCOS DE MATERIAL, ALGUNOS EJEMPLOS:	24
3.1. Erosión y pérdida de biodiversidad: Los bancos de la Huasteca, San Luis Potosí	25
3.2. Alteración de lechos fluviales: Río San Rodrigo (Coahuila) y Río La Sierra (Tabasco)	26
3.3. Problemas de Transparencia y Rendición de Cuentas. Las minas del proyecto del Nuevo Aeropuerto Internacional de México	28
4. MARCO LEGAL Y NORMATIVO EN MÉXICO	29
4.1. Ámbito Federal	31
4.1.1. Cuando la extracción se realice en riberas y cauces de los ríos	31

4.1.2. Cuando se requiera presentar una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) federal	32
4.1.3. Cuando se ponga en riesgo el aprovechamiento sustentable de elementos naturales como agua y suelo	34
4.2. Ámbito estatal y municipal	35
4.3. Ámbito Internacional	36
5. HALLAZGOS DE LA INVESTIGACIÓN PARA MÉXICO	37
5.1. Identificación de bancos de material en superficies terrestres	38
5.1.1. Ejemplo de identificación de bancos de material en superficie terrestre	40
5.2. Identificación de sitios de extracción en ríos y cuerpos de agua	41
5.2.1. Ejemplo de identificación de extracción de material pétreo en el lecho de los ríos	42
5.3. Principales hallazgos sobre los bancos de material en superficie terrestre en México	44
5.4. Principales hallazgos sobre la extracción de material pétreo del lecho de los ríos en México	51
5.5. Crecimiento de la extracción en ríos y canteras	62
6. CONCLUSIONES	64
7. RECOMENDACIONES	68
8. BIBLIOGRAFÍA	72

PRÓLOGO

Estamos rodeadas de arena. Todos los objetos que mires contienen arena o la han ocupado para su manufactura. En la construcción de casas y edificios, de caminos, calles y carreteras, de los autos que las ocupan, de los vidrios de todas las ventanas, de todo lo que mires a tu alrededor necesitó de arena, grava u otros materiales pétreos. El crecimiento de las ciudades y el desarrollo tecnológico son factores que sin duda han incrementado de manera acelerada su demanda. ¿De dónde sale todo ese material?

La omnipresencia de estos materiales en nuestras vidas nos obliga a ponerles la atención que hasta ahora ha faltado. Una vez más, CartoCrítica nos sorprende. Por la cantidad de información analizada y procesada que nos muestra la fotografía más actual, con la mejor información disponible de la extracción de materiales pétreos en nuestro país. ¿Por qué es importante mirar de cerca la extracción de estos materiales? Estamos viviendo una crisis climática global que en México se traduce en largos periodos de sequía que hacen que vivamos escasez de agua en cada vez más lugares y la extracción de arena y material pétreo impactan directamente en las montañas y los cuerpos de agua.

En esta publicación se parte desde lo básico, los autores Manuel Llano, Carla Flores Lot y Carlos Carabaña nos llevan de paseo a lo largo de siete capítulos que se van hilando de manera muy didáctica para tres cosas: informarnos qué dice la literatura científica sobre los impactos ambientales de esta actividad; qué dice la ley en la materia y qué pasa en México con los bancos de materiales.

En el capítulo 1, nos introducen al tema y nos explican qué es un banco de material, los materiales que se extraen de esos sitios, para qué se usan y qué técnicas son utilizadas en esta actividad. Más adelante, en el capítulo 2, nos presentan los impactos y consecuencias que la destrucción de montañas, la alteración del curso de los ríos o sus afluentes tienen en el ambiente, particularmente en la dinámica del agua y, por lo tanto, en las poblaciones y comunidades que se ven afectadas por esta actividad. Para aterrizar, en el capítulo 3, en casos específicos

de México que ya han sido estudiados, como el de la zona media y de la Huasteca del estado de San Luis Potosí, que ha visto afectada su biodiversidad; los casos del Río San Rodrigo, en la comunidad de El Moral, Coahuila, devastado por 30 años de extracción de material pétreo, y del Río La Sierra, en la comunidad El Cedral, Tabasco, afectado por tratar de componer con más extracción la destrucción del río. También se ocupan de las minas del proyecto del Nuevo Aeropuerto Internacional de México.

En cuanto al marco normativo que rige la minería no metálica, en el capítulo 4, CartoCrítica hace la revisión de las jurisdicciones federal, estatal y municipal. Qué le toca hacer a quién. Y revisa el marco internacional aplicable para esta actividad.

Los tres últimos capítulos son lo sustancioso de la investigación. Con gran rigor técnico, el capítulo 5 nos muestra la fotografía a detalle de los bancos de material en México. Cuántos son, dónde están, de qué tipo, cuánto extraen, etcétera. La cartografía de más de 10 mil bancos de materiales y contando. Con ejemplos, imágenes y sencillez explican su metodología, las fuentes de la información y sus hallazgos. No guardan nada en la chistera.

Las conclusiones del capítulo 6 son un llamado a dejar de ver como normal la muerte de los ríos, nos ponen enfrente la evidencia que nos demuestra que no solo no es normal, sino que la muerte de los ríos tiene responsables. Finalmente, el capítulo 7 da recomendaciones de regulación, control, transparencia... Las respuestas y los hallazgos de su investigación están, aquí y en su mapa, disponibles para quien se acerque con curiosidad de saber más del territorio que habita. Es también un llamado a la acción para evitar que nuestras montañas desparezcan y los ríos mueran sacrificados por la voracidad urbana y tecnológica.

Dolores Rojas Rubio
Coordinadora de Programas
Fundación Heinrich Böll

INTRODUCCIÓN



1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO

Mientras que la actividad minera metálica es ampliamente estudiada y vigilada por organizaciones ambientales y académicas de México, la minería de materiales pétreos ha evadido el escrutinio del ojo público pese a su importancia económica y los enormes retos socioambientales que plantea. Este estudio busca analizar a profundidad la acelerada extracción de arena, grava y otros materiales pétreos de los ríos y montañas de México.

¿Qué es un banco de material?
¿Cuántos tipos hay? ¿Qué legislaciones estatales y federales los regulan?
¿Hay una correcta vigilancia de las autoridades? ¿Es sostenible esta actividad para los ecosistemas de México? ¿Cuánto ha crecido la actividad en los últimos años? ¿Existe una cifra negra en la explotación que escapa al control de las autoridades?

Estas son algunas de las preguntas que con esta investigación buscamos contestar y arrojar luz sobre una de las actividades extractivas más presente y constante en todos los estados de México.

1.2 IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

DE ACUERDO CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS, EXISTEN EN EL PAÍS:

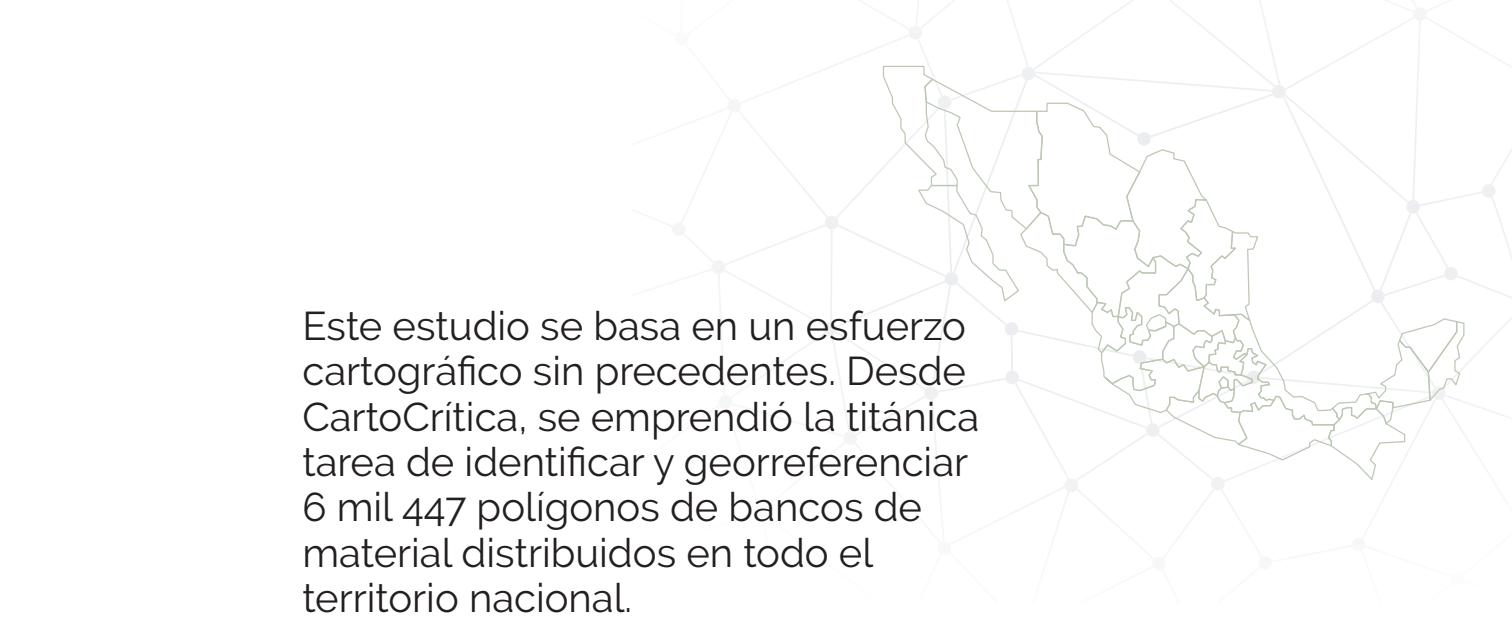
10,965

SITIOS DE EXTRACCIÓN DE
MATERIALES PÉTREOS



Esta gran cantidad de bancos de material y la magnitud de la extracción de estos recursos plantean importantes desafíos ambientales y sociales, que combinados con una regulación escueta y una inexistente rendición de cuentas, lleva a que un número significativo de los bancos de material operen de forma irregular o ilegal.

Los procesos técnicos para extraer dichos materiales son depredadores del paisaje, dejan amplios espacios devastados, degradan irreparablemente el entorno y transforman para siempre los paisajes. Es necesario conocer la magnitud real de los impactos, hasta hoy oculta por la falta de una fiscalización seria y completa de esta actividad. La demanda de materiales pétreos crece exponencialmente ante el vertiginoso crecimiento urbano y el desarrollo tecnológico.



Este estudio se basa en un esfuerzo cartográfico sin precedentes. Desde CartoCrítica, se emprendió la titánica tarea de identificar y georreferenciar 6 mil 447 polígonos de bancos de material distribuidos en todo el territorio nacional.

Esta base de datos es única en México, no existe otra a nivel de polígono que permita visualizar con tanta precisión las áreas de explotación. Este trabajo, además, complementa la base de datos ya existente en CartoCrítica sobre la ubicación de minas reguladas por la Ley de Minería. Tanto los polígonos de los bancos de material como las áreas impactadas en los ríos estarán disponibles para consulta pública a través de nuestro mapa dinámico en el sitio web de CartoCrítica.

1.3 INTRODUCCIÓN A LOS BANCOS DE MATERIAL

Arena, grava, arcilla, caliza, cantera, granito, basalto, cuarzos, tepetate, tezontle, estas son algunas de las materias primas que la industria utiliza de forma extensiva y cuyo origen mayoritario son los miles de bancos de material pétreo que hay por todo México.

Los materiales pétreos son la base principal en la industria de la construcción. Algunos ejemplos incluyen la piedra caliza, que se utiliza como materia prima para el clinker, un componente fundamental del cemento; el yeso, que se usa para columnas, molduras y placas; o la arena, grava y cemento que se mezclan con agua para obtener el hormigón. Estos materiales se emplean en obras que van desde el asfaltado de una carretera hasta la construcción de edificios y estructuras complejas. Además, son elementos clave en otros procesos industriales, como el uso de arena para la fabricación de vidrios y cerámicas, o chips informáticos. La arena, de hecho, está presente en casi todo lo que nos rodea, desde la infraestructura urbana, vial y tecnológica, hasta en las casas, edificios, rascacielos, cada calle y autopista, ventanas, cristalería, anteojos, pantallas, teléfonos, automóviles y en una infinidad de otros productos y herramientas que utilizamos a diario.

La minería destinada a la extracción de estos minerales puede llevarse a cabo tanto en superficies terrestres, como en ríos y cuerpos de agua. En el caso de los macizos rocosos, se explotan los bancos de material a través de canteras, donde se obtiene una gran cantidad y variedad de minerales como piedra caliza, granito, tezontle y basalto (Balcázar, 2019). Por su parte, los ríos forman depósitos de materiales pétreos en las planicies aluviales, es decir, depósitos formados por la acumulación de sedimentos arrastrados por las corrientes de agua. También los ríos son dragados para extraer de su lecho arena, grava y piedra de los depósitos fluviales.

En México, la minería de materiales pétreos recibe diversos nombres de forma indistinta. A la extracción terrestre normalmente se le denomina bancos de material, minas o bancos de préstamo, cuando son para la construcción de una carretera o vía de comunicación. Cuando se trata de la extracción en ríos de los depósitos fluviales o aluviales, también reciben el nombre de banco de material, explotación de bancos de arena y grava, o el más genérico minería de arena, aunque incluya otros materiales granulados. En este documento, excepto cuando se especifique lo contrario, los términos de bancos de material, extracción de materiales pétreos, minería de arena y grava, etcétera se utilizarán indistintamente para referirnos tanto a la extracción terrestre como fluvial o aluvial.

1.4 TIPOS DE MATERIALES EXTRAÍDOS Y USOS

La siguiente tabla (Figura 1) muestra los materiales pétreos que más comúnmente se extraen en México, junto con una descripción de sus principales usos industriales. Los materiales como los agregados pétreos, la arena, la caliza y el basalto son fundamentales en la industria de la construcción y en diversos procesos industriales. Desde la producción de cemento y hormigón para infraestructura hasta la fabricación de vidrio, cerámica y productos tecnológicos, los materiales extraídos de canteras y bancos de material juegan un papel esencial en el desarrollo de proyectos de ingeniería, arquitectura y otras aplicaciones industriales. La tabla ilustra su versatilidad y destaca cómo cada tipo de material encuentra aplicaciones en sectores tan variados como el tratamiento de agua, la construcción de vías férreas, o incluso la fabricación de chips electrónicos.

FIGURA 1. MATERIALES PÉTREOS MÁS COMUNES EN MÉXICO Y USOS

Material	Usos
Agregados pétreos	Materiales de construcción, concreto, asfalto, losas.
Arcillas	Porcelana, cerámica, envases, tejas, tabiques, ladrillos, pintura, fábricas de telas, tubos de drenaje, techos, chimeneas
Arena	Construcción: cemento, concreto, asfalto, ladrillos, block, mortero (mezcla), nivelador y estabilizador de suelos, barreras.
Arena sílica / sílice	Vidrio (ventanas, espejos, pantallas, fibra óptica, botellas, material de laboratorio), extracción de gas y petróleo por fracking, fundición de metales, filtros de agua, silicon, pinturas, cerámica y porcelana, abrasivo, sustrato de cultivos. El sílice puro es útil en la fabricación de semiconductores, chips, circuitos, fibra óptica; sílica-gel y procesos de cromatografía, polímeros, cauchos, cosméticos, fertilizantes, purificadores de agua, aislantes térmicos, nanotecnología.
Basalto	Construcción: revestimiento, adoquines, balasto en vías férreas, concreto, asfalto, baldosas, losas. Fibras resistentes al calor (industria automotriz), complemento suelo agrícola, filtración de agua.
Caliza	Construcción, pavimentación, concreto, cemento (clíker), acabados, cal, agricultura, tratamiento de agua, industria química, papel, plástico pintura, suplementos alimenticios, desulfuración de gases de combustión.
Cantera (toba volcánica)	Construcción y arquitectura, revestimientos exteriores, pisos, muros, esculturas, fuentes, macetas, parques y plazas, mobiliario de baño.
Grava	Construcción de carreteras, caminos y vías férreas, concreto, cimientos, sistemas de drenaje, fosas sépticas y tratamientos de agua, filtración de aire y gas, barreras de erosión.
Pizarra	Impermeabilizantes, techos, pavimentos, material escolar, letreros.
Rocas dimensionables (mármol, granito, marmolina y travertino)	Revestimientos exteriores e interiores (encimeras de baños y cocinas, chimeneas, escaleras), pisos, fachadas, monumentos y lápidas, pavimentos de plazas.
Tepetate	Materiales de construcción, ladrillo, tabique, mortero, concreto, rellenar y nivelar terrenos en cimientos, base de pavimentos y caminos, mejora de suelos agrícolas, retención de agua, sistemas de drenaje.
Tezontle	Material de construcción, bloques y ladrillos, mezclas de concreto para losas de poca carga, relleno y nivelación de terrenos, cimientos. Mejoramiento de suelos agrícolas, retención de humedad y nutrientes, jardinería, sistemas de filtración de agua, sistemas de drenaje, control de erosión y estabilización de pendientes.

Fuente: elaboración propia con base en información recopilada de diversas fuentes documentales e industriales.

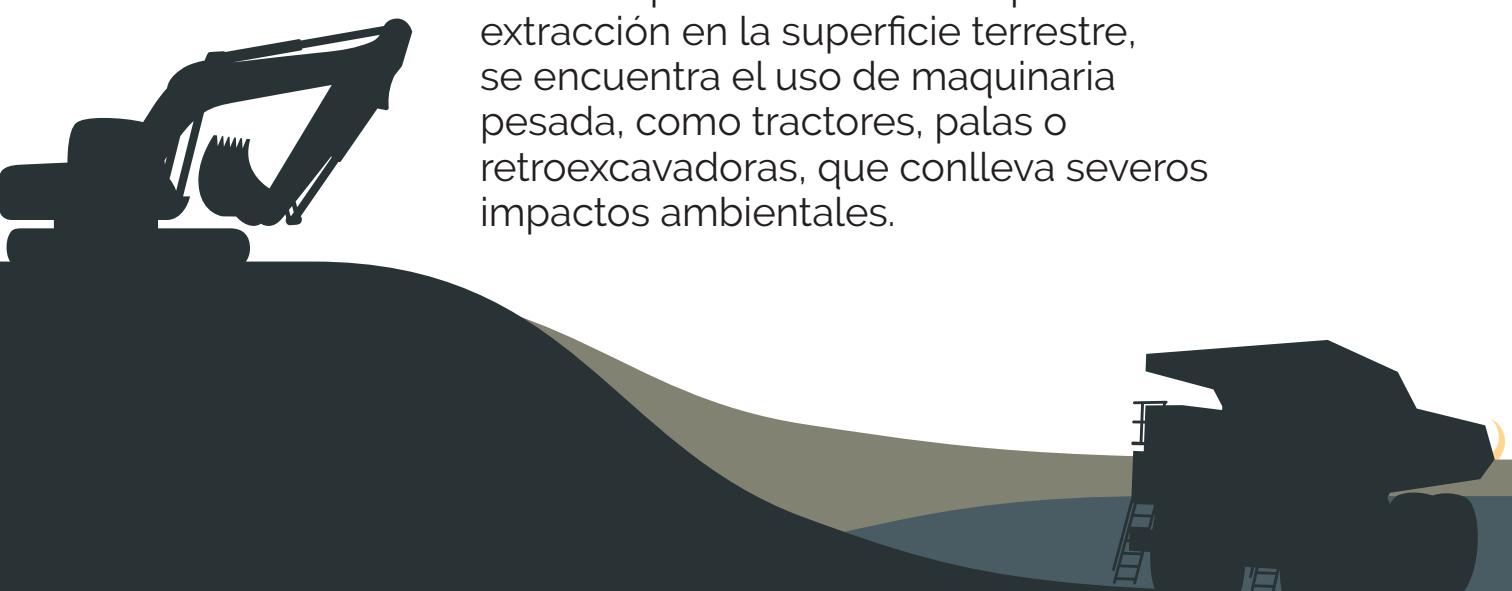
1.5 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

El documento *"Estudio de la cadena productiva de los materiales pétreos"*, de la Secretaría de Economía (2013), clasifica los materiales pétreos en tres categorías principales:

- **Naturales.** Localizados en yacimientos naturales como ríos, lechos fluviales, canteras y depósitos de grava. Para su uso sólo es necesario que sean seleccionados, refinados y clasificados por tamaños.
- **Artificiales.** Se obtienen de macizos rocosos mediante voladuras con explosivos, seguidos de procesos de limpieza, trituración y clasificación.
- **Industriales.** Provienen de procesos de fabricación o desecho, tal como materiales calcinados, de demoliciones o algunos que ya han sido manufacturados y mejorados.

Esta clasificación responde a una visión extractivista, centrada en la cadena de valor de los materiales, y no incorpora los impactos ambientales y sociales asociados a cada tipo de explotación. Ya que dependiendo del tipo de yacimiento y su ubicación se utilizan diferentes métodos de extracción, de los que se derivan impactos ambientales específicos. De acuerdo con el estudio de la Secretaría de Economía, la mayoría de las empresas dedicadas a este ramo son microempresas.

Entre las prácticas comunes para la extracción en la superficie terrestre, se encuentra el uso de maquinaria pesada, como tractores, palas o retroexcavadoras, que conlleva severos impactos ambientales.





Además, es frecuente que se recurra a métodos de fragmentación como la barrenación y la voladura con explosivos, lo que aumenta significativamente la alteración del terreno. También se emplean técnicas de voladura secundaria, como el moneo, para romper la roca *in situ*, lo que intensifica los daños al entorno natural. En algunos pocos casos, también se pueden utilizar técnicas de minería subterránea, dependiendo de la profundidad y características del depósito.

Mientras que en corrientes y cuerpos de agua se extraen materiales tanto del lecho inundado, como de los bordes o riberas, donde se encuentran depósitos aluviales compuestos por agregados pétreos, arena, grava y algunas rocas; en áreas donde la arena y la grava se encuentran cerca de la superficie y son accesibles desde la orilla o por medio de plataformas flotantes, se utilizan excavadoras, que son más eficaces para remover materiales consolidados o rocosos, ya que pueden trabajar en condiciones donde se requiere romper y remover materiales duros. Para la extracción en aguas más profundas y en proyectos de gran escala se utilizan dragas, que remueven incluso el suelo del río y sedimentos sueltos.





IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIALES DE LA EXTRACCIÓN

Por su dimensión, la extracción de materiales pétreos en México plantea enormes desafíos ambientales y sociales, que no son atendidos por las autoridades competentes. El marco regulatorio y las autoridades, sin una perspectiva integral ni estratégica, conciben los permisos de extracción como meros trámites administrativos, no como instrumentos de control y fiscalización que permitan evitar las malas prácticas que, en el largo plazo, pueden ocasionar desastres "naturales" que ponen en peligro la vida de trabajadores, vecinos y ecosistemas.

La normativa en torno a la extracción de materiales pétreos en México es ambigua, escasa y dispersa. Esto lleva a problemas de transparencia y rendición de cuentas. La legislación se reparte entre los tres ámbitos de gobierno: municipal, estatal y federal, según las características del sitio de extracción, y no hay interacción entre las instituciones. Un ejemplo: una empresa que quiera explotar la arena de un río requiere de una Evaluación de Impacto Ambiental aprobada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales para poder solicitar un permiso de la Comisión Nacional del Agua. Pero esta Comisión no comprueba si la evaluación es real, si las condicionantes son adecuadas, si estas se cumplieron, o si es un documento apócrifo. Esta pobre gobernanza sin visión estratégica contribuye a una extracción inapropiada, fomenta malas prácticas y severos daños ambientales.

Esta revisión busca proporcionar un marco útil para la comprensión de los impactos ambientales de la extracción de materiales pétreos, sin embargo, hay algunos temas que merecen mayor atención. Entre ellos, los impactos acumulativos y sinérgicos de múltiples proyectos extractivos, el consumo de agua en las operaciones terrestres y las implicaciones de

justicia social y ambiental. Los impactos de la extracción terrestre y fluvial son diferenciados, como se puede ver a continuación.

2.1 IMPACTOS EN SUPERFICIE TERRESTRE

La minería de materiales pétreos genera impactos ambientales severos y de largo plazo. La pérdida de suelo fértil y superficie disponible para vegetación natural y cultivos son de los más notables. Las áreas explotadas se deforestan completamente, dejando grandes huecos de roca desnuda que alteran la geomorfología del paisaje y hacen muy difícil su recuperación natural, ya que tanto el suelo como la roca son recursos no renovables en escalas temporales humanas (Kafu-Quvane & Mlaba, 2024). Este proceso incluye la remoción total del horizonte orgánico, que afecta directamente la capacidad de regeneración del ecosistema.

El acceso a las áreas de explotación suele implicar la apertura de nuevos caminos, lo que conlleva a una pérdida inmediata de cobertura vegetal. A largo plazo, esta deforestación se extiende y afecta entre 1% y 18% de la vegetación circundante anualmente (Reymondin et al., 2014). Estas pérdidas no sólo comprometen la biodiversidad local, sino que impactan en los servicios ecosistémicos del suelo, como la regulación de micro y macroclimas, la absorción de CO₂, la filtración de agua y la protección de acuíferos, dado que el suelo es fundamental para retener contaminantes y mantener el equilibrio de los recursos hídricos (Espinosa Ramírez et al., 2011).

Otro de los efectos más directos es el aumento en la pedregosidad del suelo a tan solo 1.5 metros de profundidad, lo que disminuye su capacidad para actuar como sumidero de carbono. Además, incrementa la temperatura y las emisiones de CO₂ de estos suelos, lo que afecta negativamente su capacidad de retención de agua y de materia orgánica, aumentando su pH y desecándolo (Gao et al., 2019). La constante actividad de maquinaria pesada sobre estas superficies acelera su compactación, reduce su porosidad y capacidad para filtrar agua, lo que incrementa los riesgos de encharcamiento superficial y limita la recarga de acuíferos (ISQ, 2000). Adicionalmente, muchos de estos impactos, como la tasa de recuperación de la microbiota del suelo y su porosidad (Casals et al., 2000), no son adecuadamente evaluados en los trámites ambientales.

La alteración del relieve y la topografía provocada por esta minería tiene un impacto acumulativo en la fragmentación del paisaje y los ecosistemas. Esta fragmentación interfiere con los patrones de escorrentía natural y aumenta la sedimentación en ciertas áreas, lo que puede derivar en desecamiento o inundación de otras zonas. Los sedimentos no útiles de la extracción, comúnmente depositados irregularmente como escombro, obstruyen canales de drenaje, lo que agrava los problemas de escorrentía, erosión y eutrofización de cuerpos de agua cercanos (Bannister, 1979; Harmon et al., 2014).

En términos de contaminación, la minería de materiales pétreos libera grandes cantidades de partículas suspendidas y gases de efecto invernadero, principalmente debido al uso constante de maquinaria pesada. Los niveles de ruido generados por estas actividades varían entre 80 y 120 dB, lo que supera ampliamente los umbrales recomendados para la salud humana y afecta tanto a los operadores como a las comunidades cercanas y la fauna local (Spencer & Kovalchik, 2007). Asimismo, hay un riesgo continuo de derrames de sustancias tóxicas o residuos que pueden contaminar el suelo desprotegido.

Un análisis del crecimiento de la industria cementera, que depende de materiales como la arena y la grava, resalta la urgencia de mitigar las emisiones de carbono asociadas. Se proyecta que las emisiones globales de CO₂ de esta industria, que en 2018 alcanzaron 0.7 gigatoneladas anuales, podrían duplicarse o, incluso, quintuplicarse para 2050, lo que subraya la necesidad de mejorar la eficiencia térmica y explorar alternativas más sostenibles para la producción de cemento (Cheng et al., 2023).

En una revisión extensa de los impactos ambientales de la extracción en canteras (Lee et al., 2024) describen nueve áreas clave de afectación, que incluyen la contaminación acústica por voladuras, las vibraciones que pueden comprometer estructuras y la salud humana, así como la alteración directa de las propiedades del suelo y las pendientes. Los cambios en la geomorfología afectan también los patrones de drenaje y se agravan los riesgos de erosión y contaminación del agua. Además, la explotación de canteras implica un uso intensivo de recursos como el agua y la energía, lo que amplifica el impacto ambiental en las regiones donde se lleva a cabo (Lee et al., 2024).

Durante la etapa de abandono de las canteras, es común la ausencia de medidas de restauración del paisaje o reforestación. Las áreas afectadas suelen convertirse en depósitos de desperdicio o espacios para actividades ilegales, lo que perpetúa el daño socioambiental.

2. 2 IMPACTOS EN RÍOS Y CUERPOS DE AGUA

La extracción de materiales como arena y grava en ríos y cuerpos de agua genera impactos significativos sobre la morfología fluvial y los ecosistemas acuáticos. La alteración del lecho fluvial, que incluye la remoción de sedimentos y el dragado, afecta gravemente la geometría del canal y el flujo de agua. Esto reduce los niveles de agua, lo que altera el suministro de aguas subterráneas y crea inestabilidad en las corrientes, provocando erosión en las orillas y aumentando la carga de sedimentos. Estos cambios incrementan el riesgo de desbordamientos e inundaciones, lo que reduce tanto la biodiversidad en el medio acuático como en la llanura inundable (Kondolf, 1994).

El uso de maquinaria pesada en el lecho fluvial aumenta la turbidez del agua y moviliza los sedimentos suspendidos, impactando de manera directa los nichos ecológicos, como los depósitos de grava utilizados por las especies acuáticas para desovar. Este proceso entierra o destruye los embriones en incubación y reduce significativamente las poblaciones de invertebrados bentónicos. Las especies de peces más sensibles a las partículas suspendidas son desplazadas, lo que afecta la estructura y función del ecosistema fluvial (Kondolf, 1994).

La extracción de materiales no sólo afecta a los sistemas acuáticos, sino también a la vegetación ribereña. A menudo, esta vegetación desaparece por completo, lo que facilita la invasión de especies exóticas. En muchos casos, la compactación severa del suelo ribereño convierte estos espacios en áreas estériles, con una capacidad mínima o nula de infiltración. Esta pérdida de vegetación ribereña compromete la estabilidad del suelo, altera los flujos de agua y agrava la fragmentación de los hábitats (Rennier & Cammeraat, 2022). Además, las plantas de procesamiento de grava y las pilas de almacenamiento de materiales suelen colocarse en las llanuras de inundación de los ríos, lo que contribuye a la deforestación y al desplazamiento de hábitats naturales.

Los impactos de la extracción fluvial son de largo plazo y, en muchos casos, irreversibles. Uno de los efectos más significativos es la alteración de las líneas costeras, donde la falta de reposición natural de arena acelera la erosión de playas y dunas. Esto, a su vez, reduce la protección natural que estas barreras ofrecen contra marejadas, tsunamis y la subida del nivel del mar. La degradación de estos ecosistemas costeros también afecta la estabilidad de los arrecifes y otros hábitats marinos relacionados (Rentier & Cammeraat, 2022).

FIGURA 2. DIAGRAMA DE IMPACTOS POR EXTRACCIÓN DE MATERIAL EN RÍOS EN LOS ENTORNOS FÍSICO, QUÍMICO, BIOLÓGICO Y ANTROPOGÉNICO



Fuente: Adaptación propia al español del diagrama disponible en Rentier & Cammeraat (2022).

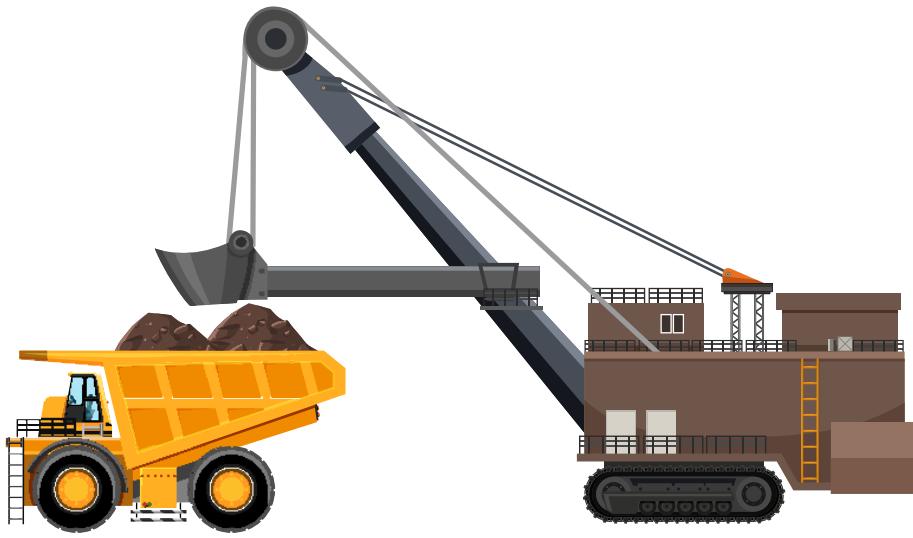
La remoción de sedimentos fluviales también provoca un descenso en el lecho del río, lo que puede llevar a la mezcla de aguas dulces y salinas en estuarios y deltas. El dragado, una práctica común en estos entornos, interrumpe el transporte natural de sedimentos mar adentro o a lo largo de las líneas costeras, alterando los procesos de suspensión de sedimentos y afectando tanto los sistemas fluviales como marinos (Bendixen et al., 2021).

Un estudio de las Naciones Unidas reveló que la extracción global de arena y grava alcanza los 50 mil millones de toneladas anuales, lo que las convierte en los recursos más extraídos después del agua.

ESTE VOLUMEN ES
SUFICIENTE PARA
CONSTRUIR, CADA
AÑO, **un muro de
27 metros de
ancho por 27
metros de alto
alrededor de
todo el planeta.**



El informe de UNEP (2022) subraya la importancia de este recurso no sólo por su valor industrial, sino por su relevancia ecológica y social, y propone una serie de medidas como la fiscalización y monitoreo riguroso de los recursos, así como la restauración de los ecosistemas afectados (UNEP, 2022).



Según los hallazgos de Koehnken et al. (2020) sobre los efectos de la minería de arena y grava en los ecosistemas de agua dulce, el tamaño de la incisión del canal provocada por el dragado puede variar desde menos de uno hasta más de 30 metros en algunos ríos, lo que desestabiliza las orillas y compromete la estructura fluvial. Este proceso no solo afecta a la morfología del río, sino también a la conectividad entre los ríos y sus planicies de inundación.

Los flujos de agua subterránea pueden alterarse gravemente y, en algunos casos, se observa la intrusión de agua salada en estuarios y deltas.

En términos ecológicos, la extracción fluvial genera una pérdida de hábitats, lo que afecta la diversidad y abundancia de macroinvertebrados y peces. Las especies invasoras tienden a proliferar en estos entornos alterados, modificando las dinámicas de las redes tróficas y reduciendo la calidad del agua. Koehnken et al. (2020) también destacan los impactos indirectos de la minería de arena, como la "progresión de puntos de inflexión", un fenómeno en el que la erosión en un punto del lecho del río se propaga río arriba, desplaza sedimentos y amplía el impacto original. Un caso documentado mostró un punto de inflexión que se desplazó 11 kilómetros río arriba, intensificando los efectos erosivos.

Además, el artículo de Koehnken et al. (2020) subraya el impacto en deltas y costas, donde la interrupción del flujo de sedimentos puede reducir la estabilidad de estos sistemas y promover la erosión costera. La revisión concluye que la minería de arena y grava tiene un efecto dominó a lo largo del sistema fluvial, con cambios en la morfología del canal, la disponibilidad de hábitats y la estabilidad de los deltas, lo que resalta la necesidad de enfoques de manejo a nivel de cuenca.



AFFECTACIONES SOCIOAMBIENTALES POR LA EXPLOTACIÓN DE BANCOS DE MATERIAL, ALGUNOS EJEMPLOS



3.1 EROSIÓN Y PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD: LOS BANCOS DE LA HUASTECA, SAN LUIS POTOSÍ

La tesis *Impacto ambiental generado por los bancos de material en la zona media y de la Huasteca del estado de San Luis Potosí*, presentada por la ingeniera Ana Olivia Sosa García en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, evalúa “el impacto ambiental generado por la explotación de bancos de material de minerales no metálicos en las áreas de prioridad ecológica de las regiones Media y Huasteca del estado de San Luis Potosí”. A continuación, se describen brevemente la metodología utilizada y los resultados obtenidos para evaluar los impactos en estas zonas.

Se obtuvieron los registros de 72 bancos de material en el estado de San Luis Potosí, activos entre 2005 y 2020, que fueron georreferenciados y representados espacialmente. “Posteriormente se sobrepusieron las coberturas digitales de las áreas de prioridad ecológica para determinar cuántos y cuáles [bancos] se encuentran establecidos dentro de estas áreas. Finalmente, se elaboraron las matrices de impacto ambiental para cada una de las áreas de prioridad para conocer su grado de afectación y los elementos mayormente impactados”, explica el documento.

Los resultados mostraron que los principales impactos ambientales generados por los bancos de materiales sobre los factores abióticos se reflejan en la pérdida de suelo, un fenómeno que es irreversible y no mitigable. Además, el despalme y la extracción de minerales no metálicos provocan deslizamientos de los materiales desmontados, alterando el drenaje natural del área explotada debido a los cambios en los patrones de escurrimiento de las aguas superficiales y generando azolves en los cuerpos de

agua cercanos. Además, la eliminación de la cobertura vegetal reduce la capacidad de infiltración de agua hacia los mantos freáticos, mientras que la erosión, tanto eólica como hídrica, se incrementa significativamente.

3.2 ALTERACIÓN DE LECHOS FLUVIALES: RÍO SAN RODRIGO (COAHUILA) Y RÍO LA SIERRA (TABASCO)

La extracción de materiales en ríos ha llevado a la contaminación de ríos y cuerpos de agua, a inestabilidad en las riberas, incremento de las inundaciones y su intensidad, mayores y más severas sequías, reducción de los depósitos en los deltas y una erosión acelerada de las playas, según se describe en el documento *Sand and Sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources*, elaborado por la división ambiental de ONU Medio Ambiente.

En el caso del Río San Rodrigo, en la comunidad de El Moral, Coahuila, el margen del río se ha ampliado de 300 a 800 metros en 30 kilómetros, con excavaciones que superan los 10 metros de profundidad. Además de la extracción de materiales, la presa La Fragua con una compuerta que desvía el agua a un canal, ha generado un severo estrés hídrico, alterando la dinámica de los ecosistemas circundantes. La organización ambientalista local *Amigos del Río San Rodrigo*¹ ha reportado aumentos de temperatura y pH del agua, así como la muerte de árboles nativos como nogales, sabinos y ahuehuetes, por agotamiento de norias y contaminación de los mantos freáticos. En la siguiente imagen (Figura 3) podemos ver un área de extracción y patio de trituración en el Río San Rodrigo en Coahuila, cuyos bordes han estado devastados y compactados por 30 años de actividad extractiva sin que pueda identificarse control alguno.

¹ Consultar página web de la organización: <https://amigosdelriosanrodrigo.org/>

FIGURA 3. PATIO DE TRITURADORA EN EL RÍO SAN RODRIGO, COAHUILA



Fuente: Imagen obtenida de Google Earth, 2024. Municipio de Piedras Negras, Coahuila. Ubicación aproximada: latitud: 28.8737, longitud: -100.6623.

Otro caso es el del Río La Sierra, en la comunidad El Cedral, Tabasco. Donde tras la apertura, en 2021, de un banco de extracción de materiales, el caudal del río comenzó a socavar el borde del cementerio del pueblo hasta dejar sin soporte a varias tumbas, que terminaron derrumbándose en el río. Como medida de reducción de flujo, Conagua decidió abrir un desvío del caudal, lo que provocó la erosión de una zona habitada, con el resultado del colapso de las casas que también terminaron en el río.

3.3 PROBLEMAS DE TRANSPARENCIA Y RENDICIÓN DE CUENTAS. LAS MINAS DEL PROYECTO DEL NUEVO AEROPUERTO INTERNACIONAL DE MÉXICO

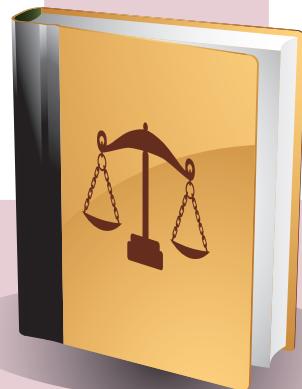
El proyecto del Nuevo Aeropuerto Internacional de México (NAIM) tenía un diseño para evitar hundimientos en sus pistas de despegue y aterrizaje con base en el tezontle y el basalto. Desde 2016 hasta su cancelación en octubre de 2018, se utilizaron en esas obras 36 *millones de metros* cúbicos de estos materiales, provenientes principalmente de bancos pétreos del nororiente del Estado de México.

De acuerdo con una investigación periodística publicada en septiembre de 2019, en el diario *El Universal*, en 24 municipios alrededor del NAIM hubo 205 bancos pétreos activos entre 2016 y 2018. De estos, 106 cometieron algún tipo de irregularidad en su operación: 26 minas trabajaron sin la autorización de la Secretaría de Medio Ambiente, ni federal ni estatal; 54 explotaron los cerros durante varios meses antes de tener los permisos y 26 excedieron los límites autorizados.

Para acceder a dicha información, el diario tuvo que realizar decenas de solicitudes de información, ya que la información pública del tema es prácticamente inexistente. El reportaje documenta varios problemas con la rendición de cuentas, destacando que, aunque varias de las empresas operan irregularmente, no fueron inspeccionadas por las autoridades competentes e incluso, recibieron nuevos permisos.

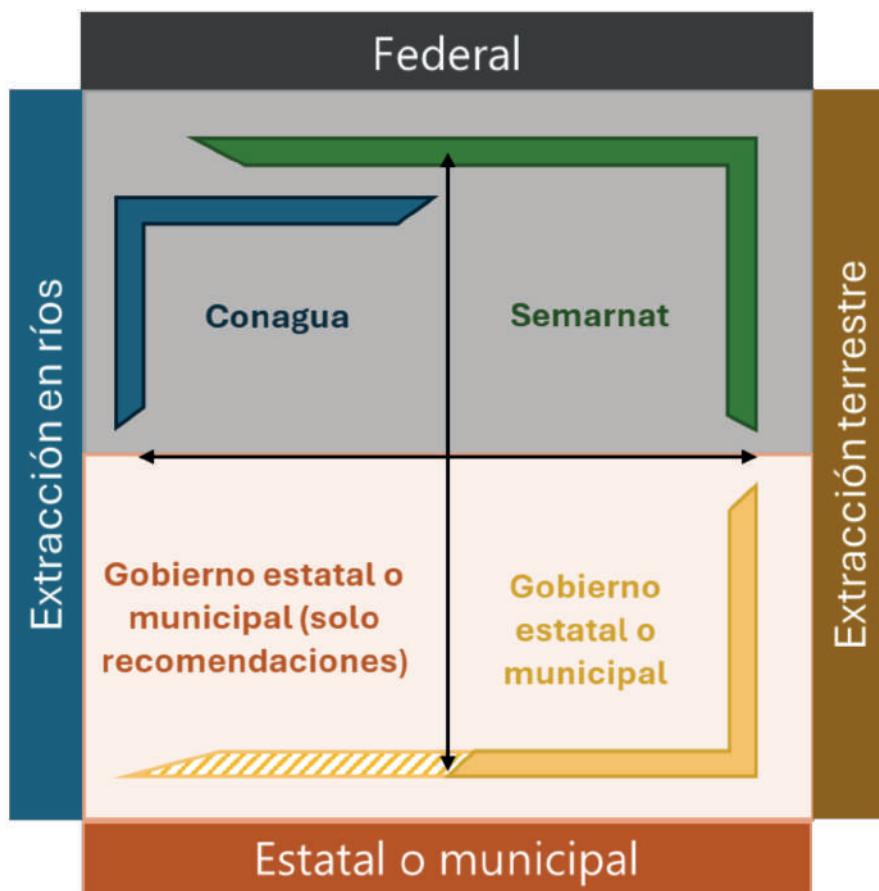
Una muestra de la impunidad con la que operan los bancos de material ocurrió en octubre del 2018, cuando Javier Jiménez Espriú, entonces secretario de Comunicaciones y Transportes del gobierno de López Obra-dor, fue expulsado violentamente del banco de material *El Tesoyo*, en el municipio de Tezoyuca, por personal de la empresa *Martínez y Villegas SA de CV*. Su dueño, René Martínez Moncayo, operó seis bancos pétreos entre 2016 y 2018 en esta zona del Estado de México, de los cuales dos no cumplían con las normas.

MARCO LEGAL Y NORMATIVO EN MÉXICO



En México, los materiales pétreos como el tezontle, basalto, arena y grava no están regulados por la Ley de Minería, ya que no están reservados a la federación y no son concesibles. Solo el yeso está contemplado en dicha ley. Por lo tanto, la regulación de estos materiales generalmente es de competencia estatal, aunque en algunas situaciones puede haber injerencia federal. Existen dos aspectos principales a considerar en cuanto a la distribución de las atribuciones regulatorias: la competencia, si esta es federal o estatal, y el yacimiento, si está en el lecho de los ríos o en la superficie terrestre (Figura 4).

FIGURA 4. ÁMBITOS DE COMPETENCIA REGULATORIA



Fuente: Elaboración propia

4.1 ÁMBITO FEDERAL

La regulación de competencia federal contempla tres escenarios: 1) cuando la extracción se realice en riberas y cauces de los ríos; 2) cuando se requiera presentar una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) federal; y 3) cuando se ponga en riesgo el aprovechamiento sustentable de elementos naturales como agua y suelo.

4.1.1 Cuando la extracción se realice en riberas y cauces de los ríos, la Ley de Aguas Nacionales (LAN), en sus Artículos 3 y 113, señala que los bienes correspondientes a las aguas nacionales como zonas de riberas, terrenos de cauces, lagos, lagunas o esteros son bienes nacionales cuya administración está a cargo de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), especificando en el Artículo 113 BIS que los materiales pétreos de las zonas referidas se administran a través de concesiones otorgadas por esa autoridad.

Dichas concesiones están condicionadas a un volumen de extracción anual, a una vigencia, al pago de derechos,² al cumplimiento de la normativa que aplique, a la administración exclusiva por el titular de la concesión, al cuidado de los ecosistemas y otras actividades de prevención y corrección ordenadas por la autoridad. Además, en el mismo 113 BIS, se inscribe que de detectarse daños a taludes, cauces y otros elementos vinculados con la gestión del agua, estos deberán repararse totalmente por los causantes. Para vigilar esto, la Conagua se debe articular con los Organismos de Cuenca, así como con los gobiernos locales y asegurar su cumplimiento (Artículo 113 BIS 1), sin que la ley tenga mayores especificaciones al respecto.

Es interesante que una de las condiciones, establecidas en el Artículo 176 fracción III del Reglamento de la Ley, sea que no se altere el flujo del agua ni los márgenes de los ríos y que se restablezcan los bancos de los bordes con materiales de despalme o excavaciones que promuevan la revegetación, lo cual no se percibe que

² Establecidos en la Ley Federal de Derechos, Artículo 236 en caso de agua dulce y Artículo 232-D-1 en zonas marítimas, donde se señala un costo unitario por metro cúbico por tipo de material, y en el caso de agua dulce por zona, pues se agrupan las entidades de Baja California, Guanajuato, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Veracruz y Zacatecas como zona 1 y el resto como zona 2.

haya sucedido o esté sucediendo en los miles de sitios donde ocurre este tipo de actividad.

En la imagen a continuación (Figura 5) podemos observar un tramo del lecho del Río Nazas en el municipio de Lerdo, Durango, que forma parte de la Zona Metropolitana de La Laguna, que ha sido completamente transformado en una mina a cielo abierto. Este paisaje, que alguna vez fue un canal natural crucial para el ecosistema, hoy se presenta como una vasta área erosionada y fragmentada. La extracción de materiales pétreos en este lugar ha borrado los indicios de un ecosistema vivo, convirtiéndolo en lo que se podría describir como el "cadáver" del Río Nazas. El lecho fluvial transformado en una operación de extracción ha eliminado la vegetación y ha modificado completamente la geomorfología, incumpliendo con las disposiciones del Reglamento de la Ley, que establece que no se debe alterar el flujo del agua ni los márgenes de los ríos y que se deben restaurar con materiales de despalme para promover la revegetación, algo que claramente no ha sucedido en este caso.

FIGURA 5. "CADÁVER" DEL RÍO NAZAS EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA LAGUNA



Fuente: Imagen obtenida de Google Earth, 2024. **Municipio de Lerdo, Durango. Ubicación aproximada: latitud: 25.5321, longitud: -103.5074**

Estas concesiones de extracción de material pétreo están inscritas en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), mismo que está disponible para su consulta pública con los datos de título de concesión, nombre del titular, entidad federativa, municipio y uso que ampara el título, así como el volumen anual concesionado (en metros cúbicos) y la superficie (en metros cuadrados), entre otros campos de información. Sin embargo, no se incluye información sobre vigencia y tampoco existe un sistema de rendición de cuentas respecto la inspección y vigilancia, y cumplimiento de las condicionantes asociadas al título de extracción: volumen de extracción, recuperación de bancos, daño a ecosistemas, respeto a límites de polígonos, etcétera. Además, estas concesiones deben atender las especificaciones del Programa Nacional Hídrico que corresponda al periodo en curso.

4.1.2 Cuando se requiera presentar una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) federal y obtener su autorización, de acuerdo con los supuestos del Artículo 28 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). En este caso, la regulación de este sector está a cargo de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).

La actividad de extracción de materiales pétreos puede incluir varios de los supuestos del Artículo 28, en específico los señalados en las siguientes fracciones:

VII. Cambios de uso del suelo de áreas forestales, así como en selvas y zonas áridas;

X. Obras y actividades en humedales, ecosistemas costeros, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como en sus litorales o zonas federales [...];

XI. Obras y actividades en áreas naturales protegidas de competencia de la Federación

XIII. Obras o actividades que correspondan a asuntos de competencia federal, que puedan causar desequilibrios ecoló-

gicos graves e irreparables, daños a la salud pública o a los ecosistemas, o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones jurídicas relativas a la preservación del equilibrio ecológico y la protección del ambiente.

Además, como señala el Artículo 11 del Reglamento de la LGEEPA en Materia de Impacto Ambiental, los proyectos que prevean impactos acumulativos o sinérgicos que puedan aislar o fragmentar ecosistemas deben presentar una MIA en modalidad regional, siendo la extracción de materiales una actividad con estos efectos (Rentier & Cammeraat, 2022).

4.1.3 Cuando se ponga en riesgo el aprovechamiento sustentable de elementos naturales como agua y suelo, la LGEEPA contempla en su Artículo 99, Fracción XI, que toda obra que afecte estos recursos debe incluir acciones para la regeneración y restablecimiento de los caudales y de la función del suelo. Además, estas consideraciones deben ser tomadas en cuenta en el otorgamiento de concesiones para actividades como:

[...] la extracción de materias del subsuelo, la exploración, explotación, beneficio y aprovechamiento de sustancias minerales; excavaciones y otras acciones que alteren la cubierta y los suelos forestales [...].

En el Título Tercero de la LGEEPA también se establece que los aprovechamientos no deben afectar el equilibrio ecológico y se debe mantener la integridad del ciclo hidrológico, considerando la protección de suelos, áreas boscosas y selváticas, el mantenimiento de los caudales básicos de las corrientes de agua y la capacidad de recarga de los acuíferos.

Cabe mencionar que, en el caso de la extracción de materiales de un macizo rocoso en la corteza terrestre, la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) emite normas y recomendaciones para el ámbito de la industria de la construcción de carreteras y calidad de materiales, como la Norma N-CTR-CAR-1-01-008/00 y libros CMT respectivamente. También hay normas mexicanas (NMX)

en la materia, pero están orientadas únicamente al cumplimiento técnico y de control de calidad, como la forma de obtención de muestras o el tipo de granulometría. Desafortunadamente, no existe ninguna norma oficial mexicana (NOM) que regule directamente esta actividad.

4.2 ÁMBITO ESTATAL Y MUNICIPAL

Al ámbito estatal y municipal le corresponde exclusivamente la regulación en materia terrestre o de macizo rocoso, en aquellos casos que no cumplen con los supuestos de la LGEEPA. Sin embargo, desde un punto de vista estricto, no habría banco de material que no dañe acahuales o vegetación secundaria, misma que ya se incluye en la definición de terreno forestal de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Por consiguiente, cualquier banco de material requeriría la autorización de cambio de uso de suelo. Además, todo banco de material fragmenta ecosistemas y compromete la vocación del suelo en la zona. Al respecto, cada estado o municipio debería tener su propio conjunto de leyes o reglamentos que complementen o especifiquen lo establecido a nivel federal.

La normativa local puede incluir regulaciones sobre la planificación del uso del suelo, normas técnicas ambientales o requisitos de licencias y permisos específicos del estado o municipio, la mayoría albergados en la regulación ambiental, cuyo requisito principal normalmente corresponde a la presentación de una MIA estatal como trámite de autorización de las operaciones. Por ejemplo, el Estado de México cuenta con la Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-017-SeMAGEM-Ds-2016 que regula la exploración, explotación y transporte de minerales no concedionables en el Estado de México, en la que solicitan una MIA.³ El Estado de Colima emitió un Reglamento para la operación de bancos de material pétreo y yacimientos geológicos a cielo abierto en el que también se solicita la presentación de una MIA.⁴ Y también existen regulaciones a nivel municipal, como el Programa de Regulación y Aprovechamiento de Material Pétreo Arteaga - Ramos Arizpe, en Coahuila.⁵

³ Norma Técnica Del Estado De México: <https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/gct/2017/ago074.pdf>

⁴ Reglamento para bancos de material de Colima: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/COLIMA/Reglamentos/COLREG03.pdf>

⁵ Programa municipal de Ramos Arizpe sobre bancos de material: <https://sma.gob.mx/wp-con>

En cuanto a la extracción de materiales en cuerpos de agua, las autoridades estatales no tienen injerencia directa. Sin embargo, pueden participar mediante convenios de colaboración con las autoridades competentes, como los organismos de cuenca, así como emitir legislación complementaria, implementar medidas de protección ambiental y coordinar esfuerzos en situaciones de emergencia. Un ejemplo de esto es el gobierno de Tabasco, que incluyó criterios para la extracción de materiales en su Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del Estado de Tabasco (POERET), entre los cuales se destacan los criterios EM9 y EM10, aplicables a zonas aluviales.⁶

4.3 ÁMBITO INTERNACIONAL

En materia internacional, existen convenios y directrices transversales de los que México es parte, que promueven la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible de sus componentes. Algunos ejemplos son el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), el Convenio Ramsar, o la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la que se plantean los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). El ODS 15, por ejemplo, plantea incrementar la cobertura vegetal y reducir la pérdida de hábitats naturales o el ODS 12 que promueve el aprovechamiento sostenible de los recursos. En cuanto a la extracción de arena y agregados pétreos, solo existen señalamientos y recomendaciones. Un ejemplo es el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP) que ha dedicado varios reportes al tema, señalado la gravedad del problema y recomendado una regulación internacional, así como la implementación de una regulación federal específica en los países (UNEP, 2022).

tent/uploads/2021/11/REGULACIONYAPROVECHAMIENTO.pdf
6 Criterios del programa de ordenamiento de Tabasco: https://tabasco.gob.mx/sites/default/files/users/sbstabasco/POERET_2019-3.pdf

HALLAZGOS DE LA INVESTIGACIÓN PARA MÉXICO



5.1 IDENTIFICACIÓN DE BANCOS DE MATERIAL EN SUPERFICIES TERRESTRES

Los bancos de material son fácilmente reconocibles en imágenes satelitales debido a varias características distintivas. Visualmente, se presentan como áreas irregulares de color más claro o grisáceo, que contrastan con el paisaje circundante, generalmente dominado por vegetación o suelos naturales. Estas manchas claras corresponden a suelos expuestos o depósitos de material extraído, como arena y grava.

Las texturas en estas zonas suelen estar alteradas, mostrar patrones de excavación y acumulación de escombros. A menudo, es posible identificar montículos de material o huecos que marcan el área de extracción, junto con cortes abruptos en el relieve que indican una alteración significativa de la geomorfología local. La infraestructura asociada a la actividad minera es otro indicador clave. En muchos casos, se observan caminos de acceso, áreas de acopio de material y, en ocasiones, maquinaria visible o sombras de estructuras como trituradoras, que suelen tener formas rectangulares o lineales. Estas instalaciones resaltan el uso industrial del sitio, permitiendo una identificación clara del banco de material en el paisaje.

Para llevar a cabo la identificación y caracterización espacial de los bancos de material en México, se empleó un enfoque basado en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). El primer paso consistió en trazar manualmente polígonos sobre las imágenes de satélite actualizadas a 2024, utilizando los mosaicos de alta resolución de Planet-NICFI. En total, se trazaron 6 mil 447 polígonos que representan los bancos de material distribuidos a lo largo del territorio nacional.

La identificación de estos sitios se apoyó, en los casos que fue posible, en diversas fuentes de información que contienen datos puntuales sobre la ubicación de bancos de material, como son las cartas topográficas del INEGI y el *“Directorio de la Minería Mexicana 2022”*, del Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2022), que ayudaron a localizar y verificar la ubicación de un gran número de estos sitios de extracción. Sin embargo, la mayoría fueron identificados visualmente sobre las imágenes de satélite.

Una vez definidos los polígonos, se implementó un análisis temporal para estudiar los cambios en la cobertura del suelo en cada uno de los sitios identificados. Para esto, se cruzó la capa de los 6 mil 447 polígonos con productos cartográficos de cobertura de suelo de alta resolución de años anteriores, con el fin de determinar qué tipo de cobertura existía en esos lugares antes de la aparición de los bancos de material. Las coberturas evaluadas incluían bosques, selvas, matorrales, pastizales, agricultura y otras formas de vegetación, así como áreas ya desmontadas en esos años, presumiblemente por ser, desde entonces, bancos de material. Este análisis permitió no solo identificar la superficie ocupada por los bancos de material, sino también observar la evolución de esos sitios a lo largo del tiempo (2024, 2021, 2018, 2015 y 2010).

Para el análisis de la cobertura del suelo en los años 2010, 2015 y 2018, se utilizó la información proporcionada por el sistema MAD-Mex de CONA-BIO, un sistema diseñado específicamente para el monitoreo automatizado de la cobertura terrestre en México (Gebhardt et al., 2014). Este sistema permite una clasificación detallada de la cobertura vegetal mediante imágenes de Landsat 7 y Landsat 8 en 2010 y 2015, respectivamente, así como de Sentinel 2 en 2018. En estos tres años, se trabajó con un total de 32 clases de cobertura en 2010 y 2015, y 31 clases en 2018, lo que permitió distinguir entre áreas de vegetación, suelos desnudos y sitios ya intervenidos.

Para el año 2021, ante la ausencia de una actualización del sistema MAD-Mex, se realizaron múltiples pruebas con otras capas de clasificación de la cobertura del suelo, que finalmente no fueron utilizadas debido a problemas para distinguir entre suelos desnudos y vegetación en zonas áridas. Sin embargo, se encontró que la capa de ESA WorldCover 2021 de la Agencia Espacial Europea (Zanaga et al., 2022), con una resolución de 10 metros y 11 clases de cobertura terrestre, ofrecía la mayor precisión para diferenciar entre vegetación natural y suelos intervenidos en estas áreas, y fue la utilizada para ese año.

En el caso de 2024, no se utilizó una capa de cobertura del suelo como tal. En su lugar, se emplearon imágenes de satélite de alta resolución proporcionadas por Planet Labs PBC bajo el programa NICFI (Planet Labs PBC, 2024), que ofrecieron una visión actualizada de los sitios de extracción para este año, permitiendo una identificación precisa de las áreas ocupadas por los bancos de material.

Las capas de cobertura de suelo utilizadas fueron las siguientes:

- MAD-Mex Landsat 7, 2010: 32 clases de cobertura terrestre.
- MAD-Mex Landsat 8, 2015: 32 clases de cobertura terrestre.
- MAD-Mex Sentinel 2, 2018: 31 clases de cobertura terrestre.
- ESA WorldCover, 2021: 11 clases de cobertura terrestre.

Aunque este análisis no contempla la profundidad o volumen de los bancos de material -aspectos que sería deseable incluir para un estudio más completo-, la superficie ocupada sigue siendo un indicador relevante del impacto territorial de estas actividades.

5.1.1 Ejemplo de identificación de bancos de material en superficie terrestre

En las siguientes imágenes (Figura 6), se muestra un ejemplo de una zona al sur de Mérida, en el municipio de Umán, Yucatán, capturada en dos momentos: 2010 y 2024. Esta comparación visual ayuda a identificar la expansión de las actividades de extracción de material pétreo y los impactos territoriales asociados. Las construcciones visibles en la esquina superior derecha corresponden a la comunidad de Xucul Sur, lo que sirve como punto de referencia en ambas imágenes.

FIGURA 6. CAMBIOS EN LA COBERTURA DE SUELO EN LA ZONA DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL AL SUR DE MÉRIDA, YUCATÁN (2010-2024).

Fuente: Imágenes obtenidas de Google Earth. Ubicación aproximada: Latitud 20.850409, Longitud -89.684035, municipio de Umán, Yucatán

2010



2024

En la imagen de 2010, se observa una gran área de vegetación natural que tiene signos de actividad extractiva en 29 hectáreas del norte. Se puede notar cómo el área visible en la imagen permanece cubierta en su mayoría por selva baja y media.

En contraste, la imagen de 2024 muestra un escenario completamente distinto. En esta imagen, se identifica una amplia expansión de la actividad extractiva, pues ahora se agregan 182 hectáreas de un nuevo banco de material. La vegetación ha sido removida casi en su totalidad y se puede observar un patrón radial en el terreno, típico de los caminos y accesos construidos para maquinaria pesada. La parte superior izquierda del nuevo banco de material revela un gran depósito de agua, probablemente construido artificialmente para suministro del sitio o generado por la excavación. Además, los rastros de las huellas de maquinaria y la extracción son visibles en forma de surcos y caminos en el suelo, lo que indica la magnitud del impacto causado en la zona.

Este ejemplo ilustra claramente el grado de transformación del paisaje como resultado de la extracción de material pétreo en un periodo de 14 años, destacando la pérdida de cobertura vegetal y la alteración del ecosistema local.

5.2 IDENTIFICACIÓN DE SITIOS DE EXTRACCIÓN EN RÍOS Y CUERPOS DE AGUA

La identificación de los sitios de extracción de material en los lechos de los ríos a partir de imágenes satelitales presenta importantes desafíos, especialmente en los casos de ríos con corrientes permanentes. En el caso de ríos o corrientes de agua intermitentes, es posible detectar las áreas de extracción debido al aumento de la reflectancia del lecho fluvial. La extracción de materiales elimina la vegetación ribereña y altera la superficie del suelo, lo que provoca que el área afectada refleje más radiación. En estas condiciones, los lechos fluviales impactados se identifican claramente como superficies alteradas o erosionadas, lo que permite su cartografía a partir de las imágenes de satélite.

En los casos de ríos perennes, la identificación directa de las áreas de extracción es más compleja, debido a la presencia continua de agua, que oculta las alteraciones en el lecho fluvial y a veces en el margen de los

ríos. En estos casos, la identificación de las áreas de actividad extractiva se realizó de manera indirecta, mediante la detección de patios de maniobras donde operan las máquinas a lo largo de las riberas.

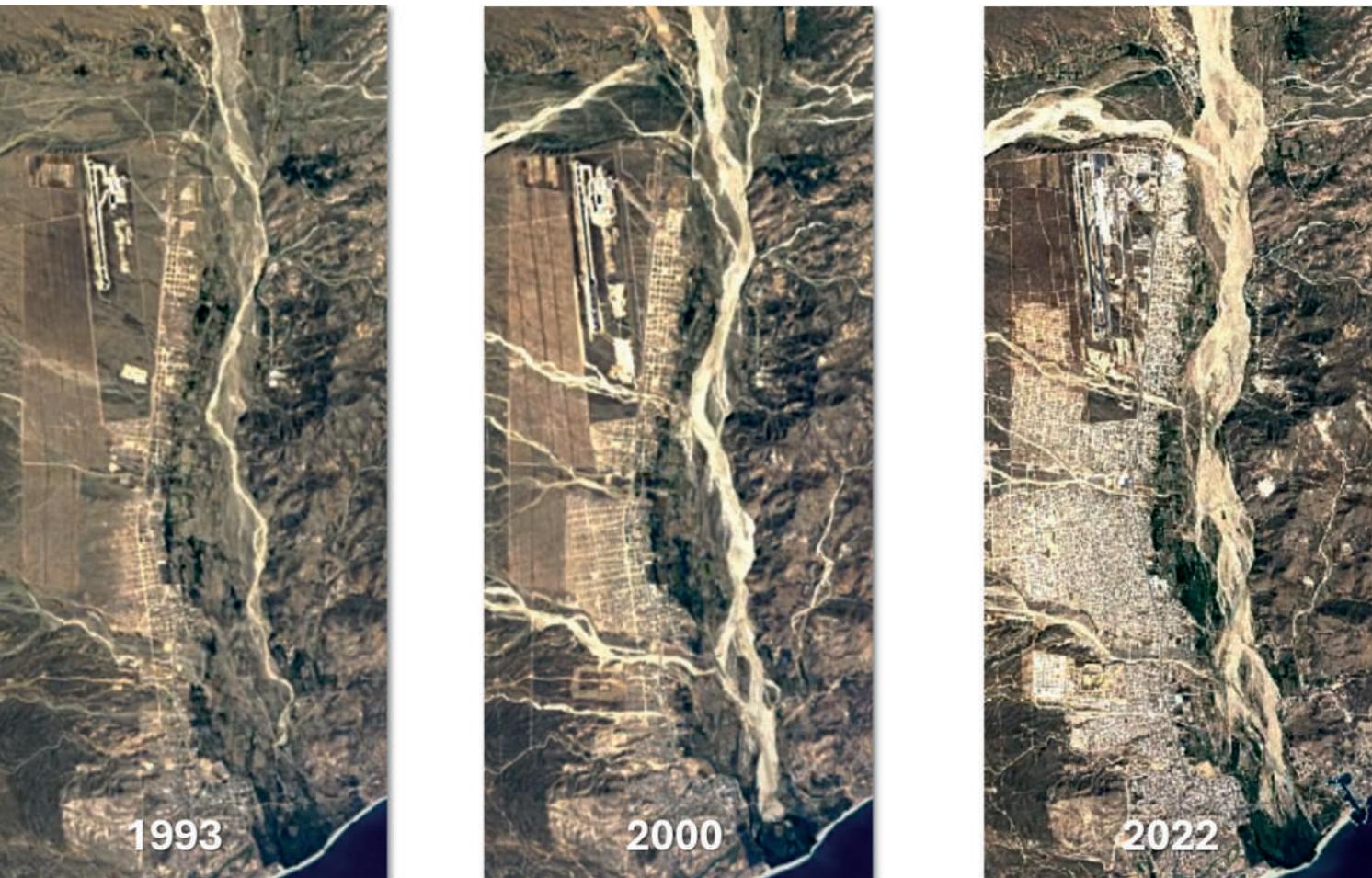
Para los fines cartográficos de este estudio, además de las imágenes satelitales, se utilizaron los datos de las concesiones para la extracción de material pétreo del lecho de los ríos, provenientes del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de CONAGUA. Estos datos se georreferenciaron con la información disponible, que es únicamente a nivel de un punto en el mapa por concesión, es decir, no se especifican las áreas exactas de extracción. Sobre estos puntos, se trazaron manualmente aquellos polígonos visibles de las áreas impactadas en los ríos intermitentes y de los patios de maniobras visibles basados en la interpretación de las imágenes de satélite.

Sin embargo, la numerialia utilizada en este estudio con respecto de la extracción en ríos y cuerpos de agua proviene exclusivamente de los datos del REPDA, analizados en términos de fechas de otorgamiento, volumen concesionado, superficie autorizada mencionada en el título de concesión y ubicación de los permisos de extracción.

5.2.1 Ejemplo de identificación de extracción de material pétreo en el lecho de los ríos

En las siguientes imágenes (Figura 7) se muestra la extracción de materiales del lecho de los ríos en zonas áridas. Este tipo de extracción es común en áreas donde las corrientes de agua son intermitentes o secas la mayor parte del año y los materiales, como grava y arena, se extraen debido a su accesibilidad. En las imágenes puede observarse la evolución de la extracción en el lecho del Arroyo San José, al norte de San José del Cabo, Baja California Sur, a través de imágenes satelitales de 1993, 2000 y 2022.

FIGURA 7. EXTRACCIÓN EN EL ARROYO SAN JOSÉ, BAJA CALIFORNIA SUR



Fuente: Imágenes obtenidas mediante el Timelapse de Google Earth Engine. Ubicación aproximada: Latitud 23.1244226, Longitud -109.7224096, municipio de Los Cabos, Baja California sur.

Imagen de 1993: En esta, el lecho del río muestra una apariencia uniforme y estable, con tonos que sugieren la presencia de suelo y vegetación, sin indicios evidentes de alteración significativa. No se observa actividad relevante de extracción y la estructura natural del lecho del río parece mantenerse sin grandes alteraciones.

Imagen de 2000: Para este año, se observa una reflectancia más alta en el lecho del río, lo que sugiere la pérdida de vegetación y

suelo. La coloración más clara indica la presencia de actividades de extracción de materiales, con la remoción del suelo fértil y de la cobertura vegetal. Esta extracción coincide con el crecimiento visible de la urbanización en la imagen, donde la expansión de áreas urbanas y las necesidades de construcción aumentan la demanda de materiales pétreos.

Imagen de 2022: En esta última, la reflectancia es mucho mayor, se muestra el lecho del río casi completamente expuesto, lo que confirma una intensificación de las actividades extractivas. El lecho se percibe más blanco debido a la pérdida total de suelo y vegetación, y se observa una correlación clara entre el crecimiento urbano masivo a lo largo de las últimas décadas y la expansión de las zonas de extracción. Las áreas antes ocupadas por vegetación y suelo han sido sustituidas por espacios para la actividad humana y por bancos de extracción que alteran la geomorfología local.

El crecimiento urbano y la expansión de la extracción de materiales están claramente correlacionados en estas imágenes. A medida que las áreas urbanas se expanden, las necesidades de materiales como arena y grava aumentan, impulsando una mayor extracción en los alrededores del lecho del río. Esto no solo altera el cauce natural, sino que también contribuye a la degradación de los ecosistemas, incrementa la vulnerabilidad de la región a fenómenos como inundaciones o pérdida de biodiversidad. El cambio visible en la reflectancia del lecho del río, que pasa de un estado relativamente estable en 1993 a un lecho completamente expuesto y alterado en 2022, evidencia los profundos impactos que estas actividades han tenido tanto en el ambiente como en el paisaje de San José del Cabo.

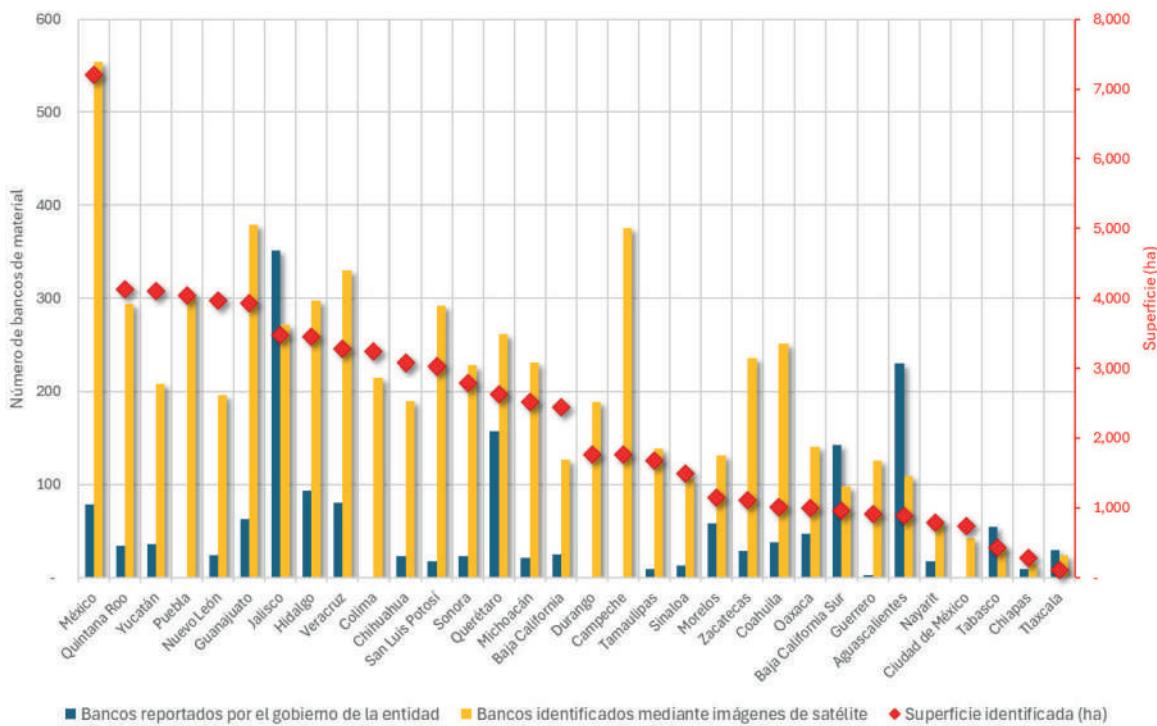
5.3 PRINCIPALES HALLAZGOS SOBRE LOS BANCOS DE MATERIAL EN SUPERFICIE TERRESTRE EN MÉXICO

Existen en todo el país 6 mil 447 bancos de material en superficie terrestre identificados por imágenes de satélite, que suponen un total de 73 mil 287 hectáreas ocupadas por esta actividad al 2024. Este dato empírico contrasta con los registros de los 32 gobiernos estatales del país, pues-

to que en respuesta a diversas solicitudes de acceso a la información sobre cuántos bancos pétreos autorizados existen en sus entidades, el resultado fue sensiblemente menor. Los registros administrativos estatales dan cuenta de 1,701 bancos de material en el país, frente a los 6 mil 447 identificados con imágenes satelitales. Es decir que, a nivel nacional, los registros administrativos sólo contemplan una cuarta parte de la realidad extractiva de estos materiales.

La siguiente gráfica (Figura 8) contrasta el número de bancos de material reportados por las entidades federativas (columna azul) frente a los identificados mediante imágenes satelitales (columna amarilla) en el país. Además, se incluye la superficie identificada ocupada por estos bancos (rombo rojo). La diferencia entre ambas fuentes de información revela la magnitud de bancos no registrados oficialmente, lo que genera un subregistro significativo de esta actividad extractiva a nivel nacional.

FIGURA 8. DISPARIDAD ENTRE BANCOS DE MATERIAL REPORTADOS POR GOBIERNOS ESTATALES Y LOS IDENTIFICADOS MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES (2024)

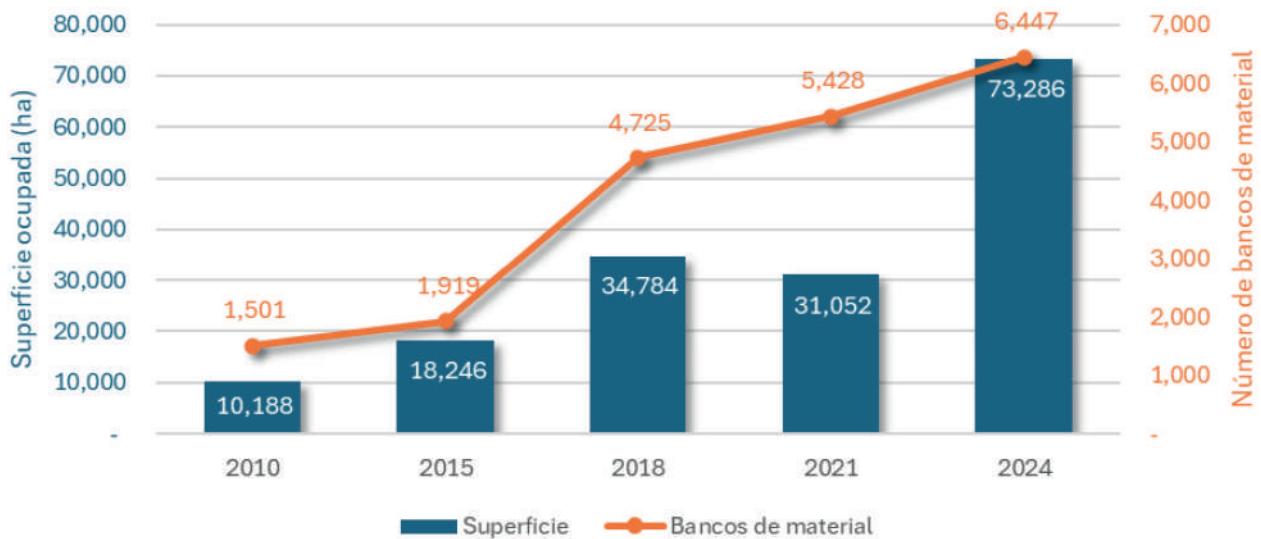


Fuente: Elaboración propia con base en datos de solicitudes de información e imágenes de satélite

De la gráfica, se pueden destacar algunos casos particulares, por ejemplo, que los gobiernos de Campeche, Ciudad de México, Colima, Durango y Puebla no reportaron ningún banco de material en sus registros oficiales, pero el análisis satelital identificó 11 mil 540 hectáreas distribuidas en 1,122 bancos de material en estos estados. También se evidencian grandes discrepancias en el Estado de México, donde el gobierno estatal reportó 78 bancos de material y mediante imágenes satelitales se identificaron 554. Están los casos de entidades como Aguascalientes, Jalisco, Baja California Sur, Tabasco y Tlaxcala, en las que los registros oficiales muestran un mayor número de bancos que los detectados por las imágenes satelitales. Esto podría indicar que algunos bancos reportados ya no están activos, o bien que algunas áreas de extracción están subdivididas administrativamente en más unidades, o simplemente que los registros estatales contemplan bancos pequeños que no son fácilmente visibles desde las imágenes satelitales.

A continuación (Figura 9), se muestra la superficie ocupada por bancos de material (columnas azules) según el análisis de imágenes satelitales, así como el número de sitios de extracción identificados (línea naranja) en cada año.

FIGURA 9. SUPERFICIE OCUPADA Y NÚMERO DE BANCOS DE MATERIAL



Fuente: Elaboración propia con base en datos satelitales y de cobertura del suelo

La gráfica muestra un crecimiento constante en el número de bancos de material y en la superficie ocupada por estas actividades extractivas entre 2010 y 2024. Entre 2010 y 2018, tanto el número de bancos como la superficie afectada aumentaron significativamente, alcanzando un pico de 34 mil 784 hectáreas en 2018. Sin embargo, para 2021, se observa una reducción en la superficie ocupada, que disminuyó a 31 mil 052 hectáreas, mientras que el número de bancos de material siguió aumentando.

Es probable que la disminución de la superficie ocupada en 2021 esté relacionada con la pandemia de COVID-19, que pudo haber causado una reducción en la actividad económica y extractiva, afectando temporalmente las operaciones de los bancos de material. Sin embargo, para 2024, se observa un fuerte repunte, alcanzando 73 mil 286 hectáreas ocupadas y 6 mil 447 bancos de material, lo que indica una recuperación y expansión de las actividades extractivas tras el impacto de la pandemia. Esta evolución sugiere que, aunque la actividad extractiva se desaceleró durante la pandemia, la demanda se recuperó rápidamente, expandiendo tanto el número de bancos como el área afectada a niveles significativamente superiores a los años previos.

En la tabla siguiente (Figura 10) se presenta la superficie ocupada por bancos de material en hectáreas, así como el número de bancos identificados en 2010 y 2024, desglosado por entidad federativa. Estos valores permiten observar el cambio en la actividad extractiva de bancos de material a lo largo del tiempo y ofrecen una visión clara del aumento en el área ocupada y en el número de bancos operativos. Para facilitar la interpretación, la tabla utiliza una rampa de color, donde los valores más bajos se indican en verde y los más altos en rojo, aplicando este esquema de color tanto para la superficie ocupada como para el número de bancos en cada año.



FIGURA 10. SUPERFICIE OCUPADA Y NÚMERO DE BANCOS DE MATERIAL IDENTIFICADOS POR ENTIDAD FEDERATIVA EN 2010 Y 2024

Entidad federativa	Superficie ocupada (ha)		Número de bancos	
	2010	2024	2010	2024
Aguascalientes	93	882	11	109
Baja California	320	2,442	41	127
Baja California Sur	9	957	6	98
Campeche	192	1,758	110	375
Chiapas	137	1,007	37	251
Chihuahua	315	3,238	36	215
Ciudad de México	159	276	8	14
Coahuila	531	3,076	47	190
Colima	38	731	13	42
Durango	191	1,769	49	189
Guanajuato	601	3,931	90	379
Guerrero	67	915	29	126
Hidalgo	597	3,441	65	297
Jalisco	469	3,469	77	271
México	892	7,209	100	554
Michoacán	384	2,521	48	231
Morelos	238	1,142	46	131
Nayarit	53	782	8	60
Nuevo León	1,100	3,962	58	196
Oaxaca	16	999	7	141
Puebla	763	4,044	89	301
Querétaro	89	2,628	21	261
Quintana Roo	595	4,131	131	294
San Luis Potosí	240	3,020	54	292
Sinaloa	53	1,488	13	106
Sonora	136	2,785	38	228
Tabasco	60	424	10	33
Tamaulipas	151	1,682	40	139
Tlaxcala	6	110	1	24
Veracruz	204	3,271	59	330
Yucatán	1,398	4,097	128	208
Zacatecas	93	1,102	31	235
Total	10,188	73,286	1,501	6,447

Fuente: Elaboración propia con base en datos satelitales y de cobertura del suelo

En estos 14 años del periodo de estudio, el número de bancos de material se cuadruplicó, pasó de 1,501 bancos identificados en 2010, a 6 mil 447 en 2024, pero la superficie ocupada por esta actividad tuvo un incremento aún más significativo, de 619%, pasando de 10 mil 188 hectáreas a 73 mil 286 en el mismo periodo. El Estado de México encabeza la lista con un incremento absoluto de 6 mil 317 hectáreas entre 2010 y 2024, lo que representa un aumento de 708%. Otras entidades como Quintana Roo y Guanajuato también registraron aumentos importantes, con 3 mil 535 y 3 mil 330 hectáreas adicionales, respectivamente. En términos porcentuales, destacan Baja California Sur y Oaxaca, que vieron incrementos desproporcionados de 10 mil 883% y 6 mil 333%, a pesar de que partieron de superficies pequeñas en 2010. Querétaro y Sinaloa también muestran aumentos significativos del 2 mil 860% y 2 mil 710%, lo que evidencia una fuerte expansión de la actividad extractiva en estas regiones. En contraste, entidades como la Ciudad de México y Tlaxcala presentaron aumentos menores, aunque también con una expansión significativa en términos porcentuales.

FIGURA 11. MAPA DE BANCOS DE MATERIAL EN SUPERFICIE TERRESTRE POR RANGOS DE TAMAÑO



En el mapa (Figura 11) se muestran la ubicación y la superficie de los bancos de material identificados a lo largo de todo México. Como puede observarse en la representación cartográfica, existe una clara concentración de bancos de material en las zonas cercanas a los principales centros urbanos del país. Esto se debe a la gran demanda de arena, grava y otros materiales pétreos para la construcción en ciudades y zonas metropolitanas, como la Ciudad de México, Querétaro, Monterrey, Guadalajara y Mérida, donde los grandes proyectos de infraestructura y la rápida expansión urbana requieren vastos recursos de este tipo.

Además de la concentración cerca de las grandes ciudades, también es evidente la existencia de bancos más pequeños, aunque numerosos, a lo largo de importantes ejes carreteros y ferroviarios. Estos bancos de menor superficie suelen estar relacionados con proyectos de construcción de vías de comunicación, como carreteras y trenes. Si bien estos bancos de material pueden ser más pequeños en comparación a los de una cementera, el tamaño reducido de estos bancos no siempre equivale a un impacto ambiental menor. Pues incluso los bancos pequeños pueden provocar degradación del suelo, alteraciones hidrológicas y pérdida de biodiversidad, dependiendo de su ubicación, el tipo de suelo, y la magnitud de la extracción, además de que estos impactos son acumulativos y sinérgicos con los otros bancos y demás obras que existan alrededor.

Es importante tener en cuenta que, si bien en el mapa se representa la superficie de los bancos, no se cuenta con datos del volumen extraído, lo que limita el análisis completo de los impactos ambientales. Algunas áreas pueden mostrar una gran extensión superficial, pero con extracciones de poca profundidad, mientras que en otras, como en áreas montañosas, el volumen extraído puede ser muy grande, aunque la superficie sea reducida.

Este mapa permite identificar patrones claros de distribución de bancos de material, siendo más abundantes en las zonas donde hay más demanda de materiales por el crecimiento urbano o por la construcción de infraestructura. Sin embargo, la ausencia de un sistema de reporte sobre el volumen de extracción nos impide tener una visión completa de los impactos territoriales y ambientales.

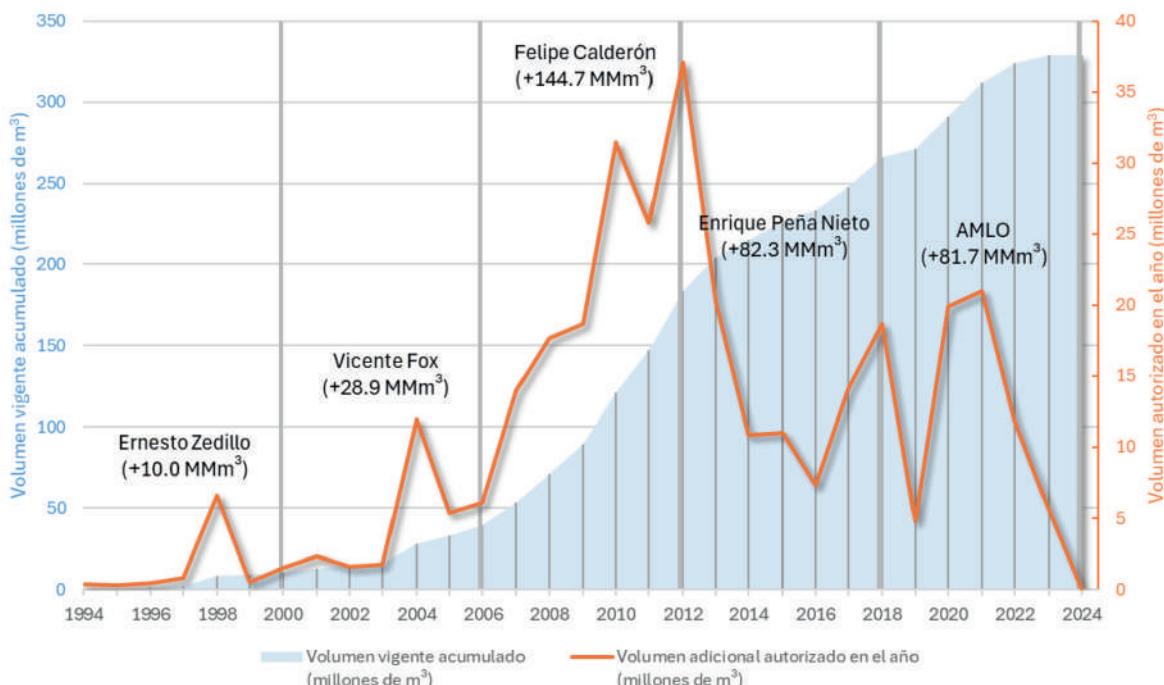
5.4 PRINCIPALES HALLAZGOS SOBRE LA EXTRACCIÓN DE MATERIAL PÉTREO DEL LECHO DE LOS RÍOS EN MÉXICO

La extracción de material pétreo del lecho de los ríos ha crecido exponencialmente en las últimas décadas, lo que refleja una alta demanda de materiales como la arena y la grava para la construcción y otras actividades industriales. El Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la CONAGUA permite rastrear el número de permisos vigentes para este tipo de extracción, así como las superficies y volúmenes autorizados.

En la actualidad, se encuentran vigentes 4 mil 518 permisos que permiten la extracción de 329.31 millones de metros cúbicos de material pétreo al año, cubriendo una superficie total de 17 mil 136.36 hectáreas en diversas corrientes y cuerpos de agua a lo largo del país. Estos permisos no solo evidencian la escala masiva de la actividad extractiva en los ecosistemas acuáticos, sino que también muestran una tendencia clara de crecimiento a lo largo de las décadas.

A continuación, se presenta una gráfica (Figura 12) que refleja la evolución del volumen autorizado de extracción de material pétreo de los ríos en México, desde 1994 hasta 2024, desglosada en volumen anual autorizado y volumen acumulado, con una división por períodos presidenciales. Este análisis permite observar tendencias y fluctuaciones significativas en el otorgamiento de concesiones a lo largo del tiempo.

FIGURA 12. EVOLUCIÓN DEL VOLUMEN AUTORIZADO, NUEVO Y ACUMULADO, DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL PÉTREO DE LOS RÍOS POR AÑO Y PERÍODO PRESIDENCIAL.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del REPDA

- Período de Ernesto Zedillo (1994-2000): Aunque el porcentaje de incremento con respecto del primer año de su administración es significativo (1635%), el aumento en términos absolutos fue relativamente pequeño en comparación con periodos posteriores, con sólo 10 millones de metros cúbicos (MMm³) autorizados adicionales. Esto podría reflejar el inicio de una etapa en la que el sector comenzaba a regularizarse, ya que el volumen que hasta entonces se encontraba registrado y autorizado era escaso. Hasta el año 2000, se acumulaba un volumen autorizado para extracción anual de 10.4 MMm³
- Período de Vicente Fox (2000-2006): Durante esta administración, se observa un crecimiento más pronunciado, con un aumento de 28.9 MMm³, lo que representa un incremento de 210%. Este periodo muestra una expansión moderada en la extracción, pero aún no alcanza el crecimiento acelerado de años posteriores. Al cierre de la administración, se acumulaban 39.3 MMm³ anuales.
- Período de Felipe Calderón (2006-2012): Este es el periodo con mayor crecimiento tanto en términos porcentuales (245%) como absolutos, con un incremento de 144.7 MMm³. La gráfica refleja un marcado aumento en la cantidad de volumen autorizado, lo que podría estar relacionado con un aumento en la demanda de materiales o en un relajamiento en las regulaciones. Al cierre de la administración de Calderón, se acumulaban 184 MMm³ anuales.
- Período de Enrique Peña Nieto (2012-2018): Se experimenta un crecimiento más moderado en comparación con Calderón, con un aumento absoluto de 82.3 MMm³, lo que representa 30% de incremento. Aunque se autorizaron volúmenes significativos, se observa una cierta estabilización en las concesiones anuales hacia el final de su mandato, en el que se alcanza un total acumulado de 266.3 MMm³ anuales.
- Período de AMLO (2018-2024): En este caso, se observa un incremento de 81.7 MMm³ (+24%), con una estabilización en el volumen autorizado anual hacia el final del periodo. Es importante señalar que los datos para 2024 son parciales, actualizados hasta abril de 2024, sin nuevas concesiones otorgadas hasta ese momento durante el año, que acumulan para su extracción anual 329.3 MMm³.

Es importante subrayar que la gráfica refleja únicamente los datos oficiales del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), es decir que las actividades de extracción que no cumplen con la legislación y que no tienen concesión autorizada no están aquí representadas. Esto significa que el impacto real podría ser considerablemente mayor al que se muestra en los datos disponibles. Este crecimiento continuo en la extracción refleja una intensificación de la actividad en los ríos del país, cuya magnitud plantea importantes interrogantes sobre el impacto ambiental y las capacidades de gestión de los ecosistemas fluviales afectados.

La distribución y el crecimiento de estos permisos no ha sido igual en todo el país. La tabla que se presenta a continuación (Figura 13) contiene información sobre los permisos vigentes para la extracción de material pétreo de los ríos en 2024, organizados por entidad federativa. La tabla está diseñada para ilustrar los siguientes aspectos clave:

- Número de permisos vigentes al 2024: Representa la cantidad de permisos oficialmente activos en cada entidad.
- Volumen autorizado anual vigente (2024): Es el volumen total de extracción permitido en 2024, que se basa en los permisos otorgados y vigentes para ese año, medido en millones de metros cúbicos.
- Volumen acumulado autorizado (1993-2024): Refleja el total de volumen autorizado para ser extraído desde 1993 hasta el 2024 (31 años), integrando los permisos vigentes cada año. Este valor se obtiene sumando el volumen autorizado por año de cada permiso, desde su otorgamiento hasta la fecha actual, lo que refleja la acumulación histórica de la potencial extracción ocurrida.
- Porcentaje del total acumulado: Indica qué porcentaje representa cada entidad del volumen total acumulado a nivel nacional, ordenando la tabla con este dato de mayor a menor.

FIGURA 13. PERMISOS VIGENTES Y VOLUMEN DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL PÉTREO POR ENTIDAD FEDERATIVA AL 2024 (EN MILLONES DE METROS CÚBICOS)

Entidad federativa	Número de permisos vigentes al 2024	Volumen autorizado anual vigente (2024)	Volumen acumulado autorizado (1993-2024)	Porcentaje del volumen total acumulado
		(millones de metros cúbicos)		
Sinaloa	400.0	93.7	954.6	25.50%
Baja California Sur	221.0	35.7	442.6	11.80%
Tabasco	348.0	30.6	329.7	8.80%
Baja California	46.0	16.9	326.0	8.70%
Guerrero	393.0	23.2	280.7	7.50%
San Luis Potosí	75.0	18.7	191.7	5.10%
Zacatecas	135.0	13.8	184.8	4.90%
Chiapas	234.0	13.9	166.1	4.40%
Sonora	127.0	15.4	133.6	3.60%
Nayarit	533.0	9.4	116.6	3.10%
Jalisco	158.0	7.5	110.5	2.90%
Veracruz	568.0	6.8	97.7	2.60%
Colima	186.0	7.0	82.9	2.20%
Durango	141.0	8.3	69.6	1.90%
Coahuila	24.0	6.4	59.1	1.60%
Oaxaca	379.0	4.6	48.2	1.30%
Guanajuato	62.0	2.6	43.8	1.20%
Nuevo León	61.0	5.5	36.7	1.00%
Chihuahua	37.0	4.1	29.4	0.80%
Aguascalientes	57.0	2.5	14.7	0.40%
Tamaulipas	67.0	0.6	9.6	0.30%
Puebla	94.0	0.5	7.2	0.20%
Querétaro	35.0	0.1	3.2	0.10%
Michoacán	60.0	0.1	2.6	0.10%
Tlaxcala	28.0	0.1	1.9	0.10%
Morelos	5.0	0.1	1.2	0.00%
Campeche	3.0	0.0	0.5	0.00%
Hidalgo	5.0	0.1	0.5	0.00%
México	1.0	<0.01	<0.01	0.00%
Total	4,483.0	328.2	3,745.8	100.00%

Fuente: Elaboración propia con base en datos del REPDA, 2024.

El concepto de volumen acumulado autorizado es útil para entender no solo la actividad anual, sino el impacto histórico a lo largo del tiempo. Este dato permite observar cómo se ha ido incrementando la presión sobre los recursos naturales de los ríos, particularmente en aquellas entidades con un alto porcentaje del volumen acumulado nacional.

La tabla presentada revela una concentración significativa en la extracción de material pétreo, ya que solo tres entidades, Sinaloa, Baja California Sur y Tabasco, acumulan el 49% del volumen total extraído de los ríos en el país, representando 25.5%, 11.8% y 8.8%, respectivamente. Paralelamente a esta concentración, hay una notable diversidad en los volúmenes autorizados entre las distintas entidades. Mientras que Sinaloa cuenta con un volumen acumulado cercano a los 1,000 millones de metros cúbicos, estados como Tlaxcala y Morelos tienen volúmenes mucho menores, con apenas 1 o 2 millones de metros cúbicos acumulados desde 1993. Esto evidencia que la extracción de material pétreo no está distribuida homogéneamente en todo el territorio nacional, sino que se focaliza en áreas específicas. Esta concentración puede deberse a factores como las características geológicas de estas regiones, que facilitan la extracción de recursos, así como a la alta demanda de materiales en estas zonas.

Un análisis de los permisos otorgados revela que el número de concesiones no siempre está directamente relacionado con el volumen autorizado de extracción. Un caso notable es Veracruz, que cuenta con el mayor número de permisos vigentes, 568, pero su volumen acumulado autorizado, de 97.7 millones de metros cúbicos, es relativamente bajo en comparación con estados como Baja California o Tabasco, que tienen muchos menos permisos, pero volúmenes de extracción considerablemente mayores. Esto indica que la cantidad de permisos no siempre refleja el nivel real de la extracción, ya que depende también del volumen autorizado en cada concesión.

A continuación, se presenta un mapa sobre las concesiones vigentes de extracción de material pétreo en lechos fluviales en México para el año 2024 (Figura 14). Este mapa proporciona una representación visual complementaria a la información tabular ya presentada, permite identificar de manera espacial la distribución y la magnitud de las concesiones, así como las áreas del país donde se concentra esta actividad extractiva.

FIGURA 14. MAPA DE CONCESIONES Y VOLÚMENES ANUALES VIGENTES DE EXTRACCIÓN DE MATERIAL PÉTREO EN LECHOS FLUVIALES DE MÉXICO (2024)



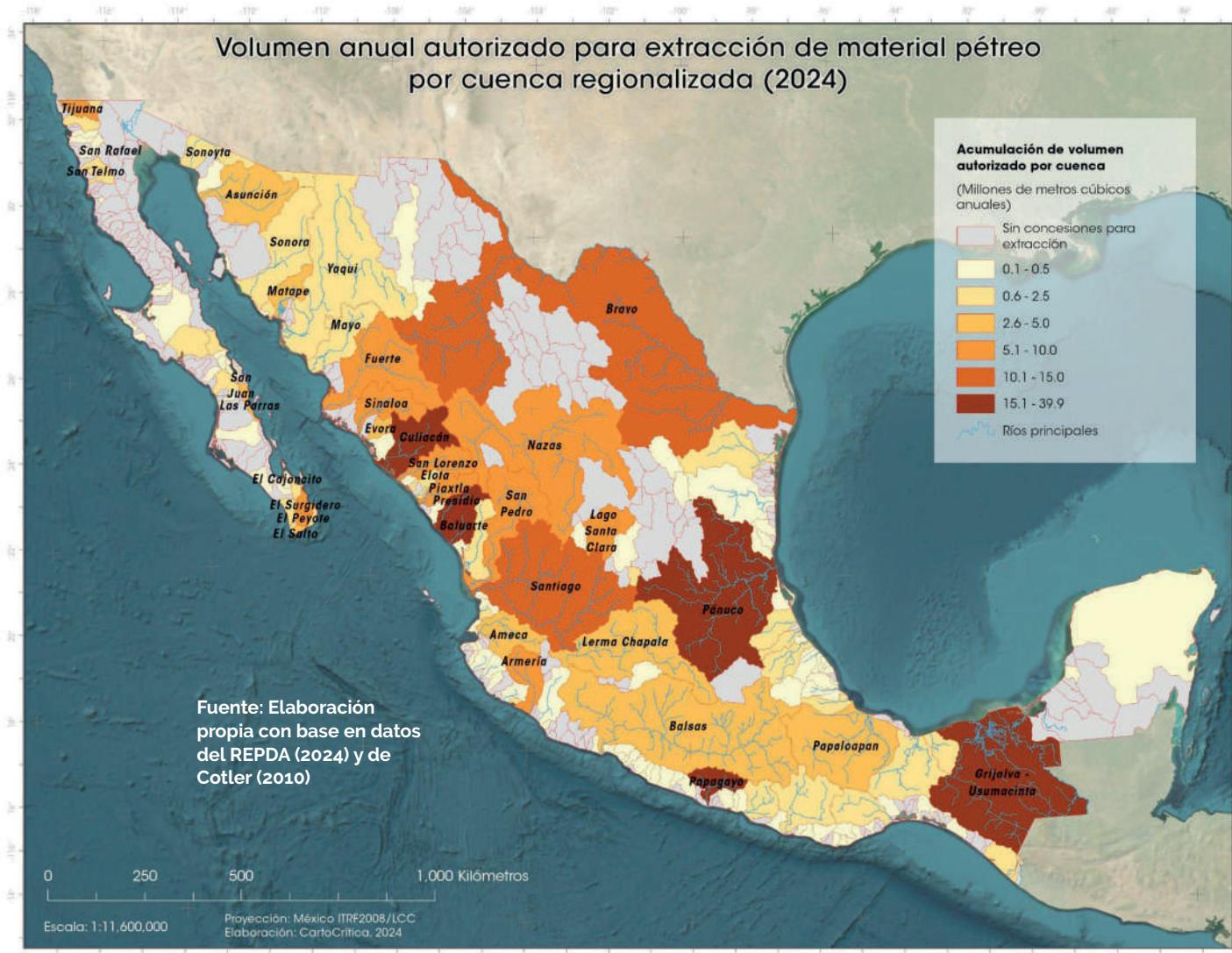
Fuente: Elaboración propia con base en datos del REPDA, 2024

El mapa muestra una gran variedad en los volúmenes autorizados para las concesiones de extracción de material pétreo en lechos fluviales, representados mediante símbolos de distintos tamaños y categorías. De acuerdo con la simbología presentada, 49% de las concesiones autorizadas (2 mil 209 concesiones) tienen un volumen de extracción anual menor

a los 10 mil metros cúbicos. Estas concesiones se encuentran distribuidas ampliamente a lo largo del país, lo que refleja una presencia significativa de actividades de extracción, aunque de menor escala.

En contraste, las concesiones con volúmenes autorizados mayores, especialmente aquellas con más de un millón de metros cúbicos de extracción anual (26 concesiones), están menos distribuidas y se concentran principalmente en ciertas áreas donde la presión extractiva es particularmente alta, así como en áreas donde las condiciones geológicas e hidrográficas son más favorables para la extracción. Esto sugiere que, aunque la cantidad de concesiones puede ser elevada en algunas entidades, el volumen real de extracción varía significativamente, con solo unas pocas concesiones responsables de la mayor parte del volumen total. En resumen, el mapa evidencia la desigual distribución de la actividad extractiva en el país, con áreas específicas que presentan una alta concentración de concesiones y un volumen considerable de extracción.

FIGURA 15. MAPA DEL VOLUMEN ANUAL AUTORIZADO PARA EXTRACCIÓN DE MATERIAL PÉTREO POR CUENCA REGIONALIZADA



El mapa de la Figura 15 presenta el volumen anual autorizado para extracción de material pétreo, agrupado por cuenca regionalizada. Una cuenca regionalizada se define como una agrupación de cuencas menores basada en características geográficas comunes, para facilitar el análisis integral de los impactos acumulativos (Cotler, 2010). Este enfoque permite visualizar un impacto integral acumulado en las cuencas fluviales del país. La regionalización de las cuencas hasta sus puntos de salida al mar facilita comprender cómo la extracción afecta el flujo de sedimentos y cómo estos volúmenes autorizados se acumulan dentro de cada sistema hidrológico. Este enfoque también permite ver claramente cómo se distribuye la presión extractiva en cada cuenca, independientemente del número de permisos individuales otorgados.

Los resultados muestran que la mayor acumulación de extracción se concentra en unas pocas cuencas principales, resaltadas en el mapa.

Entre ellas destacan las cuencas del Grijalva-Usumacinta (12% del volumen nacional concesionado), Río Culiacán (7%), Río Papagayo (6%), Río Pánuco (6%), Río Presidio (6%), Río Baluarte (5%), Río Santiago (4%) y Río Bravo (4%), que juntas representan el 50% del volumen nacional (Figura 16). Estas cuencas, debido a su importancia geográfica, su volumen significativo de extracción y sus características hidrográficas, soportan la mayor parte de la presión extractiva, lo que tiene implicaciones significativas para el transporte de sedimentos hacia sus respectivos puntos de salida al mar.

Es importante recordar que la extracción de sedimentos en cualquier parte de la cuenca puede tener efectos acumulativos que se manifiestan en la zona costera, afectando la disponibilidad de arena en las playas y alterando los ecosistemas costeros.

La siguiente tabla (Figura 16) proporciona información detallada sobre algunas de las cuencas regionalizadas con extracción autorizada. En total, de las 430 cuencas regionalizadas identificadas por Cotler (2010), 163 tienen algún nivel de extracción de material pétreo. Los criterios para incluir las cuencas en la tabla fueron aquellas con un volumen de extracción superior a los 6 millones de metros cúbicos anuales o una intensidad de extracción por cuenca que supera los $50 \text{ m}^3/\text{ha}$. Bajo estos criterios, las cuencas mostradas en la tabla concentran el 72% del volumen nacional autorizado. Es importante destacar que la intensidad de extracción por cuenca (m^3/ha) es un indicador teórico que relaciona el volumen autorizado con el tamaño total de la cuenca regionalizada. Este indicador permite estimar de forma aproximada la presión extractiva sobre la cuenca, ya que el volumen autorizado se está dividiendo entre la superficie completa de la cuenca y no entre las áreas directamente impactadas. Esto significa que no refleja un cálculo directo de la superficie exacta de extracción, sino que ofrece una visión general de la presión potencial ejercida sobre toda la cuenca y la zona costera.

Estos datos permiten no sólo identificar los volúmenes totales de extracción, sino también medir la intensidad del uso de cada cuenca, lo que es clave para entender el impacto acumulativo de las prácticas extractivas sobre el entorno natural.

FIGURA 16: VOLUMEN DE EXTRACCIÓN ANUAL AUTORIZADO POR CUENCA REGIONALIZADA, PORCENTAJE DEL VOLUMEN TOTAL, SUPERFICIE TOTAL DE LA CUENCA, E INTENSIDAD DE EXTRACCIÓN EN M³/HA

Región hidrológica	Cuenca regionalizada	Volumen de extracción anual (millones de m ³)	Porcentaje del volumen nacional	Superficie total de la cuenca (ha)	Intensidad de extracción por cuenca (m ³ /ha)
Grijalva-Usumacinta	Grijalva-Usumacinta	39.9	12%	8,756,617	4.6
Sinaloa	Río Culiacán	22.8	7%	1,901,403	12.0
Costa Chica de Guerrero	Río Papagayo	20.0	6%	754,706	26.4
Panuco	Río Pánuco	19.0	6%	8,965,825	2.1
Presidio-San Pedro	Río Presidio	18.8	6%	676,603	27.8
Presidio-San Pedro	Río Baluarte	17.7	5%	541,842	32.7
Lerma-Santiago	Río Santiago	13.1	4%	7,702,692	1.7
Bravo-Conchos	Río Bravo	11.6	4%	22,368,196	0.5
B.C. Noroeste	Río Tijuana	9.5	3%	319,648	29.8
Sinaloa	Río Sinaloa	8.5	3%	1,327,197	6.4
Nazas-Aguanaval	Río Nazas	8.3	3%	9,177,205	0.9
Sinaloa	Río Piaxtla	8.2	3%	703,995	11.7
Sinaloa	Río Fuerte	7.7	2%	3,639,692	2.1
B.C. Sureste	Arroyo El Peyote	7.1	2%	122,911	57.6
Armería-Coahuayana	Río Armería	6.1	2%	1,032,440	5.9
El Salado	Lago Santa Clara	6.0	2%	1,122,466	5.3
B.C. Sureste	Arroyo San Juan	3.5	1%	63,577	55.1
B.C. Sureste	Arroyo Las Parras	3.4	1%	76,743	44.6
B.C. Sureste	Arroyo El Salto	2.5	1%	47,163	53.4
B.C. Sureste	Arroyo El Cajoncito	2.4	1%	28,820	81.9
Otras cuencas		90.3	28%	125,838,726	0.7
Total		326.5		195,168,468	1.7

Fuente: elaboración propia con base en datos del REPDA (2024) y de Cotler (2010)



Después de analizar los volúmenes de extracción y la superficie de las cuencas, es evidente que la región hidrológica de Baja California Sureste presenta las mayores intensidades de extracción relativa (m^3/ha). Tal es el caso de las cuencas de los arroyos El Cajoncito, Peyote, San Juan y otras, cuya intensidad relativa va desde los 44.6 hasta los 81.9 m^3/ha , estas son las mayores intensidades del país y sobrepasan, por mucho, a la intensidad media nacional que es de 1.7 m^3/ha .

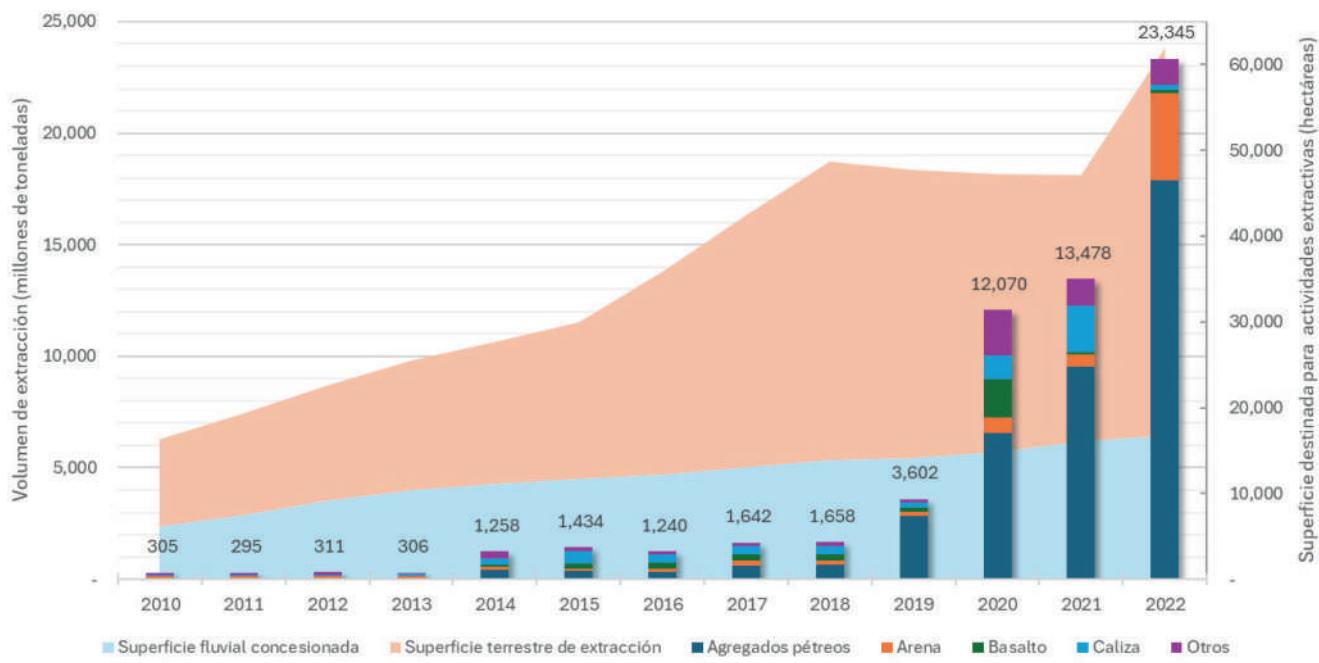
Aunque el volumen de extracción de estas cuencas de la región hidrológica Baja California Sureste no sea tan alto, sí lo es su intensidad con respecto al tamaño de la cuenca, lo cual implica una presión significativa sobre el entorno local. En particular, la elevada intensidad de extracción en cuencas pequeñas puede generar impactos desproporcionados en los ecosistemas fluviales y costeros.

Los mapas y la tabla proporcionan una visión clara de la concentración geográfica de la extracción de material pétreo y sus implicaciones ambientales. La acumulación de volúmenes en cuencas específicas indica la necesidad de una regulación que considere los impactos acumulativos a nivel de cuenca y no solo los efectos individuales de cada concesión. La importancia de proteger los sistemas hidrológicos y asegurar la continuidad del transporte de sedimentos hacia los cuerpos de agua receptores es fundamental para la salud ecológica de las cuencas y las comunidades que dependen de ellas.

5.5 CRECIMIENTO DE LA EXTRACCIÓN EN RÍOS Y CANTERAS

A continuación, la gráfica de la Figura 17 presenta el crecimiento simultáneo de la extracción de materiales y la superficie extractiva, tanto terrestre como fluvial, en México entre 2010 y 2022.

FIGURA 17: CRECIMIENTO SIMULTÁNEO DE LA EXTRACCIÓN DE MATERIALES Y SUPERFICIE EXTRACTIVA EN MÉXICO



Fuente: Elaboración propia con base en datos de los anuarios estadísticos de la minería mexicana del SGM (2011, 2015, 2019, 2022), así como del REPDA (2024) y de imágenes de satélite.

La gráfica muestra el crecimiento simultáneo de la extracción de materiales y la superficie ocupada por actividades extractivas, tanto fluviales como terrestres. Los datos de la superficie fluvial corresponden a lo reportado por el REPDA como superficie concesionada vigente cada año, mientras que los datos de superficie terrestre fueron obtenidos a partir de imágenes satelitales. Cabe señalar que el análisis de imágenes satelitales respecto de la superficie de bancos de material terrestres solo se tiene para los años 2010, 2015, 2018, 2021 y 2024; para esta gráfica se tomó una tendencia lineal para estimar el valor de los años intermedios faltan-

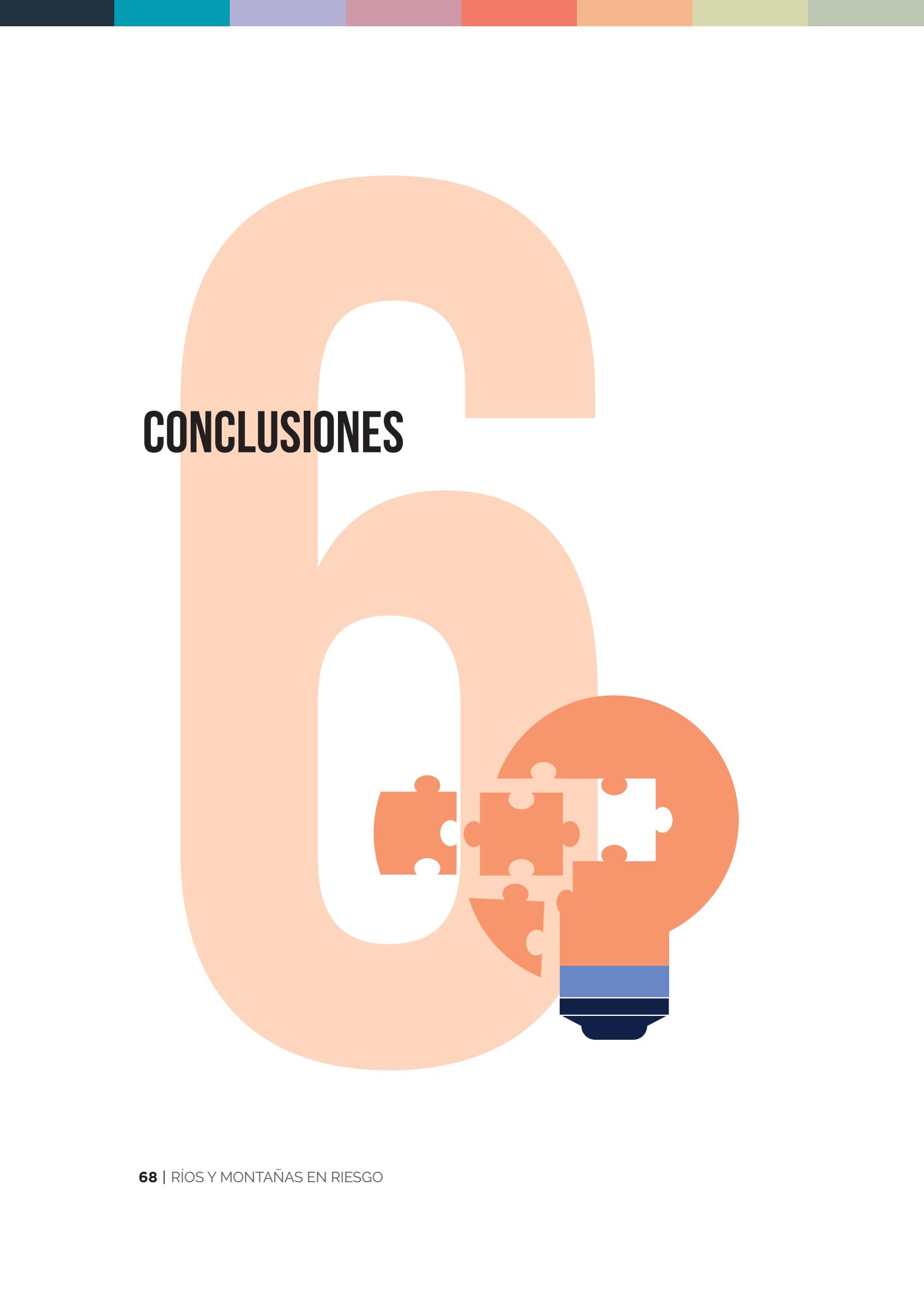
tes. En cuanto al volumen de materiales extraídos, los datos provienen de los anuarios estadísticos del Servicio Geológico Mexicano.

Es importante señalar que existe una discrepancia en la naturaleza de los datos reportados, ya que el REPDA utiliza metros cúbicos, sin especificar claramente la categoría del material, mientras que el SGM presenta la información en toneladas. Esto impide una comparación directa, ya que la conversión de unidades depende del tipo de material y su densidad, haciendo que las estimaciones sean inciertas. Asimismo, el SGM no distingue el origen del material (fluvial o terrestre), lo cual añade un nivel de complejidad al análisis.

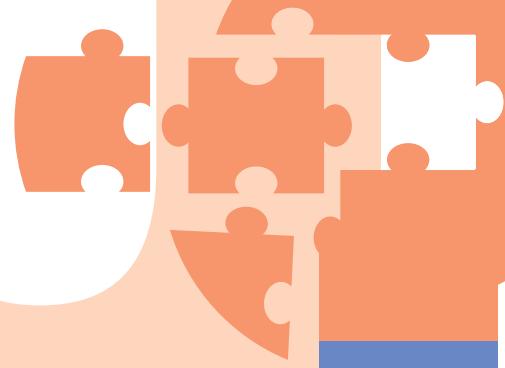
A pesar de estas limitaciones, la gráfica revela una tendencia clara de crecimiento alarmante, tanto en la superficie concesionada como en el volumen de extracción, destacando un aumento especialmente significativo en el volumen a partir de 2020. Este crecimiento acelerado sugiere una intensificación de la presión sobre los recursos naturales del país, tanto en volumen como en superficie. La falta de claridad en la categorización del material extraído subraya la necesidad de mejorar los mecanismos de monitoreo y reporte, para poder realizar un análisis más preciso de los impactos ambientales.

A lo largo del estudio se evidencia que la minería de arena, grava y otros materiales pétreos en México ha experimentado un crecimiento notable en las últimas décadas, con un incremento significativo tanto en la cantidad de bancos terrestres como en los volúmenes de extracción fluvial autorizados. Esta expansión, muchas veces fuera de la regulación oficial, plantea grandes desafíos para la gestión ambiental y la protección de los recursos hídricos del país.





CONCLUSIONES



El estudio ha revelado un crecimiento exponencial de la actividad extractiva en el país. En los últimos 14 años, la superficie ocupada por bancos terrestres de material ha aumentado 619%, pasando de 10 mil 188 hectáreas en 2010 a 73 mil 287 hectáreas en 2024. Este incremento ilustra una creciente presión sobre el territorio nacional, especialmente en zonas cercanas a grandes centros urbanos y ejes de infraestructura. A su vez, se ha observado una gran disparidad entre los registros oficiales y la realidad de la actividad extractiva. Mientras los registros de la administración pública reportan solo 1,701 bancos de material, mediante imágenes satelitales se identificaron 6 mil 447. Esto implica un subregistro significativo y evidencia la amplitud de la actividad presumiblemente ilegal, lo que presenta un gran reto para la fiscalización y regulación del sector.



La distribución de los volúmenes de extracción fluvial es altamente desigual, ya que la mayoría de los volúmenes autorizados se concentran en sólo tres estados: Sinaloa, Baja California Sur y Tabasco, que juntos acumulan el 49% del volumen total extraído de los ríos. Esta concentración genera presiones significativas sobre cuencas específicas, lo que intensifica los desafíos ambientales en estas regiones.

Además, el análisis de la intensidad de la extracción en relación con el tamaño de las cuencas muestra que, aunque algunas cuencas presentan volúmenes de extracción relativamente bajos, la intensidad de dicha extracción es extremadamente alta. Esto es particularmente evidente en la región hidrológica de Baja California Sureste, donde las cuencas pequeñas enfrentan una presión extractiva desproporcionada, lo que afecta negativamente los ecosistemas fluviales y costeros.



Los impactos documentados de la extracción de materiales son inmensos, pero son aún más los relativos a la extracción de arena y grava en los ríos, ya que afecta la integridad de los ecosistemas fluviales, el transporte de sedimentos y la estabilidad de las zonas costeras. Dada la gravedad de estos impactos, es necesario tomar acciones encaminadas a la prohibición definitiva de la extracción de materiales pétreos en ríos y los ríos afectados deben ser objeto de programas de remediación para restaurar su salud ecológica.

La falta de una regulación homogénea en la extracción de materiales en bancos terrestres también genera desafíos importantes para la gestión de los recursos. Es necesario establecer una regulación uniforme que considere los impactos acumulativos y evite la disparidad de criterios entre distintas entidades federativas.

Por último, la falta de fiscalización y transparencia es un problema recurrente. Tanto la Comisión Nacional del Agua (Conagua) como la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa) carecen del personal suficiente para realizar una supervisión efectiva, lo que fomenta la ilegalidad y solapa la proliferación de prácticas extractivas no reguladas, que agravan los impactos ambientales. Es crucial reforzar la capacidad de monitoreo y fiscalización mediante el uso de tecnologías, como el monitoreo satelital, para asegurar una vigilancia más efectiva de las actividades extractivas.

RECOMENDACIONES



- 1. Prohibición Definitiva de la Extracción en Ríos y en Áreas Naturales Protegidas:** La extracción de materiales pétreos en ríos y dentro de Áreas Naturales Protegidas (ANPs) debe ser prohibida definitivamente debido a su alto impacto ambiental, que incluye la alteración del flujo natural de sedimentos, la degradación de los hábitats acuáticos y la afectación de la disponibilidad de arena en las zonas costeras.
- 2. Homologación de la regulación de la extracción en bancos de material:** Se requiere una regulación uniforme para la extracción en bancos de material, reconociendo su carácter federal. Esto facilitaría una gestión más equitativa y eficiente, evitaría disparidades regulatorias entre las diferentes entidades del país y cerraría canales de corrupción.
- 3. Transparencia, registro público y rendición de cuentas:** Es fundamental implementar un sistema de expediente público en línea que permita la identificación clara de permisos y concesiones para la extracción de materiales pétreos, tanto terrestres como fluviales, con información detallada sobre la ubicación, volumen autorizado, tipo de material extraído, vigencia y titular de la concesión. Este sistema deberá estar coordinado entre la Comisión Nacional del Agua (Conagua), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y otras autoridades, facilitando la integración de datos y una respuesta ágil ante irregularidades. Además, es necesario establecer reportes periódicos que obliguen a los concesionarios a declarar el volumen exacto de material extraído, acompañado de un sistema robusto de inspección y vigilancia. Los resultados de las inspecciones y las sanciones impuestas deben ser de acceso público.

co, garantizar la transparencia y la rendición de cuentas en todas las etapas del proceso.

4. **Fiscalización activa y uso de tecnologías de monitoreo:** Es imprescindible aumentar el número de inspectores de Conagua y Profepa, y utilizar tecnologías como el monitoreo satelital para la detección de bancos ilegales y la verificación de volúmenes extraídos. Las imágenes satelitales pueden complementar la labor de campo, permitiendo una vigilancia continua y en tiempo real.
5. **Control del desmonte y gestión integral de cuencas:** Es fundamental establecer límites claros para la superficie afectada por la actividad extractiva, incluyendo caminos de acceso y áreas de desmonte, restringir el porcentaje de superficie desmontada por área específica. Además, el otorgamiento de permisos y las actividades de restauración deben considerar un enfoque integral a nivel de cuenca, evaluando los impactos acumulativos sobre los recursos hídricos para proteger la salud de las cuencas y zonas costeras.
6. **Evaluación ambiental estratégica y monitoreo local:** Implementar la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) a nivel nacional para abordar la fragmentación de hábitats, la alteración de los flujos de agua y la erosión, para garantizar la conectividad de los ecosistemas. Esta evaluación debe enfocarse en limitar la extracción en áreas de alta biodiversidad o con servicios ecosistémicos críticos. Asimismo, es necesario impulsar estudios locales de monitoreo que identifiquen la vulnerabilidad y resiliencia ante la actividad extractiva, asegurando una gestión más eficiente de los recursos.
7. **Restauración ecológica y recuperación de suelos:** Es urgente implementar programas estrictos y vigilados de restauración ecológica y recuperación de suelos, que aseguren la mitigación de los daños causados por las actividades extractivas. Estos programas deben incluir la conservación y restauración del suelo, la recuperación de la vegetación ribereña y la restauración del flujo de sedimentos hacia las zonas costeras, con el fin de evitar la degradación de los ecosistemas marinos y terrestres.

8. **Cooperación internacional:** La experiencia internacional sugiere que la mayoría de los países enfrentan problemas similares con la extracción ilegal de materiales pétreos. Se recomienda establecer acuerdos de cooperación para regular y limitar la exportación de arena y otros materiales pétreos, implementar controles más estrictos y compartir tecnologías y enfoques efectivos para reducir la actividad ilegal y sus impactos.
9. **Cuestionamiento del modelo de consumo actual:** Es necesario replantear el modelo de consumo de materiales pétreos, hacer evidente la demanda creciente e indiscriminada de estos recursos, particularmente en el contexto del crecimiento desmedido de las ciudades impulsado por la especulación inmobiliaria. La reducción en el consumo y la promoción de alternativas sostenibles son fundamentales para disminuir la presión sobre los ecosistemas.

Estas recomendaciones buscan fortalecer la gestión de la minería de materiales pétreos, asegurar la sostenibilidad de los recursos naturales, la protección de los ecosistemas y el respeto por las comunidades locales que dependen de ellos. Es crucial subrayar la justicia ambiental, considerar los impactos de la actividad extractiva en la salud y el modo de vida de las poblaciones afectadas. La transparencia, la fiscalización y el enfoque integral a nivel de cuenca son esenciales para mitigar los impactos negativos de esta actividad extractiva.



BIBLIOGRAFÍA



ARTÍCULOS

- Balcázar, S. (2019). *Bancos de materiales y sus características para su uso en la construcción*. Instituto Politécnico Nacional.
- Bannister, E. (1979). Impact of road networks on southeastern Michigan lakeshore drainage. *Water Resources Research*, 16(6), 1515-1520. Disponible en: <https://doi.org/10.1029/WR015i006p01515>
- Bendixen, M., Iversen, L. L., Best, J., Franks, D. M., Hackney, C. R., Latrubblesse, E. M., & Tusting, L. S. (2021). Sand, gravel, and UN Sustainable Development Goals: Conflicts, synergies, and pathways forward. *One Earth*, 4, 1095-1111. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.07.008>
- Casals, P., Romanyà, J., Cortina, J. et al. CO₂ efflux from a Mediterranean semi-arid forest soil. I. Seasonality and effects of stoniness. *Biogeochemistry* 48, 261–281 (2000). <https://doi.org/10.1023/A:1006289905991>
- Cheng, D., Reiner, D., Yang, F., Cui, C., Meng, J., Shan, Y., Liu, Y., Tao, S., & Guan, D. (2023). Projecting future carbon emissions from cement production in developing countries. *Nature Communications*, 14, Article 43660. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43660-x>
- Cotler Ávalos, H. (2010). *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización*. Instituto Nacional de Ecología.

Crespo, S. (2010). *Materiales de construcción para edificación y obra civil*. Alicante: Club Universitario.

Espinosa Ramírez, M., Andrade Limas, E., Rivera Ortiz, P., & Romero Díaz, A. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía*, 53-54, 77-88. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo_oa?id=40721572006

Gao, X., Li, W., Salman, A., Wang, R., Du, L., Yao, L., & Guo, S. (2019). Impact of topsoil removal on soil CO₂ emission and temperature sensitivity in Chinese Loess Plateau. *Science of The Total Environment*, 135102. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135102>

Gebhardt, S., Wehrmann, T., Muñoz Ruiz, M. A., Maeda, P., Bishop, J., Schramm, M., Kopeinig, R., Cartus, O., Kellndorfer, J., & Ressl, R. (2014). MAD-MEX: Automatic wall-to-wall land cover monitoring for the Mexican REDD-MRV program using all Landsat data. *Remote Sensing*, 6(5), 3923-3943. <https://doi.org/10.3390/rs6053923>

Harmon, T. S., Smoak, J. M., Waters, M. N., et al. (2014). Hydrologic fragmentation-induced eutrophication in Dove Sound, Upper Florida Keys, USA. *Environmental Earth Sciences*, 71(11), 4387-4395. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2832-y>

Hernández, M., Scarr, S., & Diagle, K. (2021, 18 de febrero). The messy business of sand mining explained. *Reuters*. Recuperado en enero de 2024 de <https://www.reuters.com/graphics/GLOBAL-ENVIRONMENT/SAND/ygdpzekyavw/>

ISQ, I. S. (2000). Erosion and Sedimentation on Construction Sites. Urban Technical Note No. 1. Disponible en: <http://www.aiswcd.org/wp-content/uploads/2013/04/u011.pdf>

- Kafu-Quvane, B., & Mlaba, S. (2024). Assessing the impact of quarrying as an environmental ethic crisis: A case study of limestone mining in a rural community. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21, 448. <https://doi.org/10.3390/ijerph21040458>
- Koehnken, L., Rintoul, M. S., Goichot, M., Tickner, D., Loftus, A.-C., & Acreman, M. C. (2020). Impacts of riverine sand mining on freshwater ecosystems: A review of the scientific evidence and guidance for future research. *River Research and Applications*, 36(3), 362–370. <https://doi.org/10.1002/rra.3586>
- Kondolf, G. M. (1994). Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining. *Landscape and Urban Planning*, 28, 225-243. [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(94\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0169-2046(94)90010-8)
- Lee, C., Asbjörnsson, G., Hulthén, E., & Evertsson, M. (2024). The environmental impact of extraction: A holistic review of the quarry lifecycle. *Cleaner Environmental Systems*, 13, 100201. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2024.100201>
- Planet Labs PBC. (2024). *Imágenes*. © 2024 Planet Labs PBC.
- Rentier, E., & Cammeraat, L. (2022). The environmental impacts of river sand mining. *Science of The Total Environment*, 838(1). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155877>
- Secretaría de Economía. (2013). *Estudio de la cadena productiva de los materiales pétreos*. Dirección General de Desarrollo Minero.
- Servicio Geológico Mexicano. (2011, 2015, 2019, 2022). *Anuario estadístico de la minería mexicana*. Secretaría de Economía.
- Servicio Geológico Mexicano. (2022). *Directorio de la minería mexicana 2022*. Secretaría de Economía. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/769348/Directorio_de_la_Mineria_2022.pdf

Spencer, E., & Kovalchik, P. (2007). Heavy construction equipment noise study using dosimetry and time-motion studies. *Journal of the Acoustical Society of America*, 122(6), 3427-3441. <https://doi.org/10.1121/1.2799908>

Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., Wevers, J., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Lesiv, M., Herold, M., Tsendbazar, N. E., Xu, P., Ramoino, F., & Arino, O. (2022). ESA WorldCover 10 m 2021 v200. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7254221>

LEYES Y REGLAMENTOS

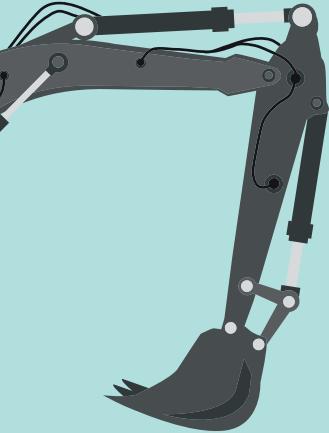
Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2023). *Ley de Aguas Nacionales, 1992*. Última Reforma DOF 08/05/2023. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf>

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2024). *Ley Federal de Derechos, 1981*. Última Reforma DOF 23/04/2024. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFD.pdf>

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2024). *Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, 2018*. Última Reforma DOF 01/04/2024. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDFS.pdf>

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2024). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 1988*. Última Reforma DOF 01/04/2024. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2014). *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental*. Última Reforma DOF 31/10/2014. Obtenido de https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGEEPA_MEIA3



Ríos y montañas en riesgo revela el impacto de la extracción de materiales pétreos en México. Este documento combina datos inéditos, análisis riguroso y casos emblemáticos para mostrar cómo esta actividad afecta los ecosistemas, comunidades y recursos naturales del país. Con mapas detallados y una mirada crítica, esta publicación es un llamado urgente a la acción para proteger el patrimonio y la justicia ambiental en México, antes de que los ríos y montañas del país sean convertidos en territorios inertes por la extracción. CartoCrítica es una asociación civil sin fines de lucro que, con más de una década de experiencia, trabaja para lograr una gestión integral del territorio, promover la transparencia, la justicia ambiental y el respeto a los derechos humanos en México.