



C A P Í T U L O 1 5

DRAGADO EN SISTEMAS LAGUNARES: UN BALANCE CRÍTICO ENTRE BENEFICIOS SOCIOECONÓMICOS Y VULNERABILIDAD AMBIENTAL

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1981325180715>

Asela del Carmen Rodríguez-Varela

Laboratorio de Oceanografía Costera, Carrera de Biología, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida de Los Barrios, No. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, 54090. México
<https://orcid.org/0000-0002-4594-1969>

Rafael Chávez-López

Laboratorio de Ecología Estuarina, Carrera de Biología, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida de Los Barrios, No. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, 54090. México
<https://orcid.org/0000-0002-0936-7365>

Omar Barreto-Segura

Laboratorio de Oceanografía Costera, Carrera de Biología, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida de Los Barrios, No. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, 54090. México
<https://orcid.org/000-0002-9681-9197>

Jaqueline Becerril-Aguilar

Laboratorio de Oceanografía Costera, Carrera de Biología, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida de Los Barrios, No. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, 54090. México

Moisés Velázquez-de los Santos

Laboratorio de Oceanografía Costera, Carrera de Biología, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida de Los Barrios, No. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, 54090. México

Andrea Valeria Díaz-Anacoreta

Laboratorio de Oceanografía Costera, Carrera de Biología, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida de Los Barrios, No. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, 54090. México

RESUMEN: El dragado es una práctica común en la gestión costera, esencial para mantener y ampliar canales de navegación, mitigar inundaciones y recuperar áreas litorales. A pesar de los beneficios socioeconómicos que ofrece, esta actividad tiene impactos significativos en los ecosistemas acuáticos. Este capítulo explora los distintos tipos de dragado, sus propósitos y metodologías, así como sus efectos físicos, químicos y biológicos. Se profundiza en cómo el dragado altera la dinámica de los sedimentos, libera contaminantes, aumenta la turbidez del agua y compromete la biodiversidad, particularmente en ecosistemas frágiles como los manglares, arrecifes de coral y hábitats bentónicos. Además, se analizan los riesgos asociados a la acidificación del agua y a la exposición de sedimentos contaminados, elementos que intensifican la presión sobre estos entornos. A través del caso de estudio del Sistema Lagunar de Mandinga, se ilustra la dualidad de esta actividad. Si bien el dragado ha generado beneficios temporales, como el aumento de la producción pesquera de ostión, también ha inducido alteraciones en la calidad del agua, la dinámica sedimentaria y la biodiversidad. Estos efectos adversos, agravados por los desafíos del cambio climático, incrementan la vulnerabilidad ecológica del sistema y ponen en riesgo los servicios ambientales cruciales para las comunidades locales y la fauna. En conclusión, este trabajo argumenta que el dragado no debe ser considerado únicamente como una solución técnica, sino como una práctica que exige una regulación estricta, un monitoreo continuo y un manejo adaptativo. Solo así se puede garantizar su sostenibilidad a largo plazo y mitigar los impactos negativos en los valiosos ecosistemas lagunares.

PALABRAS CLAVE: Dragado, Sistemas lagunares, Impacto ambiental, Calidad del agua, Sostenibilidad

DREDGED IN LAGOON SYSTEMS: A CRITICAL BALANCE BETWEEN SOCIOECONOMIC BENEFITS AND ENVIRONMENTAL VULNERABILITY

ABSTRACT: Dredging is a common practice in coastal management, essential for maintaining and expanding navigation channels, mitigating floods, and restoring coastal areas. Despite its socioeconomic benefits, this activity exerts significant impacts on aquatic ecosystems. This chapter explores the different types of dredging, their purposes and methodologies, as well as their physical, chemical, and biological effects. Particular attention is given to how dredging alters sediment dynamics, releases contaminants, increases water turbidity, and compromises biodiversity, especially in fragile ecosystems such as mangroves, coral reefs, and benthic habitats. Furthermore, it examines the risks associated with water acidification and the exposure of contaminated sediments, factors that exacerbate pressures on these environments. Through the case study of the Mandinga Lagoon System, the duality

of this activity is illustrated. While dredging has provided temporary benefits, such as an increase in oyster fishery production, it has also induced changes in water quality, sediment dynamics, and biodiversity. These adverse effects, compounded by the challenges of climate change, heighten the system's ecological vulnerability and threaten the environmental services crucial for local communities and wildlife. In conclusion, this work argues that dredging should not be regarded solely as a technical solution, but rather as a practice that requires strict regulation, continuous monitoring, and adaptive management. Only under such conditions can its long-term sustainability be ensured and its negative impacts on valuable lagoon ecosystems mitigated.

KEYWORDS: Dredging, Lagoon systems, Environmental impact, Water quality, Sustainability

INTRODUCCIÓN

El dragado, una técnica de ingeniería subacuática, consiste en la remoción de materiales del fondo de cuerpos de agua para aumentar o mantener su profundidad. Esta práctica, con orígenes en las naciones marítimas europeas, fue esencial para el desarrollo del comercio, facilitando la navegación y el acceso a puertos (Landaeta, 1998; Khader, 2010; Escalante, 2017a,b). Hoy, sigue siendo fundamental para la infraestructura portuaria, el control de inundaciones y la regeneración de costas erosionadas.

Sin embargo, los beneficios técnicos del dragado contrastan con crecientes preocupaciones ambientales. Lo que antes se consideraba una actividad inofensiva, ahora se reconoce como un factor que puede alterar profundamente el equilibrio físico, químico y biológico de los ecosistemas acuáticos. La remoción de sedimentos no solo modifica el paisaje subacuático, sino que también puede liberar contaminantes, aumentar la turbidez y dañar los hábitats vitales para la biodiversidad (Landaeta, 1998; Vargas-Molina, 2014; Alarcón, 2018; Granja et al., 2025).

A pesar de estos riesgos documentados, el dragado a menudo se presenta como una solución rápida para problemas de infraestructura, priorizando los beneficios económicos inmediatos sobre las consecuencias ambientales y sociales a largo plazo. La planificación deficiente puede llevar a impactos ecológicos irreversibles, lo que subraya la necesidad de adaptar las técnicas de dragado a las condiciones físicas y biológicas de cada entorno (Khader, 2010; Escalante, 2017a,b; Vargas-Molina, 2014; Granja et al., 2025).

Este capítulo tiene como objetivo ofrecer una visión crítica y sostenible sobre el dragado. Analizaremos en detalle el proceso, así como los impactos físicos, químicos y biológicos que genera en los cuerpos de agua, tanto durante su ejecución como en las etapas posteriores. Con ello, buscamos contribuir a una mejor comprensión de esta práctica para una gestión más responsable y consciente de sus efectos.

PRINCIPIOS Y PROCESOS DEL DRAGADO

El dragado es el proceso de remoción, succión y descarga de materiales del lecho de cuerpos de agua. Para esta labor se emplean dragas, maquinarias especializadas diseñadas para extraer sedimentos, lodos y escombros. La clasificación de las dragas se basa en su principio de funcionamiento: mecánicas, hidráulicas o mixtas.

- | Dragas mecánicas: Se realiza con equipos que excavan y remueven el material del fondo de forma física, utilizando máquinas de pala, cucharas de almeja o retroexcavadoras, ya sea desde la orilla o montadas sobre embarcaciones (Siordia, 2002; Martínez y Salamanca, 2008). Este método es eficaz para materiales compactos o con grandes rocas.
- | Dragas hidráulicas: Este proceso se basa en la succión del material. La draga mezcla los sedimentos con agua para crear una pulpa líquida que se bombea a través de tuberías hasta un sitio de disposición. Es ideal para materiales sueltos como arena, limo y lodos (Alarcón, 2018).
- | Dragas mixtas: Combina las características de los dos tipos anteriores. Estos equipos utilizan mecanismos de corte o remoción que aflojan el material antes de que sea succionado. Su versatilidad les permite adaptarse a una variedad de materiales y condiciones del lecho acuático (Siordia, 2002).

La selección de la draga adecuada depende directamente del tipo de suelo a remover y del objetivo del proyecto.

En cuanto a los tipos de dragado según su propósito, se dividen en:

- | Dragado de Construcción: Se lleva a cabo para crear nuevas profundidades o ensanchar canales. El material extraído, si es apto, puede ser reutilizado para relleno de terrenos (Casar y Esquivel, 1988).
- | Dragado de Mantenimiento o Conservación: Su objetivo es remover los azolves y sedimentos que se acumulan con el tiempo debido a corrientes o escorrentías. Es una actividad periódica o continua esencial para mantener las profundidades operativas de puertos y vías navegables (IDAC, 2010).

OBJETIVOS Y APLICACIONES DEL DRAGADO

El dragado se lleva a cabo por una variedad de razones, principalmente para facilitar el desarrollo económico y la gestión ambiental. Los objetivos generales más comunes de esta práctica, tal como se documenta en la literatura especializada, incluyen los siguientes (Bray et al., 1997; Casar y Esquivel, 1988; Bray y Cohen, 2010):

Navegación y Construcción: Este es el propósito más tradicional del dragado. Se subdivide en dos categorías principales:

- Dragado de Capital (o de construcción): Para crear o ampliar vías de navegación, puertos y otras instalaciones marítimas, lo que permite el acceso a embarcaciones de mayor calado.
- Dragado de Mantenimiento: Para conservar las profundidades operativas de los canales y puertos ya existentes, eliminando la acumulación de sedimentos.

Provisión de Materiales y Creación de Tierras: El material extraído puede ser un recurso valioso. Se utiliza para obtener materiales de construcción como arena y grava, o para la creación de nuevas tierras (rellenos), que sirven para el desarrollo de zonas industriales, residenciales, aeropuertos, presas o incluso la creación de hábitats para la vida silvestre.

Regeneración de Playas y Protección Costera: El dragado es una herramienta clave para combatir la erosión costera. El material del fondo se emplea para reponer playas, construir dunas protectoras y reforzar la línea de costa contra el embate de las olas y las tormentas.

Recuperación Ambiental: Uno de los usos más modernos y cruciales del dragado es la remediación de ambientes acuáticos contaminados. Este proceso se utiliza para eliminar sedimentos contaminados de canales naveables, estanques de residuos mineros o zonas industriales, contribuyendo a la rehabilitación ecológica de estos sitios.

Prevención de Inundaciones: Para mitigar los riesgos de inundación, el dragado se usa para mejorar o mantener la capacidad de descarga de ríos y canales. Al remover sedimentos, se aumenta el caudal, lo que ayuda a controlar el flujo de agua y puede incluir el cambio de curso de las vías fluviales o la construcción de estructuras de contención.

PROCESO DE DRAGADO: FASES OPERACIONALES

Una obra de dragado es un proceso integral que abarca todas las operaciones necesarias para extraer, transportar y depositar materiales subacuáticos en ambientes marinos, lacustres o fluviales. Este proceso se puede dividir en cuatro etapas principales, que, en conjunto, definen la ejecución completa de un proyecto de dragado (Landaeta, 1998; Bray y Cohen, 2010; Khader, 2010; Granja et al., 2025).

1. Tratamiento previo del material: En algunos casos, la naturaleza del material a dragar (principalmente rocas o suelos muy compactos) no permite una excavación directa. En estas situaciones, es necesario realizar una etapa de quebrantamiento o fragmentación previa para facilitar su remoción posterior.

2. Extracción del material: Esta es la fase central del proceso. Consiste en la remoción del material del fondo y su elevación hasta el sistema de transporte. Para ello se utiliza una draga, que puede ser de tipo mecánico, hidráulico o mixto, según las características del material a extraer y los requerimientos del proyecto.
3. Transporte del material: Una vez extraído, el material debe ser trasladado desde el área de dragado hasta el sitio de disposición. Las opciones de transporte varían:
 - | En la misma draga: Algunas dragas tienen capacidad de autocarga y transportan el material ellas mismas.
 - | Mediante embarcaciones auxiliares: El material se transfiere a otras embarcaciones (como barcazas o gabarras) que lo llevan a la zona de depósito.
 - | Por tuberías: Una mezcla de agua y sedimentos se bombea a través de tuberías que pueden estar flotando sobre la superficie o instaladas en el fondo. El bombeo puede ser impulsado por la misma draga o por estaciones auxiliares.
4. Descarga y disposición: En la última etapa, el material se descarga en el sitio de depósito final, que puede ser en tierra firme o en el agua. Los métodos de descarga incluyen:
 - | Por fondo: El material se libera al mar por gravedad desde embarcaciones con compuertas inferiores.
 - | Con cucharas: El material es vaciado del medio de transporte utilizando cucharas mecánicas.
 - | Por tuberías y bombas: El material es impulsado a través de tuberías desde la embarcación de transporte hasta el área de vertido, a menudo con la ayuda de bombas.

DISPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL DRAGADO

El material extraído durante el dragado suele ser sedimento que forma parte integral de la dinámica natural de un río, estuario o zona costera. En estos casos, es preferible devolverlo al mismo sistema sedimentario en una ubicación adecuada. La disposición del material puede ser en cuerpos de agua o en tierra firme, y la elección depende de varios factores críticos: las características fisicoquímicas del sedimento, el volumen total, las normativas ambientales vigentes y la disponibilidad de sitios de descarga cercanos. Generalmente, la descarga terrestre en áreas confinadas es la opción más segura, ya que permite un mayor control y minimiza los impactos ambientales. La reubicación y potencial reutilización de estos materiales deben evaluarse cuidadosamente desde una perspectiva de ingeniería y sostenibilidad ambiental (Casar y Esquivel, 1998; Siordia, 2002; Martínez y Salamanca, 2008).

TIPOS DE MATERIAL Y SU IMPLICACIÓN AMBIENTAL

Las características del material a dragar son determinantes para el diseño del proyecto y su impacto. Las principales categorías de suelos asociadas al dragado incluyen: suelos orgánicos, arcillas, limos, gravas, rocas, rocas fracturadas, suelos cementados y corales. Dentro de cada categoría, las propiedades físicas como el tamaño de partícula, la naturaleza y la plasticidad del material son cruciales. Estos factores no solo definen la selección del equipo de dragado más efectivo, sino también el uso final o la disposición del material. De igual forma, las características químicas y biológicas son de suma importancia, ya que requieren estudios exhaustivos para determinar si el material es apto para un destino específico, especialmente si contiene contaminantes (Bray et al., 1997; Bray y Cohen, 2010; IADC, 2010).

El grado de impacto ambiental del dragado está directamente relacionado con el tipo de material. Los sedimentos libres de contaminantes pueden manejarse y reutilizarse con relativa facilidad para diversos fines, como rellenos o proyectos de restauración de hábitats. Por el contrario, los sedimentos contaminados exigen un manejo mucho más riguroso, que puede incluir tratamientos específicos y restricciones severas sobre su destino final. Aunque muchos de estos materiales pueden ser aprovechados tras una evaluación adecuada, algunos pueden ser tan peligrosos que se requiere su confinamiento, lo que los descarta para cualquier reutilización (IADC, 2010).

IMPACTO DEL DRAGADO EN LA DINÁMICA DEL AGUA Y LOS SEDIMENTOS

El dragado, a pesar de su utilidad, representa una alteración directa en los procesos naturales de transporte y deposición de sedimentos en los ecosistemas acuáticos. Estas modificaciones resultan en cambios morfológicos en el fondo, la redistribución de sedimentos en suspensión y la alteración de los patrones de circulación del agua (Fraser et al., 2017; Granja et al., 2025).

Una de las principales consecuencias es la modificación del perfil batimétrico y la carga sedimentaria. Al remover grandes volúmenes de material, se puede generar inestabilidad en el lecho, especialmente en sustratos fangosos y poco consolidados. Estos sedimentos finos, una vez removidos, tienden a permanecer en suspensión por períodos prolongados, facilitando su transporte por las corrientes hacia otras áreas, donde pueden acumularse y crear nuevos focos de sedimentación. El dragado también modifica la distribución de las velocidades de flujo, afectando los patrones de erosión y deposición. Mientras que en condiciones naturales los sedimentos se acumulan en zonas de baja energía hidrodinámica, la alteración del perfil del fondo puede generar nuevas áreas de recirculación o aceleración del flujo, intensificando la erosión en ciertos sectores y promoviendo la deposición en otros (Essink, 1999; Erftemeijer y Lewis, 2006; Cervantes-Guerra et al., 2017; Fraser et al., 2017).

SEDIMENTOS CONTAMINADOS Y SU MANEJO

El agua es el principal medio de transporte y el entorno donde los contaminantes sufren diversas transformaciones químicas y físicas. Los sedimentos de puertos y canales cercanos a centros urbanos e industriales, con alto tráfico comercial y descargas de aguas residuales, a menudo presentan niveles elevados de contaminación. Esto se debe a que las partículas finas, como las arcillas y los limos, con sus cargas negativas, actúan como eficientes absorbentes de contaminantes (Essink et al., 1992; Landaeta, 1998; Erfemeijer y Lewis, 2006; Martínez y Salamanca, 2008).

El dragado y la descarga de estos materiales no introducen nuevos contaminantes al sistema; sin embargo, pueden resuspender y redistribuir los sedimentos ya contaminados, con el riesgo de afectar áreas previamente prístinas.

RIESGOS Y FACTORES DE DISPERSIÓN

Durante y después del dragado, puede ocurrir una pérdida incontrolada de sedimentos finos contaminados, lo que genera contaminación en las zonas de depósito. La extensión del área afectada por esta dispersión depende de múltiples factores:

- | Tipo y concentración de contaminantes: Los más tóxicos y en mayores concentraciones representan un riesgo superior.
- | Mecanismos de transporte: Las corrientes y las velocidades de sedimentación de las partículas determinan qué tan lejos se moverán.
- | Factores fisicoquímicos del agua: La salinidad, la temperatura y el pH influyen en la solubilidad y reactividad de los contaminantes.
- | Propiedades de los sedimentos: Las arcillas y los limos tienden a permanecer en suspensión más tiempo, aumentando el riesgo de dispersión (Erfemeijer y Lewis, 2006; Martínez y Salamanca, 2008).

Para evitar o minimizar los impactos ambientales del dragado de sedimentos contaminados, la recomendación principal es el control en el origen. Esto implica una gestión rigurosa de las fuentes de contaminación, como las descargas industriales, las aguas residuales sin tratamiento y las actividades agrícolas. Al reducir los contaminantes en su fuente, se disminuye la carga de polución en los sedimentos, facilitando su manejo y reduciendo los riesgos asociados al dragado (Landaeta, 1998).

IMPACTO DEL DRAGADO EN LA CALIDAD DEL AGUA

El dragado no solo altera la morfología del lecho acuático, sino que también tiene efectos significativos sobre la calidad del agua, especialmente en sistemas ecológicamente sensibles como los estuarios. Los principales impactos incluyen el

aumento de la turbidez, la reducción del oxígeno disuelto, la liberación de nutrientes y la alteración de parámetros fisicoquímicos como el pH, la salinidad y la temperatura (Granja et al., 2025).

Uno de los cambios físicos más importantes es el aumento de la turbidez. Durante las operaciones de dragado, los sedimentos del fondo se resuspenden en la columna de agua. Aunque las partículas más pesadas, como la arena y la grava, se asientan rápidamente, los sedimentos más finos (arcillas y limos) pueden permanecer en suspensión por períodos prolongados. Esta pluma de sedimento puede ser transportada por las corrientes y el oleaje a lo largo de grandes distancias, dispersándose sobre vastas áreas. La elevada turbidez limita la penetración de la luz solar en el agua, lo que reduce la fotosíntesis en organismos como el fitoplancton y los pastos marinos. Esta disminución en la producción primaria tiene un efecto negativo en la base de la cadena trófica, afectando a la salud general del ecosistema acuático (Essink et al., 1992; Morton, 1997; Landaeta, 1998; Erfemeijer y Lewis, 2006; Khader, 2010; Granja et al., 2025).

Otro impacto importante del dragado es la liberación de materia orgánica y nutrientes (como nitrógeno y fósforo) que estaban atrapados en los sedimentos. Cuando estos compuestos se disuelven en el agua, pueden desencadenar un proceso de eutrofización, que es el crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas. Este fenómeno aumenta la demanda bioquímica de oxígeno, lo que puede llevar a condiciones de hipoxia o anoxia (bajos o nulos niveles de oxígeno), poniendo en riesgo la vida acuática. La disminución del oxígeno disuelto afecta especialmente a los organismos bentónicos y a especies de valor comercial, comprometiendo su supervivencia y salud (Essink, 1999; Jones et al., 2015; Granja et al., 2025).

Aunque uno de los objetivos del dragado es la limpieza de contaminantes, el proceso mecánico puede resuspender y aumentar la concentración de contaminantes ya existentes en el sedimento, como los metales pesados. Esta resuspensión puede provocar que los contaminantes pasen de un estado sólido a una forma disuelta, aumentando su biodisponibilidad y toxicidad en la columna de agua (Montigny et al., 2025).

El pH del agua también puede verse afectado. Si los sedimentos contienen compuestos sulfurosos, su oxidación durante el dragado puede generar condiciones ácidas, incrementando el estrés ambiental. Esta acidificación altera la solubilidad de los metales pesados y la disponibilidad de nutrientes, elevando la toxicidad del agua para las especies sensibles. Además, el dragado puede provocar cambios en la salinidad y temperatura superficial al modificar los patrones de circulación del agua. Aunque estas variaciones pueden ser sutiles, tienen el potencial de afectar los procesos fisiológicos de organismos tolerantes a amplios rangos de salinidad y modificar la distribución de las especies en el ecosistema (Essink, 1996; Powilleit et al., 2009; Erfemeijer et al., 2012; Granja et al., 2025).

ACIDIFICACIÓN DEL AGUA

La acidificación del agua es un problema que, aunque principalmente impulsado por las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera, también se intensifica por actividades como el dragado. La remoción de sedimentos del fondo expone compuestos químicos que alteran la acidez del medio, amenazando la estabilidad biogeoquímica de los ecosistemas acuáticos y su biodiversidad (Alarcón, 2018; Granja et al., 2025; NOAA, 2025).

Durante el dragado, los sedimentos anóxicos, ricos en sulfuros de hierro y materia orgánica, se oxidan al entrar en contacto con el oxígeno del agua. Este proceso químico libera ácido sulfúrico y otros compuestos que disminuyen el pH del agua. Un pH más bajo reduce la capacidad del agua para retener oxígeno, aumentando el riesgo de condiciones hipóxicas o anóxicas, las cuales son muy perjudiciales para la vida acuática. La acidificación también afecta procesos biológicos cruciales como la nitrificación y la fisiología de los organismos acuáticos (Ampuero, 2018; NOAA, 2025).

La acidificación provocada por el dragado tiene un impacto directo en las comunidades biológicas. Por ejemplo, los organismos bentónicos que dependen de estructuras de carbonato de calcio para su protección, como conchas o exoesqueletos, pueden sufrir la disolución de estas estructuras. En el mejor de los casos, estos organismos deben gastar más energía para mantener y crecer, desviando recursos de otras funciones vitales (Ampuero, 2018; NOAA, 2025).

Además, la acidificación puede alterar la tasa de descomposición de la materia orgánica y, de manera crítica, aumentar la movilidad y toxicidad de metales pesados como el cadmio y el mercurio, que pueden acumularse en la cadena alimentaria y tener efectos tóxicos en la fauna (European Environment Agency, 2021; Granja et al., 2025; NOAA, 2025).

IMPACTOS DEL DRAGADO EN LA BIODIVERSIDAD Y LOS HÁBITATS ACUÁTICOS

La biodiversidad en los ecosistemas acuáticos está estrechamente ligada a la estabilidad de los hábitats bentónicos, la calidad del agua y la continuidad de procesos ecológicos como la migración, la reproducción y la alimentación. Las actividades de dragado representan una perturbación directa y significativa para estos elementos. Al modificar la estructura física del fondo y la columna de agua, el dragado afecta tanto a organismos sésiles (inmóviles) como a especies móviles en sus etapas de larvas, juveniles y adultos. Los efectos del dragado incluyen la pérdida de vegetación, ya sea emergente o sumergida, el estrés ambiental por el aumento de la turbidez y la sedimentación, y la alteración a largo plazo de la hidrología y los patrones de nutrientes y contaminantes (Landaeta, 1998; Erftemeijer et al., 2013; Wenger et al., 2017).

IMPACTO EN LOS ORGANISMOS Y HÁBITATOS BENTÓNICOS

Uno de los principales impactos del dragado es la destrucción y alteración del hábitat bentónico. Los sedimentos del fondo albergan una gran variedad de organismos como macroinvertebrados, moluscos, poliquetos y crustáceos, los cuales cumplen funciones ecológicas cruciales. Estos organismos son clave para la remineralización de nutrientes y son la base de la cadena alimentaria para peces y aves acuáticas. La remoción física de este sustrato conduce a la pérdida directa de estas comunidades. Muchas de estas especies tienen baja movilidad y una capacidad limitada para recuperarse, lo que resulta en una drástica disminución de la biodiversidad local (Essink, 1996; Landaeta, 1998; Alarcón, 2018; Granja et al., 2025).

IMPACTO EN LA ICTIOFAUNA Y MICROORGANISMOS

El dragado tiene efectos significativos en los peces, afectando su comportamiento y supervivencia. La turbidez generada por los sedimentos en suspensión perjudica a especies planctívoras y piscívoras, ya que reduce su agudeza visual y, por ende, su éxito en la búsqueda de alimento (Utne-Palm, 2002).

Además de los efectos en la alimentación, el dragado altera los patrones de migración y reproducción de los peces estuarinos y costeros. El aumento del ruido y las vibraciones de la maquinaria, junto con la degradación del hábitat, son factores que causan estrés y pueden desplazar a las poblaciones de peces de sus áreas de desove y crianza esenciales (Zamor y Grossman, 2007; Wenger et al., 2017).

El impacto del dragado no se limita a la macrofauna; también afecta a la base de la red trófica. La remoción de sedimentos altera las concentraciones de materia orgánica disuelta, lo que modifica la composición de las comunidades de microorganismos. Estos cambios a nivel microscópico pueden desencadenar una cascada de efectos en la dinámica del ecosistema, alterando la disponibilidad de nutrientes y la salud general del sistema acuático (Chen et al., 2025).

IMPACTO EN LOS MAMÍFEROS MARINOS

El dragado afecta a mamíferos marinos como ballenas, delfines y manatíes, principalmente a través de tres mecanismos: colisiones con embarcaciones, contaminación acústica y aumento de la turbidez. Las colisiones son un riesgo significativo, especialmente para crías y ejemplares jóvenes. Si bien la probabilidad de colisión varía según la especie y el comportamiento, las ballenas que se alimentan o descansan son más vulnerables. Las tasas de colisión suelen aumentar durante los períodos de alimentación intensa, ya que los animales están distraídos y menos atentos al tráfico marítimo (Laist et al., 2001; Panigda et al., 2006; Van Waerebeek et al., 2007; Neilson, 2012; Tod et al., 2015).

El ruido generado por el dragado es un factor de estrés crucial para los mamíferos marinos, en particular para los cetáceos, que dependen de la ecolocalización para navegar, cazar y comunicarse. Los efectos del ruido pueden ir desde cambios temporales en el umbral auditivo hasta lesiones permanentes. El enmascaramiento acústico (cuando el ruido de fondo bloquea los sonidos importantes) puede obligar a los animales a alterar sus señales, afectando su éxito reproductivo y la cohesión de las poblaciones. Este estrés acústico también puede reducir la eficiencia de la búsqueda de alimento y aumentar la susceptibilidad a enfermedades (Luck et al., 2009; Mooney et al., 2009; Tod et al., 2015). Aunque la turbidez generada por el dragado también tiene un impacto, este es generalmente mínimo para las especies que habitan en entornos naturalmente oscuros (Hitchcock y Bell, 2004).

IMPACTO EN ECOSISTEMAS DE MANGLAR

El dragado representa una amenaza crítica para los ecosistemas de manglar, que son esenciales como zonas de reproducción, refugio y alimentación para numerosas especies. Aunque el dragado no siempre se realiza directamente sobre estos ecosistemas, la dispersión de sedimentos, así como las alteraciones en la salinidad y los niveles de oxígeno, pueden comprometer su estructura ecológica.

Una de las consecuencias más graves es la inundación provocada por el dragado y los trabajos de relleno. Esta acumulación de agua estancada cubre las raíces aéreas de los manglares, impidiendo el paso del oxígeno a las raíces aéreas especializadas y a los sistemas radiculares subterráneos. Con el tiempo, esta falta de oxígeno puede llevar a la muerte de las comunidades vegetales.

Además, los suelos de manglar que bordean ambientes estuarinos son ricos en sulfuros de hierro. Cuando el dragado expone estos sedimentos al oxígeno, se inicián reacciones de oxidación que resultan en la acidificación del agua, un proceso que se ha relacionado con la muerte masiva de peces y vegetación (Fraser et al., 2017; Olaiwola et al., 2018; Moreira et al., 2021; Granja et al., 2025).

IMPACTO EN ARRECIFES DE CORAL

Las operaciones de dragado en zonas cercanas a arrecifes de coral pueden tener efectos directos e indirectos graves. La gravedad del impacto en los corales está directamente relacionada con la intensidad, duración y frecuencia de la exposición al aumento de la turbidez y la sedimentación. La capacidad de un arrecife para resistir estos impactos depende de su resiliencia previa y de las condiciones ecológicas naturales (Anthony y Lacombe, 2000; Babcock y Smith, 2000; Bray y Clarck, 2004; Anthony et al., 2007; Erftemeijer et al., 2012).

El dragado contribuye a la pérdida de arrecifes de coral, ya sea directamente (por remoción o entierro) o indirectamente (por el estrés que genera en los corales). Las altas concentraciones de sedimentos en suspensión causan estrés a los pólipos de coral y a sus algas simbiontes, ya que la atenuación de la luz solar por la turbidez limita la fotosíntesis. La turbidez prolongada puede provocar estrés fisiológico, necrosis del tejido coralino y la proliferación de bacterias patógenas (Anthony y Lacombe, 2000; Babcock y Smith, 2000; Bray y Clarck, 2004; Anthony et al., 2007; Erftemeijer et al., 2012).

Además, el aumento de la sedimentación puede asfixiar y enterrar a los pólipos, dificultando el asentamiento de nuevas larvas de coral y comprometiendo la regeneración del arrecife. La supervivencia de los corales a altas tasas de sedimentación varía: algunas especies sensibles pueden no sobrevivir más de 24 horas, mientras que otras más tolerantes pueden aguantar semanas (más de 14 días de enterramiento completo). La sensibilidad también depende de factores como el tipo de crecimiento, el tamaño del pólipo y los mecanismos de defensa del coral. A pesar de los avances, la complejidad de estos efectos hace que el impacto total del dragado en los arrecifes esté lejos de ser comprendido por completo (Anthony y Lacombe, 2000; Babcock y Smith, 2000; Bray y Clarck, 2004; Anthony et al., 2007; Erftemeijer et al., 2012).

Ante estos riesgos, es fundamental que todo proyecto de dragado incluya evaluaciones de impacto ambiental exhaustivas y planes de mitigación efectivos. Para proteger la biodiversidad y sus hábitats, es crucial adoptar tecnologías de dragado con menor impacto ecológico, delimitar zonas de exclusión y programar los trabajos fuera de los períodos reproductivos críticos. Estas estrategias son esenciales para reducir los efectos negativos sobre los ecosistemas acuáticos y la fauna que los habita (Granja et al., 2025).

EL CASO DEL SISTEMA LAGUNAR DE MANDINGA, VERACRUZ, MÉXICO

El dragado constituye una práctica recurrente en sistemas costeros y lagunares, orientada a mejorar la navegación, favorecer la conectividad hidrológica o incrementar la productividad pesquera. No obstante, sus efectos sobre los ecosistemas resultan profundamente controvertidos (Escalante, 2017a,b). En el Sistema Lagunar de Mandinga (SLM), Veracruz, esta intervención se ha llevado a cabo de manera reiterada, generando, por un lado, beneficios económicos y productivos, pero también impactos ambientales que amenazan la integridad ecológica del sistema.

La información disponible acerca de los efectos del dragado en los sistemas costeros de Veracruz es fragmentaria y, en el caso específico del SLM, prácticamente inexistente. Sin embargo, testimonios de los habitantes señalan que esta práctica se

ha efectuado de forma continua desde la primera intervención, ocurrida hace más de cincuenta años (Aldasoro-Said, 2015; González-Vázquez et al., 2018; Rodríguez-Varela et al., 2022). Asimismo, son escasos los estudios que han documentado las variaciones espacio-temporales del ecosistema derivadas de estos impactos antropogénicos.

Con base en la revisión de literatura y fuentes oficiales, se identificó que al menos se han registrado ocho eventos de dragado en el SLM (Tabla 1).

Año	Evento	Fuente/Autor
1979	Según los informantes del estudio sobre la microcuencia de Mandinga y Matoza, el primer dragado se realizó en 1979.	Aldasoro-Said (2015)
2003	En enero de 2003, la Concesionaria del proyecto <i>El Dorado Marina Residencial</i> obtuvo una autorización federal de dragado en el Estero de Mandinga, mediante la Dirección General de Puertos, para realizar trabajos de excavación necesarios para construir canales interiores en el fraccionamiento.	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2007)
2010	Se realizó muestreo durante marzo de 2010 y estaba realizando dragado en La Larga una de las principales lagunas del SLM.	Rodriguez-Varela et al., (2022)
2014	Trabajos realizados por la empresa privada <i>Grupo IMPSA</i> .	Grupo IMPSA (s.f.)
2018	Trabajos de dragados mencionados por los autores en 2018	Rodriguez-Varela et al., (2022)
2020	El Organismo de Cuenca Golfo Centro (OCGC), dependiente de Conagua, anunció el inicio de los procesos de colaboración con la Secretaría de Marina (Semar) para el dragado de la Laguna de Mandinga.	Meganoticias (2020), Redacción Quadratín Veracruz (2020).
2024	El Presidente de la Federación de Pescadores de Veracruz Bernardo Hernández Guzmán manifiesta en una entrevista con medios de comunicación locales sobre los beneficios de los dragados en la producción pesquera local.	Reporte 7 Veracruz (2024)
SA	La empresa Dragados Medellín S.A. de C.V., manifiesta trabajos de dragado en Mandinga en su portafolio de servicios en línea.	Dragados Medellín S.A. de C.V. (s.f.)

Tabla 1 - Cronología de los dragados registrados en el SLM y fuentes de información consultadas.

A pesar de la recurrencia de los eventos de dragado en el SLM, los estudios que recopilan información histórica y ambiental sobre sus impactos son escasos. Un ejemplo es el trabajo de Lara-Domínguez et al. (2009), quienes realizaron una caracterización ecológica del SLM en el marco del programa de identificación de sitios de manglar con relevancia biológica y necesidades de rehabilitación ecológica impulsado por la CONABIO. Aunque los autores no mencionan de manera explícita el dragado como un factor de presión, sí señalan alteraciones en los flujos hidrológicos naturales, las cuales pueden considerarse una consecuencia directa de esta práctica en sistemas costeros.

En la justificación para su designación como sitio prioritario, los autores destacan que el SLM ha enfrentado múltiples impactos y amenazas, entre ellos: el cambio de uso de suelo hacia la ganadería, la expansión urbana, las descargas de drenaje provenientes de la zona conurbada de Boca del Río, la contaminación por residuos sólidos, agroquímicos y fertilizantes, el daño ocasionado por embarcaciones y el desarrollo industrial vinculado al Puerto de Veracruz. Asimismo, identifican un alto grado de fragmentación del hábitat, modificaciones en la densidad de las poblaciones, afectaciones derivadas del turismo y la construcción de caminos. Estos hallazgos se sustentan en una serie temporal de mapas comparativos de uso de suelo y cobertura vegetal (1976, 2005 y 2010), los cuales no solo documentan los cambios en la vegetación, sino que también constituyen una herramienta diagnóstica para evaluar las transformaciones en el medio terrestre de Mandinga antes y después de los impactos antropogénicos.

Por su parte, Aburto-Ríos (2019) realizó un diagnóstico ambiental del SLM en el que registró diversos impactos antropogénicos, señalando de manera explícita al dragado como uno de ellos. De forma complementaria, González-Vázquez et al. (2019) identificaron que uno de los principales riesgos para la integridad de las lagunas del sistema es la alteración de su circulación interna, derivada tanto de dragados inadecuados como del desvío de cauces naturales de los ríos. Estos autores también subrayan la relevancia del transporte de sedimentos y su influencia en la dinámica lagunar, ya que condiciona la circulación del agua, la concentración de salinidad, la acumulación de contaminantes de origen antropogénico y, en general, el deterioro de las condiciones ecológicas del ecosistema.

Otros estudios centrados en el SLM han vinculado los eventos de dragado, registrados a lo largo de más de cinco décadas, con variaciones espacio-temporales en la hidrología y la composición sedimentológica del sistema (González-Vázquez et al., 2019; Rodríguez-Varela et al., 2022). Un ejemplo de ello es el dragado realizado en 2010 en la Laguna de La Larga, el cual ocasionó una disminución significativa de la fracción arena, acompañada de un incremento de la fracción lodo y de una menor transparencia del agua. Este proceso generó la resuspensión de sedimentos, con posibles efectos tóxicos que afectan desde niveles celulares hasta poblacionales e incluso representan riesgos potenciales para la salud humana (Quiala et al., 2015). Dicho evento constituye uno de los cambios temporales más relevantes documentados en el SLM (Aldasoro-Said, 2015). No obstante, tras este dragado, los niveles de la fracción arena y otras características ambientales del sistema se recuperaron, alcanzando valores superiores al 60%.

De manera complementaria, al analizar la relación entre el dragado de 2010 y la incidencia de especies marinas en el sistema lagunar, se observó un incremento notable en la biodiversidad, pasando de ocho grupos registrados en 2010 a 26 grupos colectados apenas un año después (Rodríguez-Varela et al., 2019).

En este contexto, se considera que los cambios antropogénicos -y en particular los dragados- han generado un desequilibrio en el SLM, afectando la vida acuática, la circulación interna y representando un riesgo significativo para la producción pesquera y ostrícola. A ello se suma la marcada variabilidad en la profundidad del sistema, consecuencia de políticas de dragado inadecuadas, que han favorecido la acumulación de sedimentos en ciertos sectores. Dichas acumulaciones han dado lugar a estratos con distintas velocidades de flujo, variaciones en la salinidad, circulación limitada y un deterioro generalizado del ecosistema (González-Vázquez et al., 2019).

No obstante, es importante señalar que los eventos de dragado en el SLM, si bien han generado múltiples efectos colaterales, no siempre han tenido consecuencias negativas. Aldasoro-Said (2015), por ejemplo, llevó a cabo una reconstrucción histórica y ambiental de la microcuenca de Mandinga, destacando cómo el desarrollo socioeconómico ha ejercido presiones sobre el ecosistema y lo ha convertido en un área prioritaria para acciones de conservación y rehabilitación. Según los testimonios recogidos en dicho estudio, en 1979 se efectuó el primer dragado de los cuerpos de agua del sistema lagunar con el propósito de aumentar la producción pesquera. Esta intervención permitió un incremento temporal en la captura de especies comerciales de camarón y peces, aunque provocó la desaparición de los bancos de almeja, probablemente como consecuencia de alteraciones en la mezcla de agua dulce y salada. Por el contrario, la producción de ostión (*Crassostrea virginica*) se incrementó de manera significativa, convirtiéndose en la pesquería más relevante del sistema lagunar tras este primer dragado.

Los testimonios comunitarios destacan dos efectos centrales: por un lado, la drástica pérdida de los bancos de almeja -percibida por los pobladores como una "catástrofe natural"- y, por otro, el incremento en la disponibilidad de peces, camarón y, especialmente, ostión, especie que hasta hoy caracteriza al ecosistema y constituye un atractivo turístico de gran importancia regional. Posteriormente, a solo tres años del primer dragado, autores como Arreguín-Sánchez (1982) recomendaron realizar el dragado del Estero de Mandinga y establecer una comunicación directa con el mar, con el fin de favorecer el ingreso y la circulación de masas de agua eurihalinas, lo cual también facilitaría la entrada de un mayor número de especies marinas.

Este escenario resulta particularmente relevante, ya que las afectaciones antropogénicas incrementan la vulnerabilidad ecológica de los sistemas costeros frente al cambio climático, cuyos efectos no siempre son evidentes a corto plazo. Aunque atribuir un evento específico al cambio climático antropogénico resulta complejo, es posible estimar cómo este modifica la probabilidad de ocurrencia de determinados fenómenos (IPCC, 2021). Asimismo, el cambio climático puede generar impactos indirectos mediante alteraciones en la productividad, la estructura y la composición de los ecosistemas marinos, lo que a su vez incrementa su vulnerabilidad (Brander, 2010).

En el caso del SLM, Aldeco-Ramírez (2020) analizó los impactos potenciales del cambio climático y concluyó que las amenazas más significativas derivan de actividades humanas, entre las que destacan el dragado, la contaminación, la tala ilegal de manglar y el acelerado cambio de uso de suelo hacia zonas urbanas y comerciales.

El análisis histórico y ambiental del dragado en el SLM muestra que se trata de una práctica constante que, si bien ha tenido efectos positivos en ciertos momentos, también ha generado impactos negativos de gran alcance. Por un lado, los dragados han favorecido temporalmente la productividad pesquera, en particular la del ostión (*Crassostrea virginica*), que llegó a consolidarse como la pesquería más importante de la región. Incluso, algunos registros sugieren un incremento de la biodiversidad tras determinados dragados. No obstante, los costos ecológicos asociados son significativos: alteraciones en las condiciones fisicoquímicas del agua, suspensión de sedimentos con posibles efectos nocivos para la biota, cambios en la circulación interna, fragmentación del hábitat y acumulación de contaminantes, entre otros impactos ya señalados.

En el contexto del cambio climático, estos efectos adquieren mayor relevancia, ya que refuerzan la vulnerabilidad ecológica de los sistemas costeros ante escenarios de creciente incertidumbre ambiental. En consecuencia, el dragado no puede entenderse únicamente como una solución técnica, sino como una práctica que, sin una adecuada regulación, monitoreo y manejo adaptativo, se convierte en un factor de riesgo que compromete la sostenibilidad del SLM y de las comunidades que dependen de él.

En la Tabla 2 se muestran en resumen los impactos positivos como negativos que los autores consideran para el caso del SLM.

Impactos positivos	Impactos negativos
Incremento temporal de la producción pesquera (peces y camarones).	Alteración de las condiciones físicoquímicas del agua (salinidad, oxígeno, turbidez).
Aumento significativo en la producción de ostión (<i>Crassostrea virginica</i>), consolidándose como la pesquería más importante de la región.	Suspensión y resuspensión de sedimentos con posibles efectos tóxicos en la biota.
Registro de mayor biodiversidad tras algunos dragados (ej. incremento de 8 a 26 grupos en 2010–2011).	Pérdida de bancos de almeja, considerada por la comunidad como una “catástrofe natural”.
Mejora temporal de la conectividad hidrológica y la circulación del agua.	Fragmentación del hábitat y cambios en la dinámica de los flujos internos.
Incremento de la entrada de especies marinas al sistema tras la apertura de canales y esteros.	Acumulación de contaminantes de origen antropogénico en el sedimento y la columna de agua.
Beneficios económicos inmediatos para la pesca y el turismo gastronómico.	Mayor vulnerabilidad del ecosistema frente al cambio climático y la presión antropogénica.

Tabla 2 - Cronología de los dragados registrados en el SLM y fuentes de información consultadas

En síntesis, el dragado en el SLM ha representado una práctica de larga data que, si bien ha favorecido temporalmente la productividad pesquera y el desarrollo socioeconómico local, también ha generado impactos negativos profundos sobre la dinámica hidrológica, la calidad del agua y la biodiversidad. La evidencia histórica demuestra que los beneficios inmediatos han estado acompañados de costos ecológicos considerables, comprometiendo la resiliencia del ecosistema. Bajo escenarios de cambio climático, estas presiones adquieren mayor relevancia, por lo que el dragado no puede concebirse únicamente como una solución técnica, sino como una intervención que requiere regulación estricta, monitoreo permanente y estrategias de manejo adaptativo orientadas a la conservación y sostenibilidad del SLM.

CONCLUSIÓN

El dragado constituye una herramienta clave para el desarrollo portuario, la navegación, la prevención de inundaciones y, en algunos casos, la recuperación ambiental; sin embargo, también conlleva riesgos ambientales significativos que no pueden ser ignorados. Aunque sus beneficios resultan evidentes en términos de infraestructura y funcionalidad operativa, sus impactos sobre la calidad del agua, la dinámica sedimentaria y la biodiversidad acuática pueden ser profundos, extensos y duraderos.

En el plano físico, el dragado modifica la dinámica hidrológica y la morfología de los cuerpos de agua, promoviendo procesos erosivos y sedimentarios artificiales, siendo la turbidez el cambio más evidente en la calidad del agua durante y después de la actividad. En el ámbito químico, puede liberar contaminantes y compuestos acidificantes que deterioran la salud ecológica de los sistemas. Biológicamente, afecta de manera directa a comunidades como el bentos, los peces, los manglares, los arrecifes de coral e incluso a mamíferos marinos, comprometiendo funciones esenciales como la alimentación, la reproducción y la migración.

Estos efectos adversos subrayan la necesidad de implementar evaluaciones de impacto ambiental rigurosas, acompañadas de planes de manejo que incorporen tecnologías de bajo impacto, monitoreo continuo y estrategias efectivas de mitigación. Solo una planificación basada en el conocimiento ecológico y en una gestión responsable puede hacer del dragado una actividad más sostenible, reduciendo los efectos negativos sobre los ecosistemas acuáticos.

Por tanto, las decisiones en torno al dragado no deben limitarse a criterios económicos de corto plazo, sino integrar una visión ecológica y social que asegure la conservación de los servicios ambientales que sostienen tanto a la biodiversidad como al bienestar de las comunidades humanas.

En el caso particular del Sistema Lagunar de Mandinga, el dragado ha generado beneficios productivos temporales, pero también costos ecológicos significativos. En el contexto del cambio climático, estos impactos adquieren mayor relevancia, lo que hace imprescindible un manejo adaptativo y regulado que garantice la sostenibilidad del ecosistema y de las poblaciones que dependen de él.

REFERENCIAS

- Aburto-Ríos, P. (2019). Diagnóstico ambiental del sistema lagunar Mandinga mediante el modelo conceptual Presión-Estado-Respuesta. [Tesis de Maestría, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla] <https://hdl.handle.net/20.500.12371/4626>
- Alarcón, A. D. P. (2018). *Análisis multitemporal de las características sedimentológicas a lo largo del Río Guayas, entre las coordenadas 2°08' S, 79°49'W y 2°23'S, 79°54'W*. [Tesis de ingeniería, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/46769>
- Aldasoro Said, G. A. (2015). *La microcuena de Mandinga: aportaciones a su historia ambiental*. [Tesis de maestría, Universidad Veracruzana]. Microsoft Word - Tesis Gabriel Aldasoro Said con dedicatorias.doc
- Aldeco-Ramírez, J. (2020). Posibles respuestas del humedal costero de Mandinga, México, a algunas presiones por el Cambio Climático Global. *Revista de Investigación Proyección Científica*, 2(1), 35-45. <https://doi.org/10.56785/ripc.v2i1.44>

Ampuero, L. A. A. (2018). *Relación del pH y oxígeno disuelto de fondo con la distribución del bentos calcificante de la plataforma centro – norte peruana*. [Tesis de Maestría, Universidad Peruana Cayetano Heredia]. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3188>

Anthony, K. R. N. y Lacombe, P. (2000). Coral reefs in turbid waters: sediment-induced stresses in corals and likely mechanisms of adaptation. *Proceedings 9th International Coral Reef Symposium*, Bali, (pp. 239-244). https://www.researchgate.net/profile/Kenneth-Anthony-2/publication/230604753_Coral_reefs_in_turbid_waters_sediment-induced_stresses_in_corals_and_likely_mechanisms_of_adaptation/links/0912f51277bf1ab8c9000000/Coral-reefs-in-turbid-waters-sediment-induced-stresses-in-corals-and-likely-mechanisms-of-adaptation.pdf

Anthony, K. R. N., Conolly, S. R. y Hoegh-Guldberg, O. (2007). Bleaching, energetics, and coral mortality risk: Effects of temperature, light, and sediment regime. *Limnology and Oceanography*, 52(2), 716-726. https://doi.org/10.4319/lo.2007.52.2.0716open_in_new

Arreguín-Sánchez, F. (1982). Contribución al conocimiento de la hidrobiología de las lagunas de Mandinga, Veracruz, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 26(1-4), 111-134. <https://biblat.unam.mx/hevila/AnalesdelaEscuelaNacionaldeCienciasBiologicas/1982/vol26/no1-4/7.pdf>

Babcock, R. y Smith, L. (2000). Effects of sedimentation on coral settlement and survivorship. *Proceedings 9th International Coral Reef Symposium, Bali*, (pp. 245-248). https://www.researchgate.net/publication/228579937_Effects_of_sedimentation_on_coral_settlement_and_survivorship

Brander, K. (2010). Impacts of climate change on fisheries. *Journal of Marine Systems*, 79(1-2), 389-402. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.12.015>

Bray, R. N. y Clark, S. (2004, September). Dredging and coral: a decision support system for managing dredging activities in coral reef ecosystems. 17th World Dredging Congress (Vol. 27).

Bray, R. N. y Cohen, M. (Eds). (2010). *Dragado por el desarrollo*. Asociación Internacional de Empresas de Dragado (IADC). <https://www.iadc-dredging.com/wp-content/uploads/2016/09/dredging-for-development-spanish.pdf>

Bray, R. N., Bates, A. D. y Land, J. M. (1997). *Dredging*, A handbook for engineers. Butterworth Heinemann Publishing.

Casar, M. G. y Esquivel, L. J. A. (1988). *Dragado*. [Tesis de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000083762>

Cervantes-Guerra, Y., Rodríguez-Infante, A., Pierra-Conde, A., Almaguer-Carmenate, Y. y Gursky, H. (2017). Cambios en la geomorfología y el medio ambiente litoral asociados al dragado de los fondos marinos en Moa, Cuba. *Minería y Geología*, 33(1), 114-127.

Chen, H., Guo, S., Zhang, S., Tang, Y., Zhang, T., Lv, X., Wang, D. y Zhong, J. (2025). Comprehensive effects of lake dredging on microbial community and dissolved organic matter compositions in surface sediments, *Ecological Indicators*, 175(113566), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113566>.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (s. f.). *Sitios prioritarios del Sistema de Monitoreo de Manglares de México (SMMM)*. Gobierno de México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/monitoreo/smmm/sitiosPrioritarios>

Dragados Medellín S.A. de C.V. (s. f.). *Portafolio*. <https://dragadosmedellin.com/portafolio/>

Erftemeijer, P. y Lewis, R. R. (2006). Environmental impacts of dredging on seagrasses: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 52(12), 1553-1572. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.09.006>

Erftemeijer, P., Riegl, B., Hoeksema, B. W. y Todd, P. A. (2012). Environmental impacts of dredging and other sediment disturbances on corals: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 64(9), 1737-1765. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.05.008>

Erftemeijer, P. L. A., Jury, M. J., Gabe, B., Dijkstra, J., Leggett, D., Foster, T. M. y Shafer, D. J. (2013). Dredging, port-and waterway construction near coastal plant habitats. Coasts and Ports: 21st Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference and the 14th Australasian Port and Harbour Conference, Sydney, NSW, Australia. 10.13140/RG.2.1.2723.5288

Escalante, A. J. (2017a). *Evaluación de cambios morfodinámicos en el canal de acceso marítimo al puerto de Guayaquil mediante batimetría comparativa*. [Tesis de maestría, Universidad de Guayaquil].

Escalante, R. S. (2017b). *Tema 1: Consideraciones generales [Apuntes de curso]*. Escuela de Graduados en Ingeniería Portuaria, Cátedra Ingeniería de Dragado. https://www.graduadosportuaria.com.ar/IngDragado/DRA_Tema%201_Generalidades.pdf

Essink, K. (1996). Effects of dredge spoil disposal on macrozoobenthos; a review of studies in The Netherlands. En: H, Leuchs., A, Anlauf. y s, Nehring. (eds.) *Baggern und Verklappen im Küstenbereich. Auswirkungen auf das Makrozoobenthos* (pp. 12-17). Mitt. Nr. 11, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, September.

Essink, K. (1999). Ecological effects of dumping of dredged sediments; options for management. *Journal of Coastal Conservation*, 5, 69-80. <https://doi.org/10.1007/BF02802741>

Essink, K., Steyaert, F. H. I. M., Mulder, H. P. J., de Jonge, V. N., van Heuvel, T. y van den Bergs, J. (1992). Effects of dredging activities in the Ems Estuary and Dutch Wadden Sea. En: N. Dankers., C.J. Smit. y M. Scholl. (eds.). *Proc. of the 7th Int. Wadden Sea Symposium*, Ameland, The Netherlands (pp. 243-246). Netherlands Institute of Sea Research. <https://groenkennisnet.nl/zoeken/resultaat/effects-of-dredging-activities-in-the-ems-estuary-and-dutch-wadden-sea?id=1435523>

European Environment Agency. (2023). *Open ocean – Ocean chemistry*. <https://www.eea.europa.eu/publications/europe-s-changing-climate-hazards-1/open-ocean/open-ocean-ocean-chemistry>

Fraser, M., Short, J., McLean, D., Kendrick, G., Byrne, M., Caley, J., Clarke, D., Davis, A., Erfemeijer, P., Field, S., Gustin-Craig, S., Huisman, J., Keesing, J., Keough, M., Laverty, P., Masini, R., McMahon, K., Mergersen, K., Rasheed, M., Statton, J., Stoddart, J., y Wu, P. (2017). Effects of dredging on critical ecological processes for marine invertebrates, seagrasses and macroalgae, and the potential for management with environmental windows using Western Australia as a case study. *Ecological Indicators*, 78, 229-242. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.026>

González-Vázquez, A., Hernández-Vivar, A. M., Rojas-Serna, C. y Valle-Morales, J. (2019). Diagnóstico de la circulación del agua en un estuario: Caso de estudio del río Jamapa y las lagunas de Mandinga, Veracruz, México. *Ciencias Marinas*, 45(1), 23-40. <https://doi.org/10.7773/cm.v45i1.2939>

Granja, B. S. R., Sánchez, P. C. E., Vasco, D. J. C., Macas, P. B. A. y Sánchez, P. C. E. (2025). Evaluación del impacto del dragado en la dinámica sedimentaria y calidad del agua en el canal de acceso marítimo a Guayaquil. *South Florida Journal of Health*, 6(2), e5317. <https://doi.org/10.46981/sfjhv6n2-005>

Grupo IMPSA. (s. f.). *Dragado Mandinga*. <https://www.grupoimpsa.com/obras/dragado-mandinga/>

Hitchcock, D. R. y Bell, S. (2004). Physical impacts of marine aggregate dredging on seabed resources in coastal deposits. *Journal of Coastal Research*, 20(1), 101-114. [https://doi.org/10.2112/1551-5036\(2004\)20\[101:PIOMAD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2112/1551-5036(2004)20[101:PIOMAD]2.0.CO;2)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Summary for policymakers. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, ... B. Zhou (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 3–32). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>

International Association of Dredging Companies (IADC). (2010). A quick guide: ¿What is Dredging?: Types of Material to be Dredged. <https://www.iadc-dredging.com/subject/what-is-dredging/types-material-dredged/>

Jones, R., Ricardo, G. F. y Negri, A. P. (2015). Effects of sediments on the reproductive cycle of corals. *Marine Pollution Bulletin*, 100(1), 13-33. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.08.021>

Khader, I. S. T. (2010). *Dragados portuarios y costeros: Una revisión crítica para el golfo de Cádiz*. [Tesis de Ingeniería, Universidad de Cádiz]. <http://hdl.handle.net/10498/9761>

Laist, D. W., Knowlton, A. R., Mead, J. G., Collet, A. S. y Podesta, M. (2001). Collisions between ships and whales. *Marine Mammal Science*, 17(1), 35-75. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2001.tb00980.x>

Landaeta, C. J. (1998). Potenciales impactos ambientales generados por el dragado y la descarga del material dragado. *Revista Ingeniería UC*, 5(2). <https://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/a5n2.htm>

Lara-Domínguez, A. L., López-Portillo, J., Martínez-González, R., y Vázquez-Lule, A. D. (2009). Caracterización del sitio de manglar Mandinga. En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Ed.), *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*. CONABIO.

Lucke, K., Siebert, U., Lepper, P. A. y Blanchet, M. A. (2009). Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125(6), 4060-4070. <https://doi.org/10.1121/1.3117443>

Martínez, B. J. y Salamanca, M. A. (2008). *Dragado en puertos marítimos*. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional].

Meganoticias. (2020). Iniciarán dragados de lagunas en Veracruz. Meganoticias Xalapa.

Montigny, C., Chouba, C., Domeau, A., Delpoux, S., Marie, M., Causse, L., Freydier, R. y Pringault, O. (2025). Assessing pollution in sediment and water before, during and after sediment dredging in a Mediterranean harbor. *Journal of Environmental Management*, 389, 1-12.

Mooney, T. A., Nachtigall, P. E., Breese, M., Vlachos, S. y Au, W. W. (2009). Predicting temporary threshold shifts in a bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*): The effects of noise level and duration. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125(3), 1816-1826. <https://doi.org/10.1121/1.3068456>

Moreira, B. L., Braga, C. I., Fillmann, G., Farias, P. T., Cavalcante, B. I. K., Tarou, S. S., Taniguchi, S., Caruso, B. M., Valente, M. R., Drude, L. L., Costa-Lotufo, L. V. y Abessa, S. M. D. (2021). Dredging impacts on the toxicity and development of sediment quality values in a semi-arid region (Ceará state, NE Brazil). *Environmental Research*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110525>

Morton, J. W. (1997). Ecological effects of dredging and dredge spoil disposal: a literature review. *Fish and Wildlife Service Technical Paper No. 94*. <https://nwrc.contentdm.oclc.org/digital/collection/p16473coll33/id/2546>

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2025). Ocean acidification. <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidification>

Neilson, J. L., Gabriele, C. M., Jensen, A. S., Jackson, K. y Straley, J. M. (2012). Summary of reported whale-vessel collisions in Alaskan waters. *Journal of Marine Sciences*, 2012(106282). <https://doi.org/10.1155/2012/106282>

Olaiwola, A. F., Olalekan, E. I., Inioibong, D. A., Osamudiame, O. T. y Otolorin, O. O. (2018). Impact of sand dredging activities on ecosystem and community survival in Ibeshe area of Lagos lagoon, Nigeria. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 6(2), 112-125. <https://doi.org/10.4236/gep.2018.62008>

Panigada, S., Pesante, G., Zanardelli, M., Capoulade, F., Gannier, A. y Weinrich, M. T. (2006). Mediterranean fin whales at risk from fatal ship strikes. *Marine Pollution Bulletin*, 52(10), 1287-1298. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.03.014>

Powilleit, M., Graf, G., Kleine, J., Riethmüller, R., Stockmann, K., Wetzel, M. A. y Koop, J. H. E. (2009). Experiments on the survival of six brackish macro-invertebrates from the Baltic sea after dredged spoil coverage and its implications for the field. *Journal of Marine Systems*, 75(3-4), 441-451. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2007.06.011>

Quiala, Y. A., Trujillo, H. B. y Morales, H. P. (2015). Evaluación de impacto ambiental al proyecto de dragado Marina Periquillo cayo Las Brujas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(2), 17–30.

Redacción Quadratín Veracruz. (2020). Inician Conagua y Semar colaboración para dragar lagunas costeras. Quadratín Veracruz.

Reporte 7 Veracruz. (2024). Dragado traerá beneficio al sector pesquero [Video]. Facebook. <https://www.facebook.com/rep7ver/videos/dragado-traer%C3%A1-beneficio-al-sector-pesquerola-obra-del-dragado-del-r%C3%ADo-jamapa-qu/520990110424745/>

Rodríguez-Varela, A. del C., Barreto-Segura, O. y Vázquez-López, H. (2019). Diversity of benthonic invertebrates in Mandinga lagoon complex, Veracruz, Mexico. *Novitates Caribaea*, 14, 128-146. <https://doi.org/10.33800/nc.v0i14.205>

Rodríguez-Varela, A. del C., Vázquez-López, H., Chávez-López, R., Cházaro-Olvera, S., Morán-Silva, Á., Barreto-Segura, O. A. y Cruz-Gómez, A. (2022). Caracterización sedimentológica del sistema lagunar de Mandinga, Veracruz. *BIOCYT: Biología, Ciencia y Tecnología*, 15(1), 1077-1104. <https://www.revistas.unam.mx/index.php/biocyt/article/view/83061>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2007). Concesión otorgada en favor de Promotora y Constructora Estero de Mandinga, S.A. de C.V., para usar y aprovechar bienes de dominio público de la Federación, consistentes en zona marítima para la construcción y operación de una marina de uso particular, denominada El Dorado Marina Residencial, en el Estero de Mandinga, Municipio de Boca del Río, Estado de Veracruz. Diario Oficial de la Federación. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4992446&fecha=02/07/2007

Siordia, M. A. (2002). *Importancia del dragado y estudio del impacto en zonas costeras*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California]. <https://hdl.handle.net/20.500.12930/8593>

Todd, V. L. G., Todd, I. B., Gardiner, J. C., Morrin, E. C N., MacPherson, N. A., DiMarzio, N. A. y Thomsen, F. (2015). A review of impacts of marine dredging activities on marine mammals. *ICES Journal of Marine Science*, 72(2), 328-340. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu187>

Utne-Palm, A. C. (2002). Visual feeding of fish in a turbid environment: Physical and behavioural aspects. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 35(1-2), 111-128. <https://doi.org/10.1080/10236240290025644>

Van Waerebeek, K., Baker, A. N., Félix, F., Gedamke, J., Iñiguez, M., Sanino, G. P., Secchi, E., Sutaria, D., van Helden, A. y Wang, Y. (2007). Vessel collisions with small cetaceans worldwide and with large whales in the Southern Hemisphere, an initial assessment. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 6(1), 43-69. <https://doi.org/10.5597/laajam00109>

Vargas-Molina, J. (2014). *Consecuencias del megaproyecto de dragado de profundización en el sistema socio-ecológico del estuario del Guadalquivir, España. Agua y Territorio*, 4. (pp. 23-34). <https://doi.org/10.17561/at.v1i4.2161>.

Wenger, A. S., Harvey, E., Wilson, S., Rawson, C., Newman, S. J., Clarke, D., Saunders, B. J., Browne, N., Travers, M. J., McIlwain, J. L., Erftemeijer, P. L. A., Hobbs, J. P. A., McLean, D., Depczynski, M. y Evans, R. D. (2017). A critical analysis of the direct effects of dredging on fish. *Fish and Fisheries*, 18(5). [10.1111/faf.12218](https://doi.org/10.1111/faf.12218)

Zamor, R. M. y Grossman, G. D. (2007). Turbidity affects foraging success of drift-feeding rosy-side dace. *Transactions of the American Fisheries Society*, 136(1), 167-176. <https://doi.org/10.1577/T05-316.1>