

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS PUEBLA

Escuela de Ciencias

Departamento de Ciencias Químico-Biológicas



Efecto de la Remoción de Piedra Bola en Ecosistemas Costeros de la Península de Baja California

Tesis que, para completar los requisitos de Programa de Honores presenta la estudiante

Sofía Daniela Flores Mejía

ID: 167311

Licenciatura en Biología

Director de Tesis:
Alejandro Arias del Razo

San Andrés Cholula, Puebla.

Primavera 2024

Hoja de firmas

Tesis que, para completar los requisitos del Programa de Honores presenta el
estudiante Sofía Daniela Flores Mejía ID:167311

Director de Tesis

Alejandro Arias del Razo

Presidente de Tesis

Dr. Paul Michael Ramsay

Secretario de Tesis

Biol. Oscar Daniel Olguín Ortiz

Índice

1.1 OBJETIVOS.....	5
1.2 HIPÓTESIS.....	6
<u>2. MARCO TEÓRICO</u>	<u>6</u>
2.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	6
2.2 BAHÍA DE SAN QUINTÍN	7
2.3 ECOSISTEMAS COSTEROS DEL PACÍFICO DE BAJA CALIFORNIA	8
2.4 PROTECCIÓN COSTERA.....	13
<u>3. MÉTODO.....</u>	<u>14</u>
3.1 MUESTREOS AÉREOS.....	14
3.2 ANÁLISIS FOTOGRÁFICO	14
3.3 MUESTREO EN CAMPO	17
3.4 CÁLCULO DE COSTALES	18
3.5 MEDICIÓN DE LA EROSIÓN	19
3.6 IMPACTO SOCIAL.....	20
<u>4. RESULTADOS.....</u>	<u>21</u>
4.1 ZONAS DE EXTRACCIÓN DE PIEDRA BOLA	21
4.2 CANTIDAD DE COSTALES DE CANTO RODADO	24
4.3 EXTENSIÓN DE LA ACTIVIDAD.....	26
4.4 ANÁLISIS DE ORTOMOSAICOS	30
4.5 IMPACTO SOCIAL.....	38
4.5.1 ENTREVISTAS CON GENTE DE LA COMUNIDAD	39
<u>5. DISCUSIÓN.....</u>	<u>41</u>
5.1 EXTENSIÓN E INTENSIDAD DE LA RECOLECCIÓN DE CANTO RODADO	41
5.2 DESGASTE DE DUNAS Y ACANTILADOS	43
5.3 IMPACTO EN LA FAUNA COSTERA	45
5.4 IMPACTO SOCIAL.....	46
<u>6. CONCLUSIÓN.....</u>	<u>47</u>
<u>7. REFERENCIAS</u>	<u>49</u>

1. Introducción

Las playas rocosas juegan un papel muy importante en la protección costera. Dentro de las rocas que se encuentran en estos ecosistemas está el canto rodado o también conocido como piedra bola. Esta piedra es traída por las corrientes desde otros cuerpos de agua, como ríos o arroyos que posteriormente desembocan en el mar; gracias a la erosión del agua estas rocas se van puliendo hasta llegar a su característica forma redondeada y lisa, como se puede observar en las costas (Castillo, 2006). Sus principales funciones son marcar la morfología de las costas, estabilizar y protegerlas de la constante erosión causada por el movimiento del agua ya que disipan la fuerza de las olas al chocar con la costa; de igual manera, forman parte del hábitat de diferentes especies animales (Matsumoto, Young, & Guza, 2020; Selma, *et al.*, 2010).

Los ecosistemas costeros están continuamente expuestos a diversos factores haciendo que sufran cambios constantemente. Dichos factores pueden ser de origen natural, así como el cambio de concentración de nutrientes, las mareas, las especies que habitan el lugar, tormentas, cambios del nivel del mar, entre otros (Valdés, 2012; Villanueva, *et al.*, 2010). Así como también de origen antropogénico como modificación del paisaje por viviendas, infraestructura, o la extracción de recursos naturales costeros.

Desde hace más de 20 años, se ha reportado la extracción del canto rodado en las playas de Baja California, tanto ilegalmente como mediante permisos extractivos de SEMARNAT (Sotomayor, Rodríguez, & Arce, 2012). Esta actividad tiene el potencial de alterar el funcionamiento de los ecosistemas costeros, acelerar la erosión costera y la pérdida de biodiversidad (Stevčić, *et al.*, 2018).

Entre las playas afectadas por la actividad de extracción de piedra bola, se encuentra la playa La Chorera, B.C. Esta es una de las zonas más angostas que dividen el océano Pacífico de la Bahía de San Quintín. En esta playa, una de las principales actividades económicas de los habitantes ha sido la extracción de la piedra bola (Valdés, 2012). Al extraer estas rocas, la erosión constante de las olas directo con el sustrato pone en peligro a las dunas costeras. Por lo que existe el peligro, ante la erosión costera en aumento, que está barrera desaparezca, uniendo el Océano Pacífico con la Bahía de San Quintín. Esto pondría en peligro la existencia del humedal El Arco y alteraría la dinámica oceanográfica de la bahía, con consecuencias aún imprevistas.

Es por esto que en este trabajo se planteó realizar un diagnóstico de la actividad extractiva de canto rodado en la costa occidental de Baja California entre 2016 y 2022. Un análisis de las posibles consecuencias ecológicas y sociales, y establecer una línea base para futuros monitoreos. Aquí se muestra la magnitud, la extensión e intensidad de la actividad a lo largo de seis años, pero además plantea las amenazas que representa para la biodiversidad costera de Baja California y las condiciones de explotación laboral a los que se ven sometidas las personas dedicadas a la extracción de piedra bola sobre las playas. Adicionalmente, se generan imágenes aéreas georreferenciadas (ortomosaicos) de alta resolución para establecer una línea base que permita a futuros estudios del área realizar mediciones y comparaciones de cambios en la topografía y el paisaje.

1.1 Objetivos

Cuantificar la extensión e intensidad de la extracción de piedra bola en playas del Pacífico de Baja California entre 2016 y 2022.

- Analizar posibles impactos a ecosistemas costeros, incluyendo erosión costera y remoción de fauna silvestre.
- Recabar testimonios del impacto social de la actividad de extracción de piedra bola entre grupos humanos vulnerables.
- Generar imágenes aéreas de alta resolución como línea base para seguimiento de cambios futuros en la topografía y paisaje de las playas de Baja California.

1. 2 Hipótesis

Las zonas de extracción de piedra bola han cambiado a lo largo de los años, posiblemente como consecuencia del agotamiento del recurso pétreo.

La extracción de piedra bola conlleva un aumento en la erosión costera que puede medirse en la reducción de los ecosistemas costeros como.

2. Marco Teórico

2.1 Área de Estudio

La península de Baja California se encuentra al noroeste de México, abarca 145,344 km² de extensión continental, cuenta con 3,606 kilómetros de litoral, aproximadamente 25% del total en el país; más de la mitad corresponden a las costas del Pacífico y lo restante a las del Golfo de California (Comisión Nacional del Agua, 2013). Es de las biorregiones más importantes del norte del país pues cuenta con una gran cantidad de áreas silvestres bien conservadas (Álvarez *et al.* 2013). De la misma manera, es una secuencia de ecosistemas, uno limitando

al siguiente; hay bosques junto a desiertos que al mismo tiempo se encuentran rodeados por mar (Ojeda-Revah *et al.*, 2010).

2.2 Bahía de San Quintín

La bahía de San Quintín es una de las lagunas más relevantes y estudiadas del estado de Baja California (Aguilera, 1993). Aquí se encuentra el humedal mejor conservado desde Punta Concepción, CA. hasta la parte noroeste de Baja California (Harper, 2012). Tiene forma de U (Figura 1) donde en el extremo este se ubica lo conocido como Bahía de San Quintín y en el extremo oeste se encuentra la Bahía Falsa (Aguirre, *et al.*, 2001; Siqueiros, Ibarra Obando, & Loya, 1985).

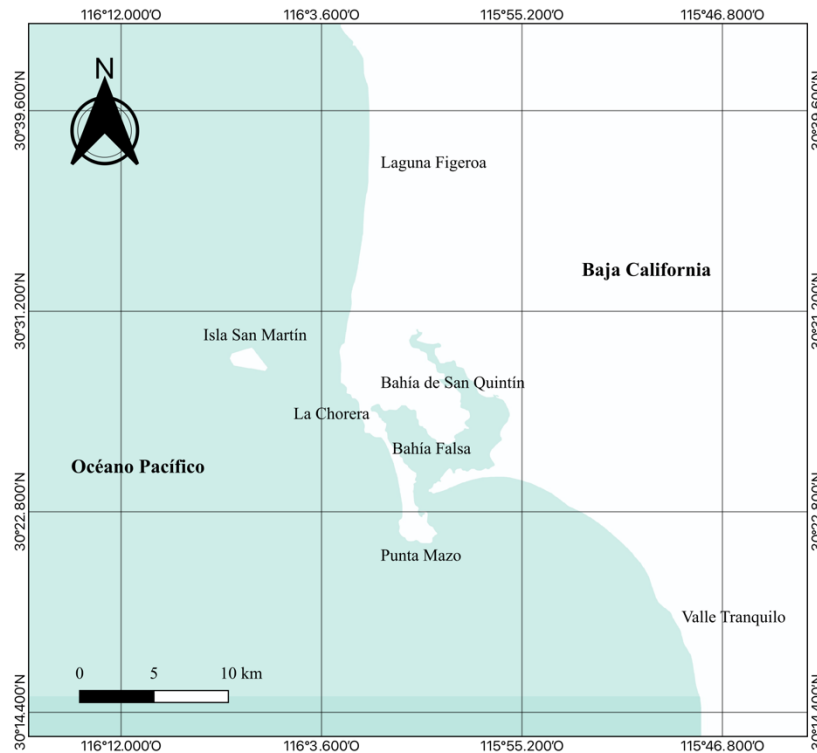


Figura 1. Mapa de las Bahía de San Quintín y costas aledañas. Dentro de la bahía se divide en Bahía de San Quintín al norte y Bahía Falsa al suroeste.

Al noroeste de la Bahía Falsa se encuentra la playa “La Chorera” (Figura 1), con una longitud de 700 m (Valdés, 2012). Esta esta región es el hogar de muchas especies vegetales, mamíferos, aves y reptiles, algunas de ellas siendo endémicas (Harper, 2012). Cabe destacar que tiene gran importancia ya que, al contar con canto rodado en la costa, ayuda a que el constante impacto de las olas del océano Pacífico no desgaste las dunas que separan el mar con el humedal Los Arcos. Dentro de la Bahía Falsa hay una importante producción ostrícola que depende de las condiciones oceanográficas de la Bahía Falsa (Valdés, 2012). Esto implica que la remoción de piedra bola, actividad común en la playa La Chorera (Valdés, 2012), podría ocasionar la erosión acelerada de esta playa, y eventualmente la conexión entre el océano Pacífico y la Bahía Falsa en este punto. Esto no sólo provocaría cambios importantes en las características biológicas, químicas y físicas de la Bahía Falsa, pero también supondría que la península de Punta Mazo se volvería una isla, interrumpiendo su conectividad biológica y dificultando las labores de conservación que aquí realiza Terra Peninsular A.C (Harper, 2012).

2.3 Ecosistemas costeros del Pacífico de Baja California

Baja California es el hogar de una enorme diversidad biológica y es de las regiones con más especies endémicas de todo México (Vanderplank *et al.*, 2018). Contiene hábitats variados dentro de estas las costas, que ahí mismo se puede encontrar una gran variedad de naturaleza y de ecosistemas, así como las dunas, marismas, playas, estuarios, arrecifes rocosos y acantilados (Lara *et al.*, 2008). Cada uno de estos ecosistemas es diferente con sus propias

características, dependiendo de su localización, clima, corrientes, aportes fluviales, entre otros (Yáñez-Arancibia, s. f.). De igual forma cada uno cumple con una función diferente, así como sistema de protección en las costas, al amortiguar la fuerza del oleaje, fijación de carbono, áreas de crianza, reproducción y alimento para peces (García, 2015; Ramírez & Cota, 2019). En otras palabras, son una herramienta que ayuda a proteger a la biodiversidad, los hábitats y especies que habitan en esas zonas (García, 2015; Ramírez & Cota, 2019).

Las costas de Baja California pueden ser de aguas frías en el Pacífico Norte y aguas un poco más cálidas en el Sur. Algunas zonas no cuentan con vegetación, en su lugar se encuentran acantilados; y existe una gran variedad de especies de fauna marina tanto de mamíferos como peces y moluscos (Michelini & Chávez Rojas, 2018). Dentro de los mamíferos marinos se encuentran 4 tipos de pinnípedos: la foca común o foca de puerto (*Phoca vitulina*) que habita en playas de canto rodado con menor exposición al oleaje cambiando su distribución durante el verano; el elefante marino del norte (*Mirounga angustirostris*) en playas de arena y canto rodado sin distinción al oleaje; el lobo marino de California (*Zalophus californianus*) en las distintas temporadas vive en cualquier tipo de hábitats dentro de su distribución; y el lobo fino de Guadalupe (*Arctocephalus townsendi*) que vive en acantilados rocosos con oleajes intensos (Arias Del Razo, 2011; Arias Del Razo, 2016; PROFEPA, 2020).

Dentro de la Península de Baja California se pueden encontrar dos tipos de playa, arenosas y rocosas. Estas últimas, son zonas muy heterogéneas que pueden consistir en partículas de grava o arena (Stevčić, *et al.*, 2018). Sin embargo, están principalmente compuestas de rocas que están constantemente influenciadas por componentes físicos y químicos, así como la erosión de las olas, el contacto con los nutrientes, la luz, el viento, etc. (Escamilla, 2023). Debido a estos factores es que piedra, como el caso del canto rodado, se

van deformando por el constante contacto, hasta que alcanzan una forma redondeada y lisa (Castillo, 2006)

El canto rodado, conocido también con el nombre de piedra bola, se encuentra en playas rocosas alrededor del mundo; en México se encuentran en las costas de algunas playas del estado de Baja California. De acuerdo con Hubp (2011), el canto rodado se define como un fragmento de roca que gracias a la constante fricción y choque con el agua y otras rocas se va puliendo y transformando hasta que adquiere su característica forma redondeada.

Las playas que se conforman por este tipo de sedimentos son de alta importancia puesto que al ser heterogéneos haya una mayor abundancia de especies al ser un buen refugio para diferentes especies y aumenta la presencia de microhábitats (Stevčić, *et al.*, 2018; von Rönn, *et al.*, 2021). Es una zona que permite que muchos animales marinos como aves y mamíferos marinos se alimenten; además, sirve para que algunas especies de mamíferos tengan a sus crías (von Rönn, *et al.*, 2021). Ahora bien, un papel clave que juegan estos recursos es aminorar el impacto de la erosión en las costas ya que hacen que la fuerza de las olas al chocar en las costas sea menor, puesto que disipan la energía provocada (Liu, *et al.*, 2020).

Aún existen muchas incógnitas del total funcionamiento de la piedra bola en las costas. Se tiene el conocimiento de que estas moldean las playas, contribuyen a la formación de estas, moderan el movimiento de las olas al romper en la orilla (Matsumoto, & Young, 2020) como ya fue mejor desarrollado con anterioridad. Sin embargo, aún no se sabe exactamente qué tanto pueden modificar las playas y sus procesos naturales.

Adicionalmente se pueden encontrar otros biomas costeros aledaños a las playas rocosas que de igual forma cumplen su función como servicios ecosistémicos, protección costera y hábitats de diversas especies. Estos están sujetos a constante cambio debido a que

son áreas de influencia hidrológica como las mareas. Desafortunadamente las acciones humanas que han interferido con la ecología del lugar han generando importantes cambios en estas regiones como deterioro de la zona, extinción de especies y la pérdida completa del hábitat (García, 2015).

A continuación, se presenta una breve descripción de los principales biomas que se encuentran dentro del área de estudio.

a) Humedales: zonas de transición entre un ecosistema terrestre y uno acuático que puede estar inundado por cierto periodo de tiempo o de manera permanente (Semarnat, 2008). Solo se considera humedal marino si este mide no más de 6 metros de profundidad en marea baja (González, 2021). En los humedales de Baja California se encuentran 9 especies de plantas, entre ellas la Biznaga Llavina (*Mammillaria dioica*), el Cirio (*Fouquieria columnaris*), el Zacate Salado (*Distichlis palmeri*), etc. De especies animales hay anfibios y reptiles como la Salamandresa Peninsular (*Phyllodactylus nocticolus*) y la Rana de Coro (*Pseudacris regilla*); mamíferos como la endémica rata canguro de San Quintín (*Dipodomys gravipes*); peces como el Lenguado de California (*Paralichthys californicus*); y aves como el Rascón Picudo (*Rallus obsoletus*) (Wildcoast-Costa Salvaje, 2020).

b) Dunas costeras: colinas o montículos de arena elevada a una cumbre, con alta heterogeneidad espacial y considerados ecosistemas frágiles (Maun, 2009). Ocupan un total de 28,014 hectáreas de Baja California, se consideran semimóviles o móviles dependiendo de la cantidad de vegetación que tienen y existen diferentes tipos: transgresivas que cubren 87% del total, consideradas móviles puesto que carecen de vegetación, las parabólicas 7%, y frontales 6%, ambas cubiertas parcialmente de vegetación por lo que se consideran semimóviles (Rodríguez-Revelo *et al.*, 2014). Este ecosistema presenta plantas pequeñas y suculentas, especies de matorral costero y marisma. Especies clave son la Alfombrilla

(*Ambrosia maritima*) y Deditos (*Carpobrotus aequilaterus*) éstas se consideran pioneras y fijadoras de arena que igual fungen como protectoras ya que amortiguan la fuerza del oleaje en la duna (Benavides, Millán, Valle, 2010).

c) Matorral costero: es un tipo de vegetación única en México y lamentablemente es uno de los ecosistemas más amenazados en el país (Castro Palafox, 2016). Presenta arbustos esclerófilos, aromáticos y especies caducifolias de corta estatura y establecen comunidades formando tres tipos de asociaciones: Diegana, compuesta principalmente por suculentas: Vizcaiana, compuesta por especies como la Pitaya agria (*Machaerocereus gummosus*) y el Cactus Viejito (*Cephalocereus sp.*); y Martiriana, con especies como la Siempreviva Hojas de Lanza (*Dudleya lanceolata*) (Benavides, Millán, Valle, 2010; Castro Palafox, 2016).

d) Desiertos: conforman cerca del 70% de la península de Baja California formando parte del Desierto Sonorense (Benavides, Millán & Valle, 2010) En cuanto a clima llegan a haber lluvias de tipo mediterráneo o en el invierno y lluvias monzónicas en verano. De acuerdo con Case y Cody (1983) citado por Ezcurra et al. (2002) hay 16 especies de anfibios, 162 de aves marinas, 148 reptiles, 206 aves y 108 de mamíferos de todas ellas 94 son endémicas; al igual se encuentran 33 mamíferos marinos y 872 especies de peces. La comunidad vegetal de esta región es de más de 200 especies de árboles tropicales (Ezcurra et al., 2002). Las especies de arbusto son, el conocido como Gobernadora (*Larrea tridentata*) y la Hierba de Burro *Franseria dumosa*); de las cactáceas se encuentra la Cholla (*Opuntia cineracea*); y de xerorriparias ejemplares como el Mimbres (*Chilopsis linearis*) y el Mezquitillo (*Dalea spinosa*) (Benavides, Millán & Valle, 2010).

2.4 Protección costera

Los ecosistemas costeros son una gran red biológica donde se pueden encontrar varios microhábitats, esto permitiendo que haya una gran diversidad de especies (Villanueva, *et al.*, 2010). Ecosistemas como dunas, manglares y humedales sirven para frenar la fuerza con la que llegan los ciclones, huracanes, tormentas, vientos e inundaciones, al igual que a retener el sedimento. (Fernández, *et al.*, 2022; Hülsen, 2023).

Estas zonas están en constante contacto con diferentes elementos que ocasiona que no sean tan estables (Villanueva, *et al.*, 2010). Estos pueden ser tanto naturales como de origen antropogénico. En el caso de los naturales se encuentran condiciones climáticas a las que constantemente se enfrentan, al choque del agua en la costa, aumento o disminución del nivel del mar, la luz, entre otros (Liu, *et al.*, 2020; Valdés, 2012). Por otro lado, los factores antropológicos son turismo, pesca, minería, crecimiento de ciudades costeras, etc. (Escamilla, 2023; Valdés, 2012).

La erosión costera es un proceso natural ocasionado por factores climatológicos, como el viento, las lluvias, las mareas y el constante choque de las olas en la orilla (Aldana, *et al.*, 2009). Sin embargo, esto es acelerado por el calentamiento global, ocasionando incremento del nivel del mar cubriendo cada vez más territorio y una mayor intensidad en las tormentas; otra variable son las acciones humanas, como las que se mencionaron con anterioridad. (Escamilla, 2023; Valdés, 2012).

Estos ecosistemas son de suma importancia tanto económica como ecológica; prohíben de alimento tanto a humanos como a otras especies, algunos animales únicamente tienen a sus crías ahí, sirven como espacios recreativos para turismo, etc. pero algo muy relevante es su función como barreras naturales (Fernández, *et al.*, 2022)

3. Método

3.1 Muestreos aéreos

Se realizaron sobrevuelos en aeronaves sobre la costa del Pacífico de la Península de Baja California durante los años 2016, 2018, 2019 y 2022. Cada año se cubrió la misma ruta dividida en zona norte y sur en los meses de abril o mayo. Donde la zona sur cubrió el área entre Isla Asunción en Baja California Sur hasta Bahía Vizcaino, incluyendo las islas Natividad, Cedros y Benitos. Para esta se utilizó el aeropuerto de Isla de Cedros como punto de origen y destino. Para la zona norte, se utilizó como base el aeropuerto de Ensenada, Baja California y se cubrió el área correspondiente de Punta Eugenia a Playas de Tijuana, incluyendo las islas San Jerónimo, San Martín, Todos Santos y Coronados.

En cada vuelo, se contó con dos fotógrafos que tomaron imágenes de la costa utilizando cámaras DSLR con lentes 300 y 400 mm, mientras se volaba a una altura de entre 100 y 200 metros sobre el terreno y con una velocidad de aproximadamente 150 km/h. Un tercer tripulante se encargó de la toma de datos y manejo de los equipos GPS para guardar el trayecto (*track*) y puntos de interés (*waypoints*). Cada fotografía se georreferenció utilizando el *track* de GPS a bordo sincronizado con el reloj de cada cámara mediante el software GPSPRUNE 23.2 (Activity Workshop, 2023).

3.2 Análisis fotográfico

A partir de 16,524 fotografías obtenidas de cuatro años de muestreo se realizó una búsqueda visual de fotografías donde se observó actividad de extracción de canto rodado en playas, buscando indicios como costales, personas realizando la extracción, herramientas tales como

palas o cernidores, y vehículos, incluyendo carros y camionetas tipo pick-up que estuvieran presentes mientras la gente saqueaba canto rodado o si se observaba que dentro tenían costales. Una vez identificadas las fotografías se separaron las secuencias de imágenes correspondientes y se procedió a hacer un conteo de dichos elementos.

Para cuantificar la actividad, se utilizó el programa Dot Dot Goose v. 17.0 (American Museum of Natural History, 2024) donde se crearon las categorías descritas en la Tabla 1. Se puso especial atención en contar cada elemento sólo una vez, ya que el mismo elemento puede aparecer en varias imágenes consecutivas o en una ráfaga de fotografías posterior.

Tabla 1. Leyenda utilizada para los conteos.

Elemento	Descripción
Construcción	Construcciones que se han hecho en zonas donde se recolecta
Costal	Costal promedio (61x15x38cm) rellenos del canto rodado extraído
Costal grande	Costales grandes (89 x 102 x 112cm) rellenos de canto rodado extraído
Niños	Niños presentes o trabajando en la recolección del canto rodado
Persona R	Persona recolectando canto rodado
Persona M	Persona extrayendo cosas del mar
Rutas	Caminos que se han abierto en playas vírgenes para el paso de automóviles, camiones y maquinaria
Vehículo	Automóviles presentes

Una vez finalizados los conteos en las fotografías se ingresaron los datos en hojas de Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2024) que a su vez se emparejaron con base de datos de coordenadas de cada fotografía en el Microsoft Access (Microsoft Corporation, 2024 V16.82) mediante una consulta cruzada. Esto permitió obtener una base de datos para cada

año, que posteriormente se descargaron en formato Excel, conteniendo coordenadas, nombre de archivo de la fotografía, fecha, hora y las categorías de conteo descritas en la tabla 1.

Las hojas de Excel con los datos se importaron al programa de sistemas de información geográfica QGIS V. 3.36 (QGIS Project, 2024) para generar mapas de la actividad por año.

Con la información obtenida de las hojas de Excel se observó qué playas tenían presencia de la extracción de canto rodado y con esto se hizo la selección de las playas con las que se iba a trabajar. Dichas playas, fueron divididas por zonas. La zona Norte englobando la playa Punta Colonet, Camalú y Vicente Guerrero; zona Centro: Bahía San Quintín donde se encuentra la playa La Chorera; y zona Sur: Punta Baja y El Rosario donde se encuentra la playa Valle Tranquilo (Figura 2).

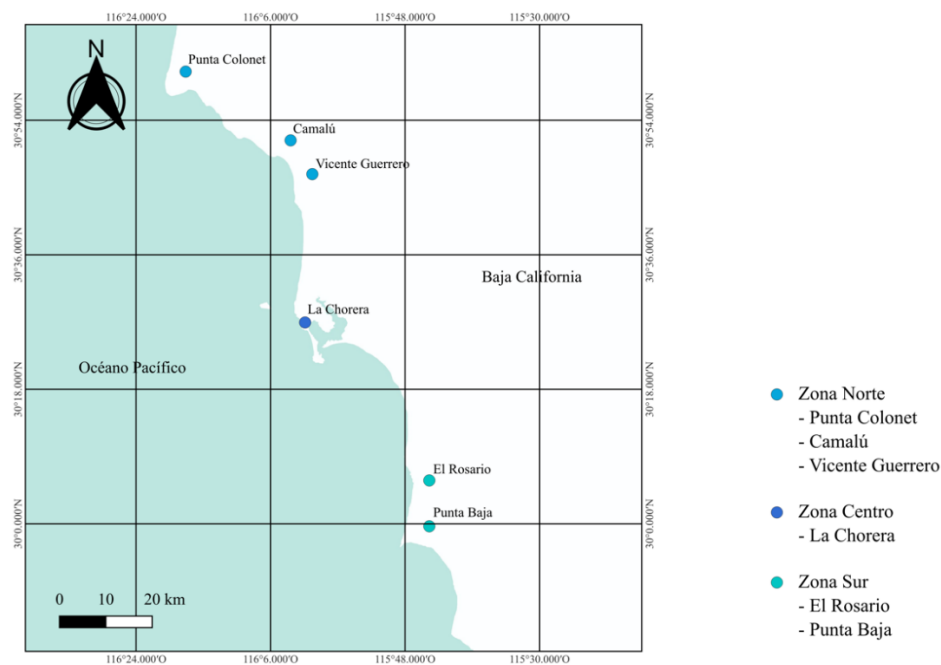


Figura 2. Se muestra en el mapa donde están ubicadas cada una de las playas mencionadas y cómo se separaron por zonas. En la zona Norte, Punta Colonet, Camalú y Vicente Guerrero; en la zona Centro la playa La Chorera; y la zona Sur con El Rosario y Punta Baja.

Con los mapas generados, se midió la extensión del área con extracción en las diferentes playas de 2016 a 2022 con la herramienta “Medir línea” en QGIS V. 3.36 (QGIS Project, 2024), con esto se realizaron gráficas para mostrar tendencias de extracción por playas y entre años.

3.3 Muestreo en campo

Durante los meses de mayo a julio de 2022 se realizó en coordinación con la organización de conservación Terra Peninsular A.C. visitas a algunas de las playas afectadas por la actividad que habían sido previamente identificadas en el análisis fotográfico. Los esfuerzos se concentraron en playas cercanas a la Bahía de San Quintín, puesto que ahí es donde se ubica la estación biológica de Terra Peninsular, donde se localizaba nuestro campamento base. De igual forma, muchas de las otras playas se encontraban bastante alejadas y varias de estas eran de muy difícil acceso. Otro limitante para estudiar playas más lejanas era el presupuesto con el que se contaba y la disponibilidad de los trabajadores de Terra Peninsular que colaboraron.

A lo largo de estas visitas se volaron dos aeronaves no tripuladas tipo drone, modelos DJI Phantom 4 Pro, y DJI Mavic 2 Pro (Figura 3) ambos capturando fotos de 20 MP. Para los dos drones se utilizaron los programas de vuelo autónomo para mapeado Drone Deploy (Drone Deploy Inc., 2023) y DJI Terra (DJI, 2022). Los vuelos se configuraron para cubrir la línea de costa, a una altura de 60 m sobre el terreno. La resolución obtenida en estas imágenes fue de 5 cm por píxel.

Posteriormente las imágenes se procesaron con el programa de código abierto Open Drone Map (OpenDroneMap Contributors, 2022) para generar ortomosaicos de alta resolución.



Figura 3. Realizando vuelos con dron DJI Mavic 2 Pro en las costas de Baja California durante el verano del 2022 (Fotografía tomada por Alejandro Arias del Razo).

3.4 Cálculo de costales

A fin de estimar la cantidad de cantos rodados extraídos, a partir de los costales contados en las imágenes aéreas se calculó el volumen de cada tipo de costal, pequeño y grande, previamente medidos en campo (Fig. 4), para utilizar el volumen como medida estándar. Los costales pequeños cuentan con una medida de 61x15x38 cm y los grandes 89x102x112cm. Se calculó el volumen multiplicando dichas medidas y transformando los cm^3 a m^3 , donde el total de los costales chicos fue 0.035m^3 y de los grandes 1.017m^3 .



Figura 4. Mediciones realizadas en campo de los costales chicos que se encontraron durante los muestreos. De largo midió un total de 61cm, de ancho 15cm y de largo 38cm.

Con esto se estandarizaron los conteos de costales pequeños y grandes en una única medida en m^3 (Tabla 2). No se utilizó la masa de los costales debido a que estos pueden contener piedra bola de diferentes dimensiones, costales con piedra de tamaño pequeño tendrán pesos superiores a lo que contengan piedras de mayor volumen.

3.5 Medición de la erosión

Los ortomosaicos se importaron como capa a Google Earth Pro (Google Earth Pro7.3.6.9750) para poder realizar comparaciones sobre cambios en el terreno, incluyendo dunas costeras con imágenes satelitales de alta resolución, obtenidas con ayuda de la herramienta “imágenes históricas”, del año 2012, 2014 y 2019.

Para hacer las mediciones, se ubicaron puntos de referencia entre ambas imágenes y se tomaron medidas del ancho de la duna en las imágenes y se obtuvo la diferencia entre los

años, esto se repitió en tres puntos distintos de cada playa revisada. Adicionalmente, para la playa La Chorera, Terra Peninsular proporcionó un ortomosaico generado en 2020, por lo que también se incluyó en la comparativa.

Adicional a estas comparaciones, los ortomosaicos generados en este estudio tienen el propósito de servir como línea base para el monitoreo a futuro de cambios en el paisaje y topografía de estas playas.

3.6 Impacto social

Utilizando los conteos realizados se hizo un cálculo sumando en cada hoja de Excel, de los cuatro años muestreados, el total de las personas trabajando en esta actividad durante el muestreo localizadas en las fotografías. Así mismo, se hizo otro cálculo donde de igual forma se sumaron todas las cifras de los conteos donde se registraron niños. Con estos datos se realizaron gráficos.

A fin de incluir información sobre el impacto social que genera esta actividad, especialmente en grupos vulnerables como niños o migrantes, se realizaron entrevistas no estructuradas con actores clave de la región a fin de recabar información sobre pagos, esquemas laborales y problemáticas sociales asociadas a la recolección de piedra bola. Las personas entrevistadas fueron el exoficial de campo de Terra Peninsular A. C, Héctor Sánchez, el biólogo de campo Daniel Olguín y Agustina Murillo, persona de la comunidad en La Chorera.

4. Resultados

4.1 Zonas de extracción de piedra bola

En el año 2016 la extracción de canto rodado estuvo presente desde Punta Colonet, bajando por Camalú, Vicente Guerrero, La Chorera, El Rosario y terminando en Punta Baja (Fig. 5). En dónde se observó una mayor cantidad de costales fue en la zona norte, entre Punta Colonet y Vicente Guerrero y la menor en el sur, entre Valle Tranquilo y Punta Baja.



Figura 5. Zonas costeras de la Península de Baja California donde se identificó actividad de extracción de piedra bola durante 2016. El tamaño de los círculos representa la cantidad de costales contados en las imágenes aéreas, mientras más grande, mayor el número de costales encontrados.

Dos años después, en 2018, se encontraron diferencias en las zonas de extracción de piedra bola. Algunas playas entre Punta Colonet y Vicente Guerrero donde se registró recolección en 2016, se encontraron vacías en 2018 (Fig. 6). Así mismo, se notó una disminución de la actividad en playas cerca de La Chorera y El Rosario. No obstante, al sur de Punta Baja se observaron nuevas zonas de extracción.



Figura 6. Zonas costeras de la Península de Baja California donde se identificó actividad de extracción de piedra bola durante 2018. El tamaño de los círculos representa la cantidad de costales contados en las imágenes aéreas, mientras más grande, mayor el número de costales encontrados.

En el 2019 se observó la actividad dentro de las mismas zonas. Sin embargo, en algunas de éstas se notó una disminución en el número de costales encontrados. Alrededor de Punta Colonet y Vicente Guerrero hubo incremento (Fig. 7) en comparación con las cifras del 2018 (Fig. 6), pero, si se compara con el año 2016 (Fig. 5) se nota una disminución. En

la playa La Chorera ya no hay prácticamente nada de actividad, únicamente unos cuantos costales que, cuando la marea aumentó, nuevas piedras bola surgieron. En el norte y sur de El Rosario se notó un incremento en la extensión de las playas donde se lleva a cabo la actividad. Sin embargo, el número de costales encontrados fue menor que en el año anterior.



Figura 7. Zonas costeras de la Península de Baja California donde se identificó actividad de extracción de piedra bola durante 2019. El tamaño de los círculos representa la cantidad de costales contados en las imágenes aéreas, mientras más grande, mayor el número de costales encontrados.

Para el año 2022, la Zona Norte presenta una disminución (Fig. 8) en comparación con el 2016 (Fig. 5). En La Chorera la actividad cesó por completo esto debido a que ya no hay canto rodado. En El Rosario persiste, pero en menor cantidad, al igual que en Punta Baja.



Figura 8. Zonas costeras de la Península de Baja California donde se identificó actividad de extracción de piedra bola durante 2022. El tamaño de los círculos representa la cantidad de costales contados en las imágenes aéreas, mientras más grande, mayor el número de costales encontrados.

4.2 Cantidad de Costales de Canto Rodado

Costal chico

$$61 \times 15 \times 38 \text{ cm} = 34,770 \text{ cm}^3$$

$$\frac{34770 \text{ cm}^3}{1000000} = 0.035 \text{ m}^3$$

Costal grande

$$89 \times 102 \times 112 \text{ cm} = 1,016,736 \text{ cm}^3$$

$$\frac{1016736 \text{ cm}^3}{1000000} = 1.017 \text{ m}^3$$

Con estos resultados se calculó que cada costal grande puede contener el mismo volumen que 29 costales pequeños.

Costales pequeños que caben dentro de un costal grande

$$\frac{1.017 \text{ m}^3 \text{ grandes}}{0.035 \text{ m}^3 \text{ chicos}} = 29.05$$

Con ayuda de los cálculos realizados se pudo conocer la cantidad total de costales de canto rodado en los muestreos realizados en cuatro años (Tabla 2).

Tabla 2. Cantidad de piedra de bola extraída de las playas de Baja California, en los años 2016, 2018, 2019 y 2022

Año	Costales chicos	Costales grandes	Total de costales*	Volumen total (m ³)
2016	1648	1040	1097	1,115.64
2018	9015	796	1107	1,125.81
2019	5052	983	1157	1,176.66
2022	5926	371	575	584.77

*se realizó un cálculo para tener un total de costales donde la cantidad de chicos fuera equivalente a la cantidad de los grandes.

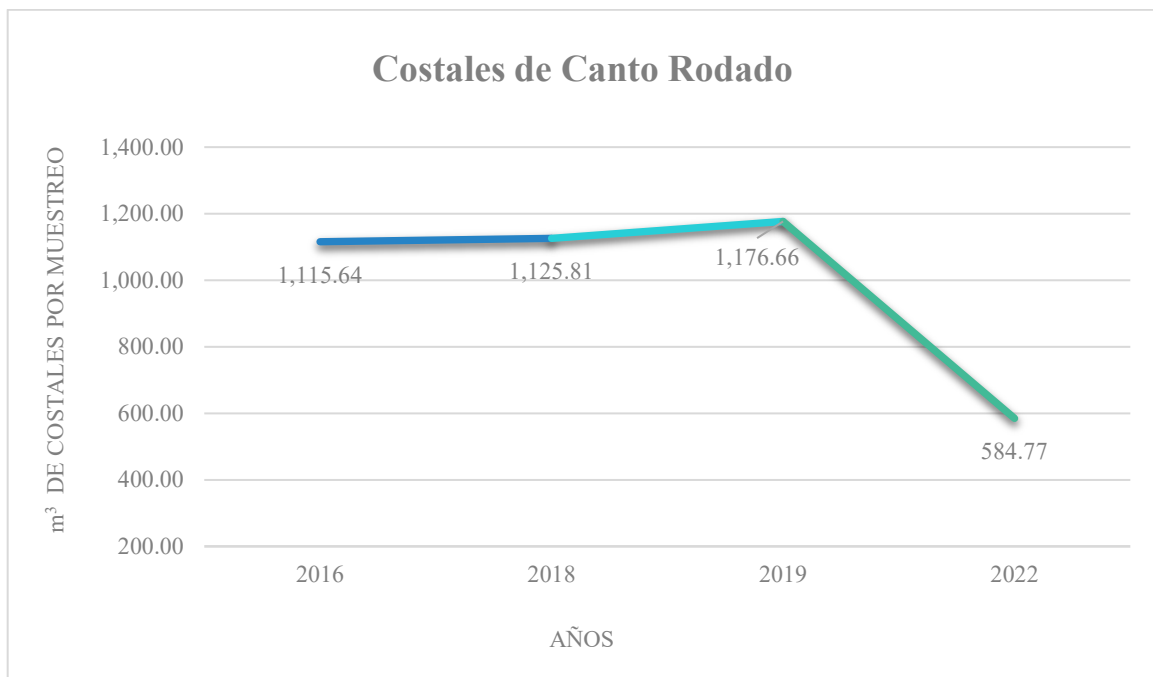


Figura 9. Gráfica del volumen en m³ de costales de canto rodado encontrados en los muestreos realizados durante el 2016, 2018, 2019 y 2022. La línea azul muestra como la cantidad va bajando conforme el paso de los años hasta decaer casi por completo en 2022.

4.3 Extensión de la actividad

En la zona al norte de la Bahía de San Quintín, donde encontramos las playas Punta Colonet, Camalú y Vicente Guerrero, con el paso de los años ha aminorado la extensión donde se hacía remoción del canto rodado. Como se puede ver en la figura 10, en el año 2016 la extensión era de 44.52 km, en el 2018 se redujo a 28.13 km; para el año 2019 el cambio fue menor dando como total de extensión 27.85 km; y por último en el año 2022, donde, el cambio igual fue menos drástico, dio como total 22.58 km.

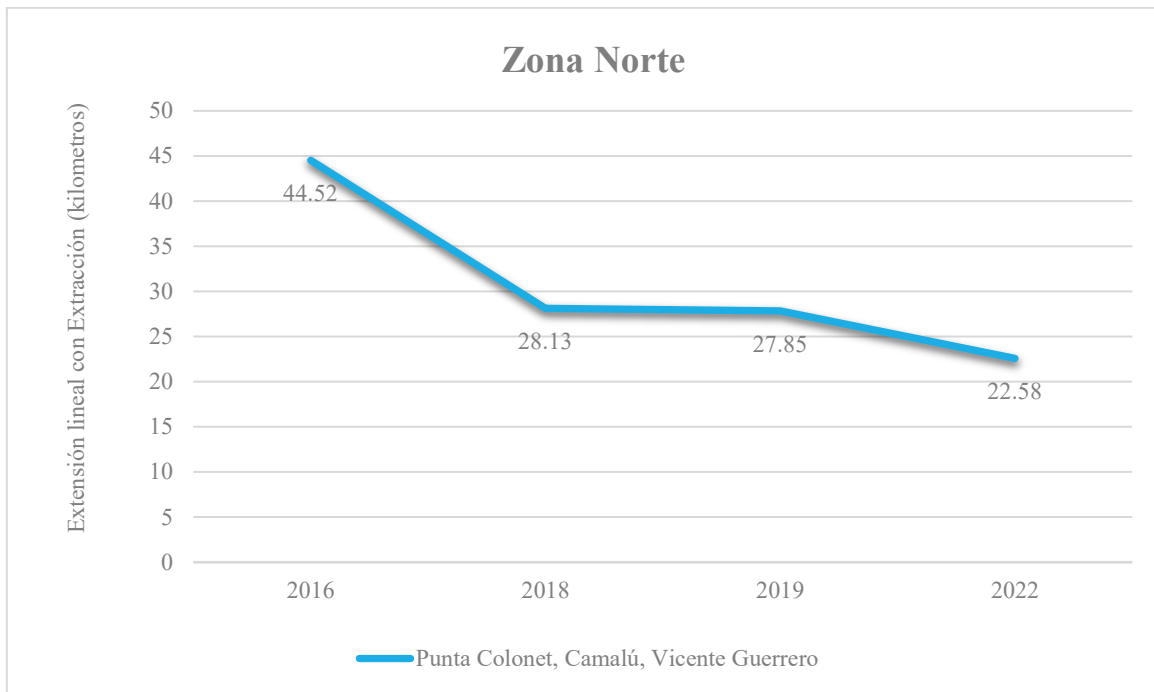


Figura 10. Representación gráfica de la extensión lineal donde se lleva a cabo la remoción de la piedra bola en la Zona Norte de la Bahía de San Quintín, donde se encuentran las playas Punta Colonet, Camalú y Vicente Guerrero. Cada punto marca los kilómetros en los que se extendió la actividad en los diferentes años de muestreo.

En la zona centro (Fig. 11), en la Bahía de San Quintín, también se observa un declive en la extensión lineal de extracción. En 2016 se tenía un total de 18.47 km; en el año 2018 bajó dando un total de 4.85 km; decayendo casi por completo, en 2019 solo se extendía esta actividad en 1.05 km de la playa; por último, en el año 2022 la actividad cesó por completo por lo que la extensión fue de 0 km.

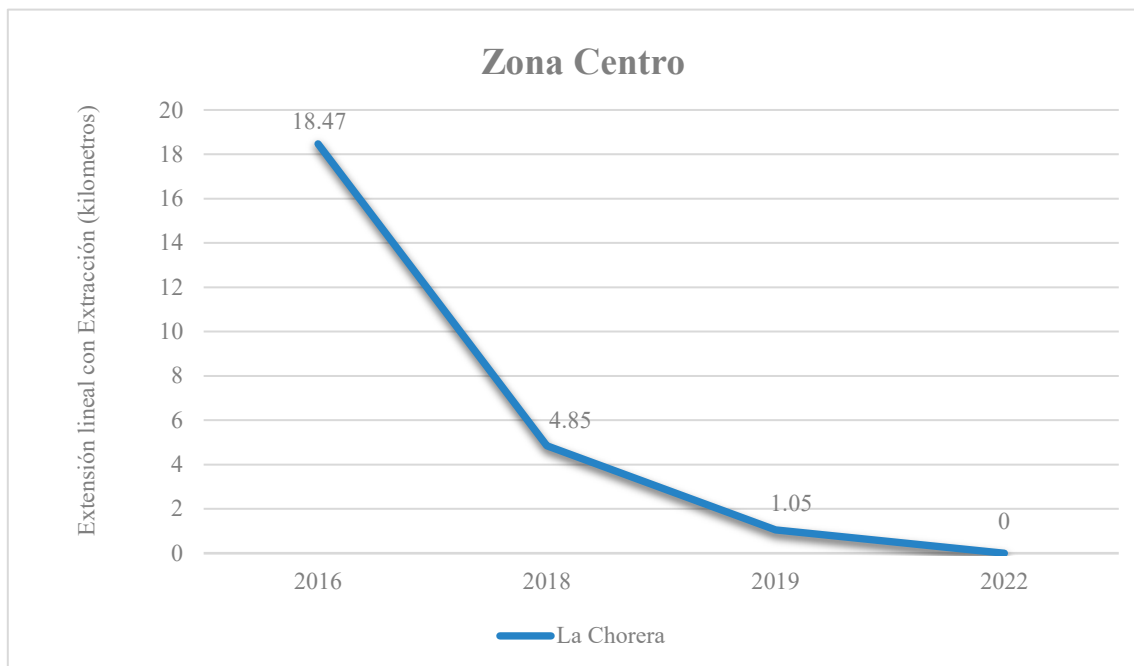


Figura 11. Representación gráfica de la extensión lineal donde se lleva a cabo la remoción de la piedra bola en la Zona Centro, en la Bahía de San Quintín, donde se encuentran la playa La Chorera. Cada punto marca los kilómetros en los que se extendió la actividad en los diferentes años de muestreo.

En último lugar, la zona al sur de la Bahía de San Quintín (Fig. 12), donde se engloban las playas de Valle Tranquilo, El Rosario y de Punta Baja, en contraste con las otras dos zonas, la extensión de la zona de extracción de piedra bola aumentó a lo largo de los años. Empezando en 2016 con un total de 22.52 km; para el año 2018 fue de 19.28 km bajando un poco el total del área; en el 2019 el número aumentó tanto comparando con el 2018 como con el 2016 con un total de 31.46 km; en 2022 se extendió aún más el área de extracción de piedra bola con un total de 40.13 km.

Como se puede observar en los mapas presentados anteriormente, en 2016 (Fig. 5) la actividad era principalmente en El Rosario, en la parte norte, y un poco en Punta Baja. Para

2018 (Fig. 6) seguía presente en El Rosario, sin embargo, era en menor cantidad y por el contrario, en Punta Baja aumentó un poco la extensión. En 2019 (Fig. 7) estaba menos presente en la parte sur de Punta Baja, pero en la parte norte se extendió, en El Rosario permaneció similar a los años anteriores. Por último, en el año 2022 (Fig. 8) el área con extracción fue mayor en el norte de Punta Baja.

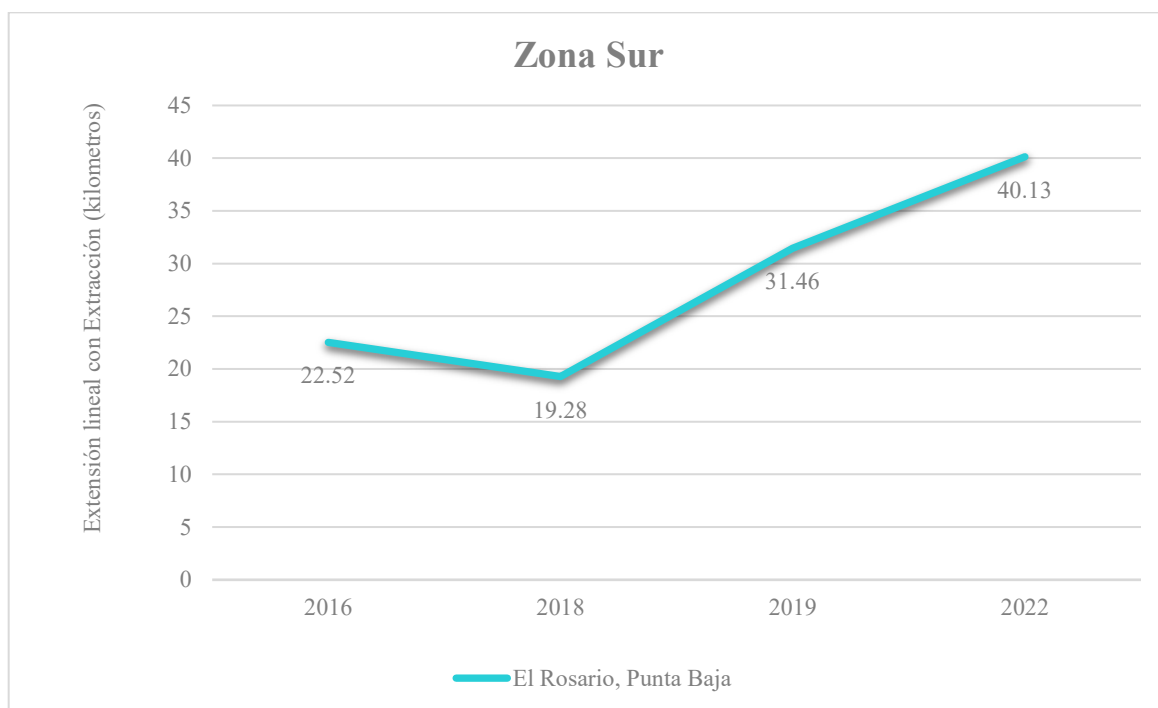


Figura 12. Representación gráfica de la extensión lineal donde se lleva a cabo la remoción de la piedra bola en la Zona Sur de la Bahía de San Quintín, donde se encuentran las playas El Rosario y Punta Baja. Cada punto marca los kilómetros en los que se extendió la actividad en los diferentes años de muestreo.

Con el promedio calculado, para tener una mejor representación de la extensión lineal en cada una de las Zonas a lo largo de los cuatro años monitoreados, pudimos obtener que las zonas de mayor extracción fueron la Zona Norte con un promedio de los cuatro años de

30.77 km, siguiendo la Zona Sur con 28.35 km y en último lugar, siendo la zona con menor extensión de la actividad, la Zona Centro con 6.09 km.

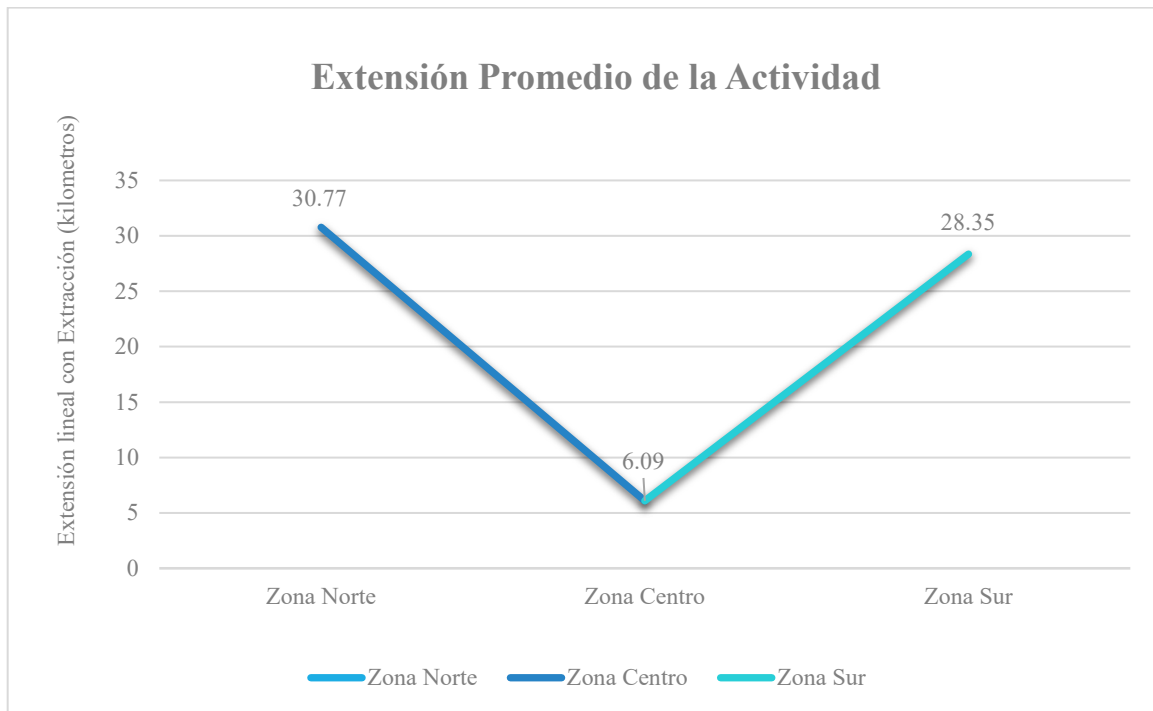


Figura 13. Representación gráfica de la extensión lineal promedio de las tres zonas, al norte, centro y sur de la Bahía de San Quintín, a lo largo de los cuatro años de muestreo. Cada punto representa los kilómetros en promedio que se abarcaron en cada zona durante 2016, 2018, 2019 y 2022.

4.4 Análisis de ortomosaicos

Se analizaron los ortomosaicos de los años 2020 y 2022, y una imagen satelital del año 2012, obtenida de Google Earth Pro, de la Playa la Chorera. En la primera medición (Fig. 14a) se muestra la imagen satelital del 2012 donde el tamaño de la duna fue de 153 m de largo. En el ortomosaico del 2020 hubo un pequeño cambio en la longitud de la duna con 150 m. Para el año 2022, en la letra C), se muestra un cambio un poco más grande ya que la duna midió

142 m. Con esto podemos ver como en ocho años la duna se redujo 3m; sin embargo, en el lapso de dos años, la duna se redujo 8m.

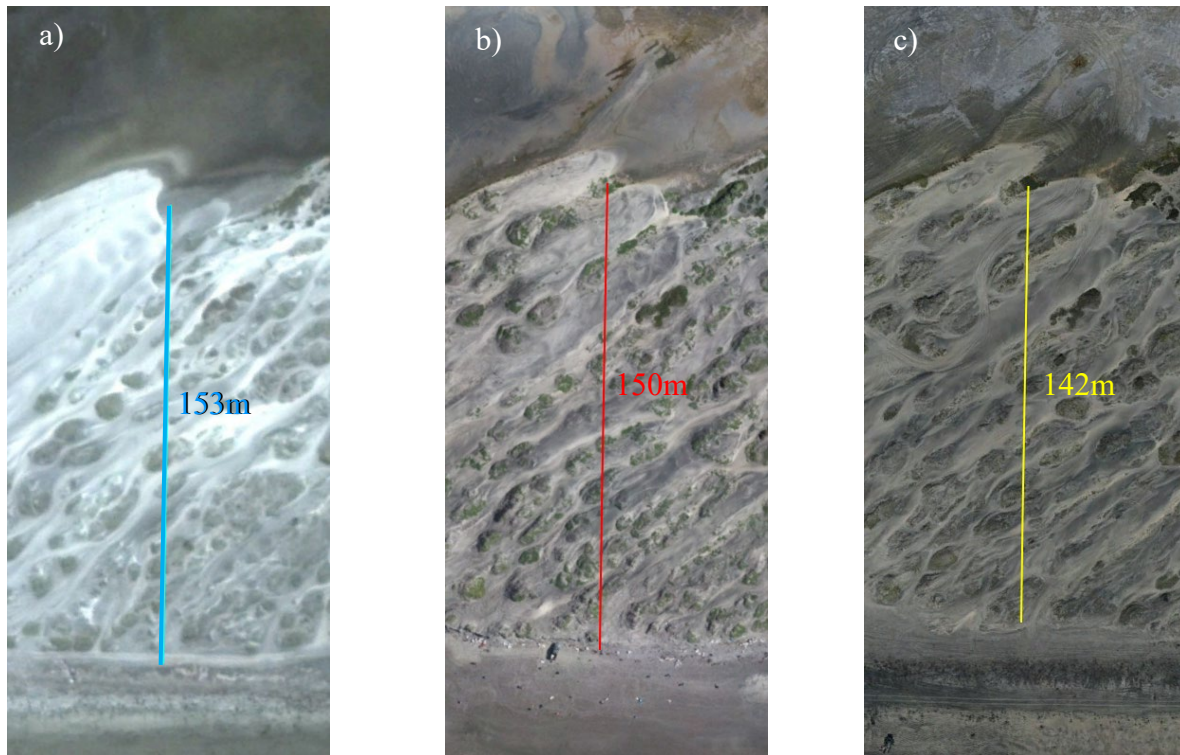


Figura 14. Primera medición de dunas en la playa La Chorera para hacer comparativa de la degradación de la duna a lo largo de los años. **a)** Imagen satelital del año 2012 con un total de 153m. **b)** Ortomosaico del año 2020 con un total de 150m. **c)** Ortomosaico del año 2022 con un total de 142m.

Para la segunda medición (Fig. 15) se realizó lo mismo con excepción del punto de referencia para medir la duna. En la imagen del 2013 la longitud fue de 160 m. Para el año 2020 se redujo únicamente dos metros. Sin embargo, para el año 2022 la longitud se redujo 8 metros, midiendo 150 m en total. Demostrando así que en el lapso de diez años, la longitud de la duna disminuyó 10m

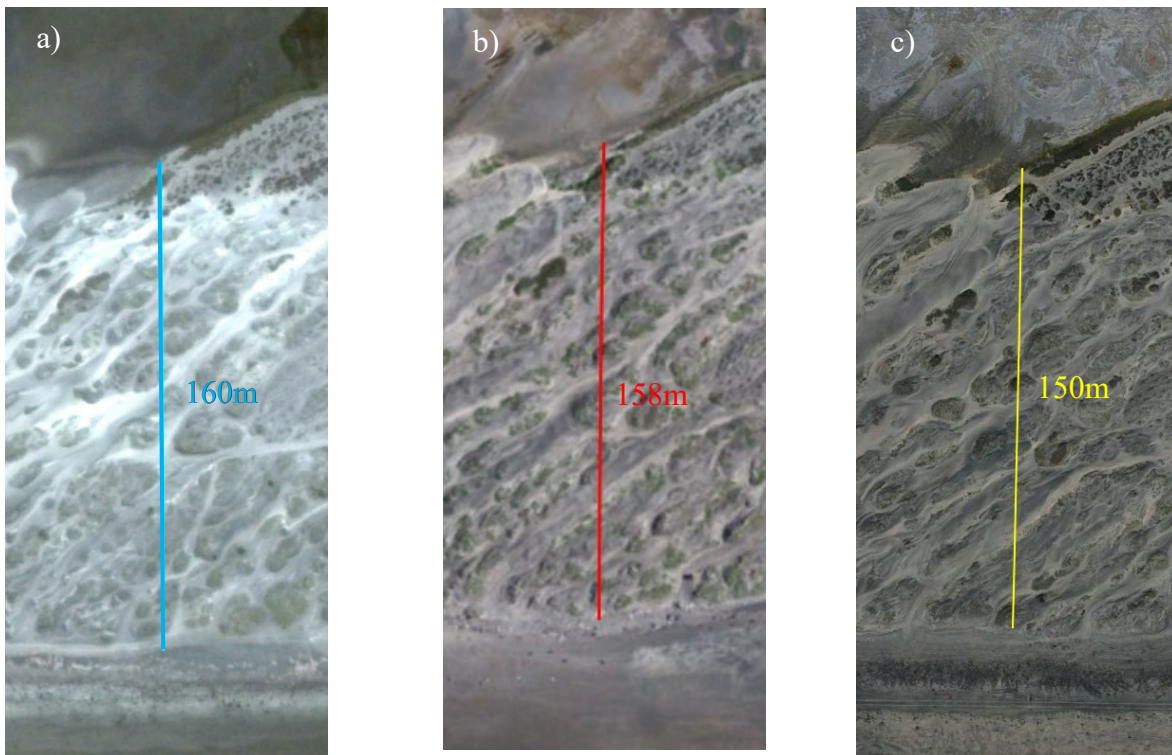


Figura 15. Segunda medición de dunas en la playa La Chorera para hacer comparativa de la degradación de la duna a lo largo de los años. **a)** Imagen satelital del año 2012 con un total de 160m. **b)** Ortomosaico del año 2020 con un total de 158m. **c)** Ortomosaico del año 2022 con un total de 150m.

Finalmente, en la tercera medición (Fig. 16) vemos que en la imagen satelital la duna mide 186m. En el ortomosaico del 2020 dio un total de 182 m. Por último, en el año 2022 la longitud de la duna disminuyó nuevamente 8 metros, dando un total de 174 m. Observando que de 2012 a 2020 la longitud de la duna bajó 4m, y de 2020 a 2022 bajó 8m.

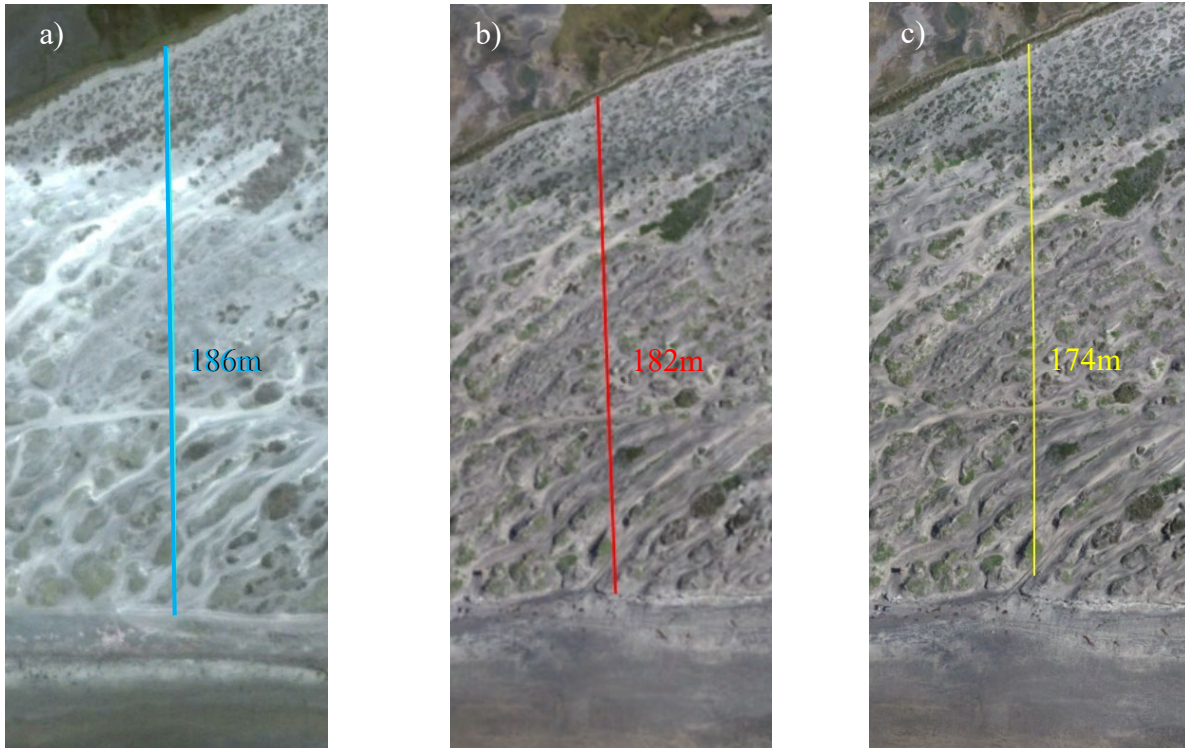


Figura 16. Tercera medición de dunas en la playa La Chorera para hacer comparativa de la degradación de la duna a lo largo de los años. **a)** Imagen satelital del año 2012 con un total de 186m. **b)** Ortomosaico del año 2020 con un total de 182m. **c)** Ortomosaico del año 2022 con un total de 174m.

En promedio, la duna de la playa La Chorera se redujo 11 m desde el año 2012. Así mismo, es posible ver en las imágenes como ha ido desapareciendo el canto rodado. En 2012 se puede ver la playa con una franja de color más oscuro, esto son las piedras, de igual forma se puede observar la cantidad de piedra presente en este año en la letra a figura 17. En el 2016, (letra b Fig.17) ya se puede observar un cambio en qué tanta piedra hay y como la gente la está saqueando. Para el año 2019 se observa una gran diferencia (letra c Fig. 17), y en el 2020 la arena se ve mucho más uniforme y clara sin casi nada de canto rodado. Por último, en el 2022 (letra d Fig. 17) se puede volver a ver un poco de la piedra.

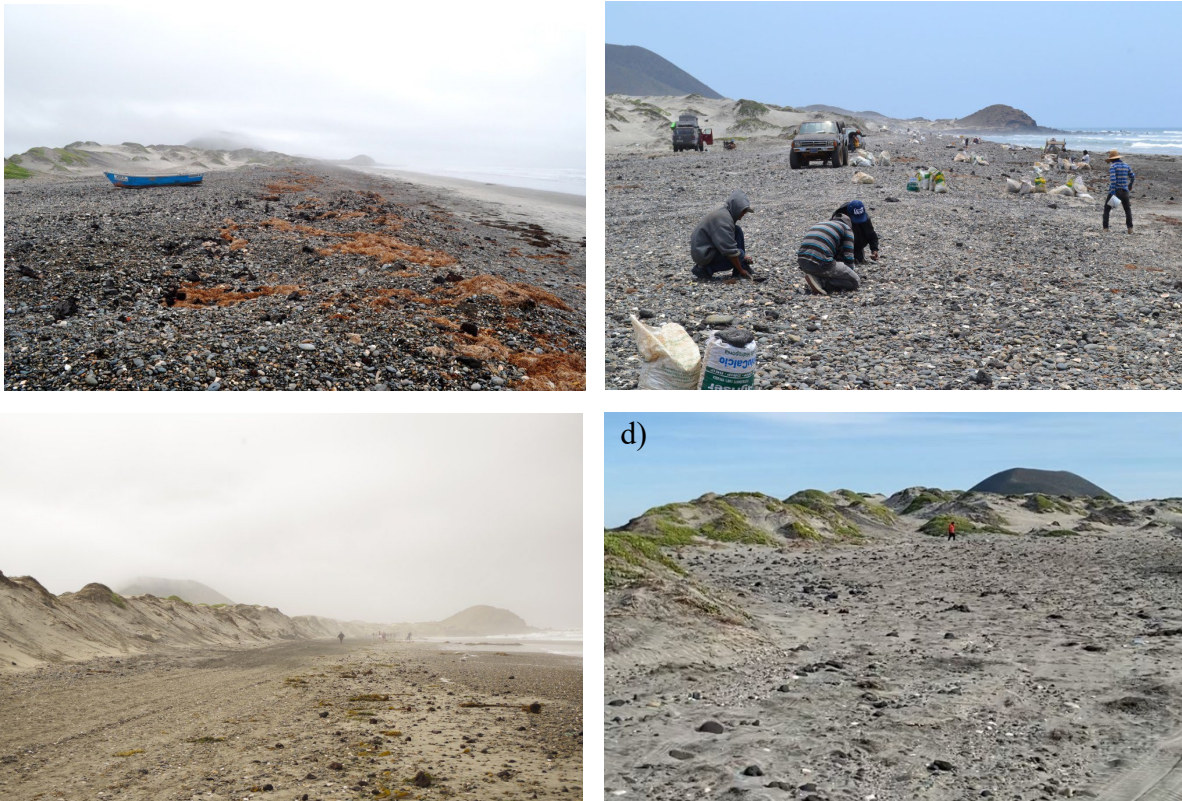


Figura 17. En la fotografía **a)** tomada por Terra Peninsular A. C en el año 2012, se puede observar una mayor cantidad de piedra bola en la costa. En la fotografía **b)** tomada por Terra Peninsular A.C en el 2016 se ve una menor cantidad de piedra y como la gente la está extrayendo. **c)** fotografía de Terra Peninsular en el 2019 donde se ve un notorio cambio en la cantidad de canto rodado presente **d)** fotografía tomada por Sofía Flores Mejía en el año 2023, se ve como hay solo unas cuantas piedras y de mayor tamaño.

En la zona de El Rosario, en la playa de Valle tranquilo, se analizó el ortomosaico del 2022, una imagen satelital del año 2014 y una del 2019. Se eligieron esos años ya que eran las imágenes disponibles con fechas más cercanas a las utilizadas para La Chorera. En esta playa, no se midieron las dunas ya que aquí se encuentran acantilados. La primera medición (Fig.18a) se muestra la imagen satelital del 2014 donde el tamaño del acantilado fue de 142m de largo. En la del 2019 hubo un pequeño cambio con un total de 138m. Para el año 2022 (Fig. 18c) se puede observar que no hubo ningún cambio ya que igualmente midió 138m. Demostrando que en el lapso de ocho años la longitud del acantilado bajó únicamente 4m.

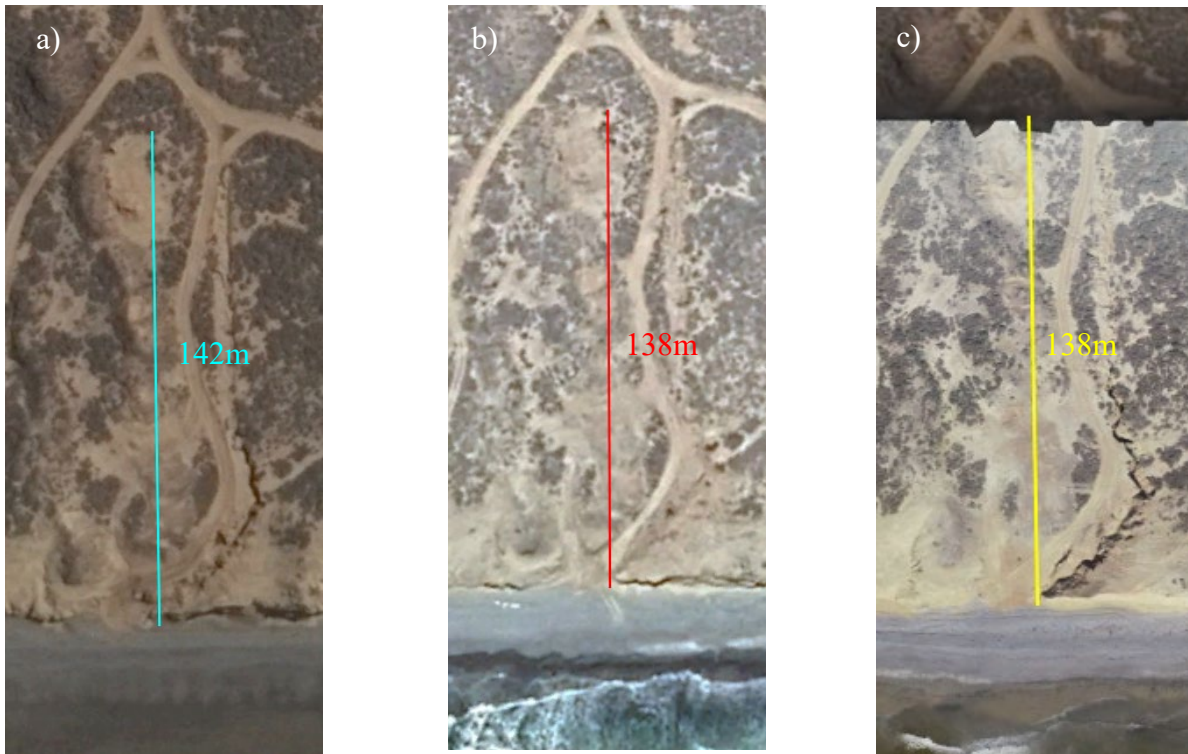


Figura 18. Primera medición de dunas en la playa Valle Tranquilo para hacer comparativa de la degradación del acantilado a lo largo de los años. **a)** Imagen satelital del año 2014 con un total de 142m. **b)** Imagen satelital del 2019 con un total de 138m. **c)** Ortomosaico del año 2022 con un total de 138m.

En la segunda medición del acantilado (Fig. 19a) en la imagen satelital del 2014 fue de 140m. Reduciéndose 4m, para la imagen de 2019, midió 136m. Por último, en el ortomosaico del 2022 igual hubo un cambio, pero menor, dando como total 134m. En esta medición hubo un mayor cambio, mostrando que de 2014 a 2022 el acantilado se redujo 6m

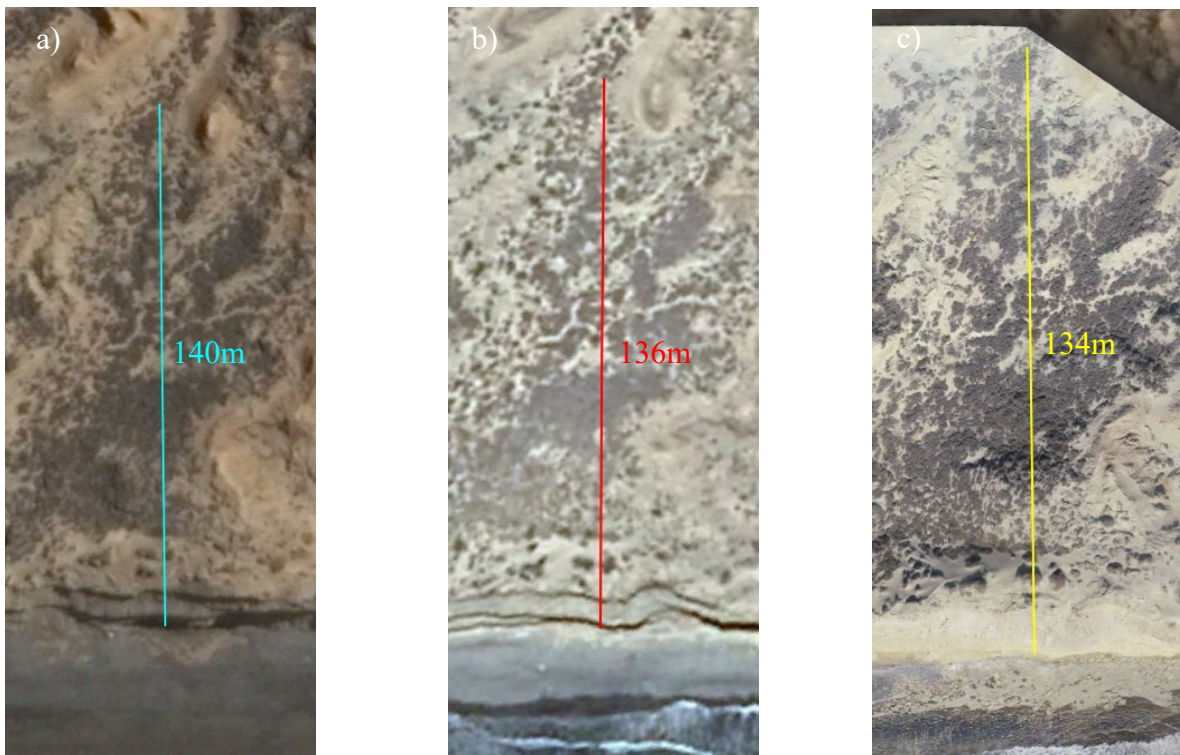


Figura 19. Segunda medición de dunas en la playa Valle Tránsito para hacer comparativa de la degradación del acantilado a lo largo de los años. **A)** Imagen satelital del año 2014 con un total de 140m. **b)** Imagen satelital del 2019 con un total de 136m. **c)** Ortomosaico del año 2022 con un total de 134m.

Finalmente, en la tercera medición los cambios fueron mínimos (Fig.19). En 2014 el acantilado midió 81m. En el año 2019 y 2022 éste se redujo únicamente 1 metro, midiendo 80m en total.

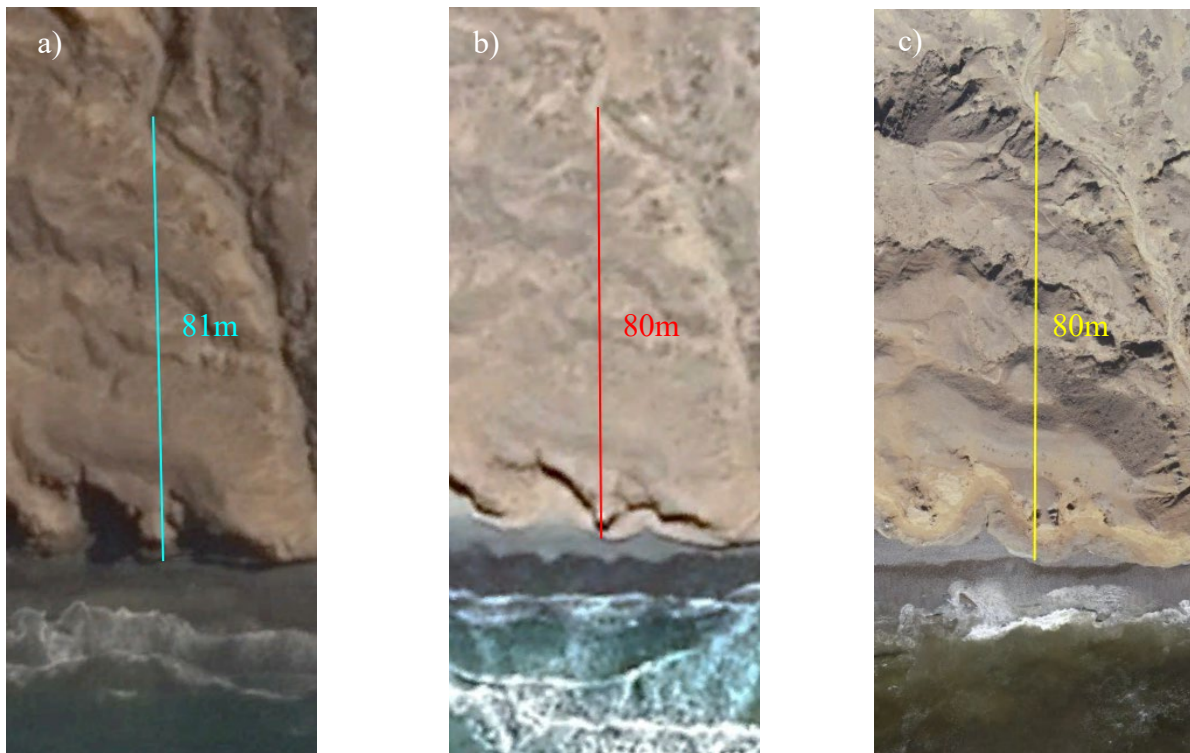


Figura 20. Tercera medición de dunas en la playa Valle Tranquilo para hacer comparativa de la degradación del acantilado a lo largo de los años. **A)** Imagen satelital del año 2014 con un total de 81m. **b)** Imagen satelital del 2019 con un total de 80m. **c)** Ortomosaico del año 2022 con un total de 80m.

Para esta playa no se encontraron fotografías que permitan ver con claridad como ha ido desapareciendo el canto rodado de las costas. Sin embargo, en los ortomosaicos es posible ver como la arena va cambiando de color, en unas se ve más oscura que en otras y menos heterogénea, esto, por la presencia del canto rodado.

Comparando esta playa con La Chorera, se puede notar que los cambios causados por la erosión no fueron tan notorios. Esto se puede deber a distintos factores, como, por ejemplo, que Valle Tranquilo es una zona mucho más alejada y difícil de acceder que La Chorera así que no ha podido sufrir un impacto tan grande como otras; de igual forma, es importante

tomar en cuenta que al ser imágenes aéreas no permita ver de forma clara la parte de abajo del acantilado que es donde se sufre la erosión por las olas.

4.5 Impacto social

En la figura 20 se observa la cantidad de personas recolectando canto rodado a lo largo de la costa durante el muestreo realizado. En el año 2016 tenemos la cifra más alta con un total de 307 personas. En 2018 el total bajó a 232 personas extrayendo piedra bola. Para 2019 la cifra fue de 102. Por último, para 2022 la cantidad de personas removiendo piedra bola fueron únicamente tres.

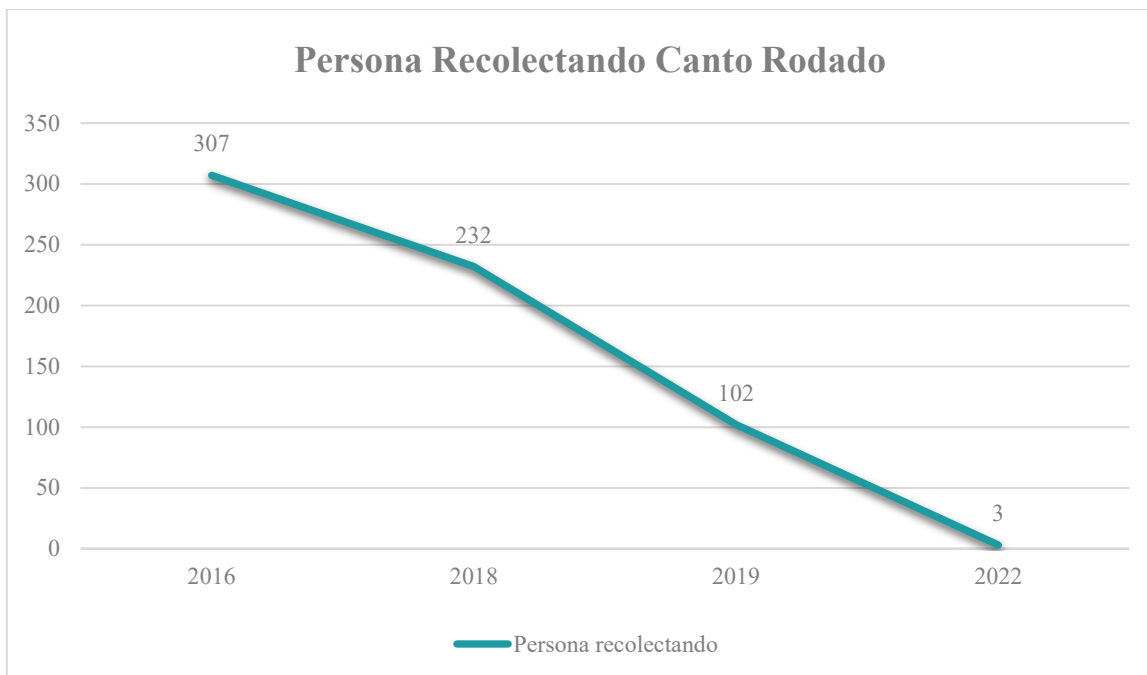


Figura 20. Gráfica de la cantidad de personas que fueron ubicadas en las fotografías aéreas recolectando canto rodado. Cada punto marca el número de individuos contabilizados en los muestreos de los cuatro años.

En referencia a los niños que se encontraban participando en la actividad de recolección (Fig. 21), la cantidad fue menor que la de los adultos. En el 2016 nuevamente fue la cifra más alta con un total de 43 niños; en 2018 disminuye a ocho niños; en 2019 sube un poco a 22 niños; y por último en 2022 no se encontró ningún niño en las fotografías.

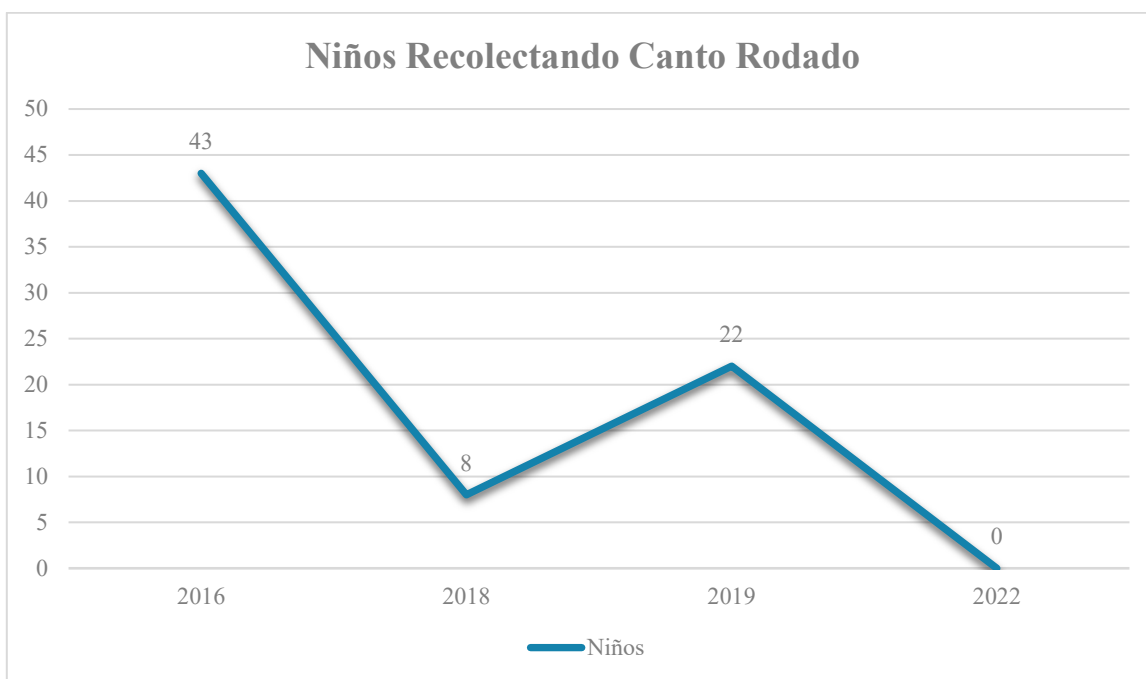


Figura 21. Gráfica de la cantidad de niños que fueron ubicados en las fotografías aéreas ayudando a la recolección de canto rodado. Cada punto marca el número de niños contabilizados en los muestreos de los cuatro años.

4.5.1 Entrevistas con gente de la comunidad

Con la información recabada en las entrevistas con actores clave de la región, se sabe que normalmente la gente que trabaja en esto son de bajos recursos, gente muy necesitada, adictos y migrantes. Existe una gran problemática con los migrantes como muchos de ellos no tienen papeles, tienen muy pocas probabilidades de encontrar un buen trabajo y se sabe que tienen

una gran necesidad, son sometidos a muy malas condiciones de trabajo, donde les pagan lo necesario para sobrellevar el día a día; de esta forma es muy complicado que ahorren y puedan conseguir un trabajo mejor, así reteniéndolos para seguir trabajando ahí; esto también es común para los trabajadores de campos de cultivos.

Los costales se venden a Estados Unidos, no obstante, solo hay un comprador principal, haciendo que haya mucha competencia en la venta. Otro factor que tomar en cuenta es que por cada costal se les paga únicamente alrededor de 30 MXN; por lo que, para ganar lo equivalente al salario mínimo actual diario (374.89 MXN), tendrían que vender aproximadamente 13 costales de canto rodado. Para poder cumplir esto pasan horas trabajando en el rayo del sol, de rodillas, cargando cosas pesadas, y en muchos casos, para cumplir con una cantidad considerable de costales trabajan más de la jornada laboral de 8 horas. Esto también provoca que en muchos casos haya niños trabajando ya que si los padres no pueden estar en casa cuidándolos los llevan con ellos.

En el caso específico de la Playa la Chorera, se mencionó por locales que hace ya muchos años la playa estaba cubierta de piedras, era similar a una plataforma que amortiguaba la fuerza de las olas al llegar a la costa. Actualmente ya no queda casi nada de piedra, es prácticamente pura arena por lo que las olas han ido desgastando las dunas que se encuentran aledañas a esta playa, de antes una pequeña tira de arena que había, ahora es toda la costa; se han notado cambios en las dunas. Que la playa haya quedado más lisa, igual facilita el paso de vehículos haciendo que más carros entren, y que incluso algunos vayan a hacer “donitas”, actividad que consiste en manejar rápidamente en círculos en la arena, ocasionando daños en la vegetación y disminución de fauna silvestre.

El biólogo Daniel Olguín, mencionó que en el invierno 2022-2023 las mareas en el área de La Chorera llegaron con tal fuerza e intensidad que erosionó gran parte del frente de las dunas que colindan con el Océano Pacífico alterando de manera drástica su paisaje y dejando casi irreconocible el lugar; además dejó al descubierto una gran cantidad de piedra bola cuando ya casi no se encontraba este recurso en la zona. El mar casi atravesó la línea que separa la Bahía Falsa del Océano Pacífico, si esto pasa, podría tener fuertes implicaciones ambientales, ya que se vería afectada la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y otros factores que regulan las condiciones para que las especies de flora y fauna puedan habitar este sitio, además de las actividades económicas como el cultivo de ostión que requiere condiciones específicas para poder criarse adecuadamente.

El biólogo Héctor Sánchez mencionó que ya hay algunas acciones que ha tomado el gobierno para tratar de frenar la remoción de la piedra bola, estas involucran otorgar concesiones o permisos para poder extraer la piedra de forma legal. Sin embargo, dichas concesiones solo abarcan una pequeña parte de las playas, por lo que en donde no se tienen, lo que la gente hace es, pasar las rocas a donde si está la concesión para que de esta forma parezca que están extrayendo de donde si está permitido.

5. Discusión

5.1 Extensión e intensidad de la recolección de Canto Rodado

Con el paso de los años se observa una diferencia en cuanto a la cantidad de canto rodado extraído dentro de las playas que fueron monitoreadas, esto puede ser resultado de una serie

de factores. Uno de ellos, es que pudo haber influido el flujo migratorio que se presenta entre Baja California y Estados Unidos. La importancia de esta zona fronteriza ha fomentado la llegada de migrantes, que, en algunos casos, terminan trabajando para la extracción ilegal de canto rodado para poder subsistir (Pineda, *et al.*, 2022) ya que en estas zonas hay muchos empleos en extracción de recursos pétreos, mineros y cultivos agrícolas. Descubrimientos similares fueron reportados en un estudio de las costas de Oaxaca, donde los investigadores encontraron que la cercanía que tienen las zonas donde se asientan los migrantes a grandes ciudades, se correlaciona con una mayor intensidad de extracción ilegal de recursos pétreos en playas (Martínez-Gómez *et al.*, 2018).

Otro factor para tomar en cuenta es que se ha observado que en algunos lugares ya se están implementando acciones para frenar la extracción ilegal (Flores, 2022; Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, 2018). Es probable que por esta razón haya un desplazamiento a otras áreas que aún no están vigiladas, presentándose como un aumento en la extracción de piedra bola en la Zona Sur para los últimos años monitoreados.

Adicionalmente, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) ha cerrado sus oficinas en Tijuana y Ensenada quedando únicamente la de Mexicali (Ruiz, 2021), reduciendo la supervisión y control de las actividades de aprovechamiento de recursos que se llevan a cabo en la zona, lo que ha facilitado la remoción de canto rodado en zonas más al sur del estado.

Tomando en cuenta lo anterior, se puede observar como la actividad fue disminuyendo con el paso de los años en las Zonas Norte (Figura 10) y en la Zona Centro (Figura 11) respaldando la hipótesis planteada de que el flujo migratorio y las nuevas regulaciones han provocado un desplazamiento de la extracción de piedra bola hacia la Zona

Sur, ya que en la Figura 12, al contrario de las otras dos zonas, se nota un incremento en la actividad en años más recientes.

5.2 Desgaste de dunas y acantilados

Tanto en la playa de la Chorera como en Valle Tranquilo se observaron cambios en los ecosistemas aledaños al mar. Posiblemente causado por la falta de canto rodado, ya que estos actúan como una barrera natural absorbiendo y disipando parte de la energía del oleaje (Parwati, *et al.*, 2022) si se remueve este elemento de las costas, la constante erosión provocada por las olas y otros factores climáticos, aumentan su impacto en las costas.

Una vez dicho esto, en las Figuras 14, 15 y 16 se puede ver claramente como es que la erosión ha provocado un desgaste significativo de las dunas, al ya no haber piedra bola este proceso se acelera, es por eso que vemos un mayor cambio en tan solo dos años, en comparación con el cambio que se da en aproximadamente ocho años.

En La Chorera hay dunas que al contar con vegetación fijan el sustrato, haciendo que sean más estables que las dunas de arena (Yizhaq & Ashkenazy, 2022), esto es de gran utilidad contra diversos factores ambientales. Cuenta con una gran diversidad de fauna tanto residente como migratoria, proveyendo diferentes tipos de hábitats (Rodríguez, 2019). Las personas de la comunidad han reportado que gracias a que las dunas se han desgastado pueden acceder con mayor facilidad a ellas desarrollando actividades recreativas que, además de contaminar han visto un impacto en el desgaste de la vegetación presente y ausencia de especies animales antes encontradas ahí.

Las dunas de esta playa separan el humedal El Arco del Océano Pacífico (Harper, 2012). El problema es, que, si estas dunas se siguen reduciendo, eventualmente el océano se podría conectar con el humedal causando un desastre ecológico, al modificar las dinámicas oceanográficas de la bahía falsa, como se mencionó anteriormente en las entrevistas del caso observado en el invierno del 2023. Adicionalmente, Punta Mazo quedaría separado del resto de la Bahía, convirtiéndolo en una isla, modificando así la ecología del lugar y dificultando los esfuerzos de conservación que Terra Peninsular A.C lleva a cabo en esta reserva natural (Harper, 2012).

Un factor por considerar es que, en años más recientes, se observa nuevamente canto rodado sobre las playas donde previamente había sido extraído (Fig. 17). Una posibilidad es que, al erosionarse las capas de arena, dejen al descubierto nuevos yacimientos de canto rodado. De corroborarse esta hipótesis sería una señal más de un acelerado proceso de erosión costera.

La región de El Rosario, donde se monitorea la playa de Valle Tranquilo, en comparación con las dunas en La Chorera, se presenta un ecosistema de matorral rosetófilo costero con acantilados (González-Abraham, Garcillán & Ezcurra, 2010; Vázquez & Fonseca, 2018). Aunque el impacto en esta zona no sea igual de alto que en La Chorera, se debe de tomar en cuenta que los acantilados están hechos de roca y claramente la erosión será más lenta que en ecosistemas de arena; mostrando así que es de igual importancia procurar estos ecosistemas puesto que hay diferentes animales que habitan la zona, al igual que vegetación presente. Estos se ven afectados por la erosión y por la actividad humana presente en estas playas.

Otro factor a tomar en cuenta es que, estas actividades han dado pauta a que se abran nuevas brechas y caminos haciendo que la gente pueda acceder a playas que anteriormente eran vírgenes, así dañándolas en diversos aspectos por las distintas actividades humanas. De igual forma, dando paso a que se practiquen otro tipo de actividades extractivas en este caso marítimas, puesto que en algunas de las fotografías aéreas se llegó a observar personas sacando recursos del mar en estas playas.

5.3 Impacto en la fauna costera

La extracción de piedra bola representa una posible amenaza para la fauna costera de la región. De los grupos que podrían ser más vulnerables son aquellos que viven entre las rocas o que disfrutan de ambientes rocosos puesto que al saquear la piedra bola, pues sus hábitats se ven gravemente alterados exponiendo a los organismos a condiciones ambientales ajenas a ellos. Adicionalmente, la presencia de personas extrayendo piedra podrían estar contribuyendo al disturbio en especies sensibles cómo aves y mamíferos marinos.

Los pinnípedos son mamíferos marinos que utilizan los hábitats costeros para descansar, reproducirse y cría a sus crías, varios de los cuáles utilizan preferentemente hábitats de canto rodado (Arias-del-Razo, 2011). No obstante, tres de las cuatro especies presentes en la península de Baja California sólo habitan en islas, siendo la foca común del Pacífico (*Phoca vitulina richardii*) la única que tiene colonias en las costas de la península (Arias-del-Razo, 2011; Lubinsky-Jinich, 2019). De acuerdo con Lubinsky-Jinich (2019), las colonias de foca común en la península se redujeron de 8 en 2008 a sólo 2 en 2018, en un área que coincide con la zona de extracción de piedra bola. Se requiere realizar un análisis

más minucioso entre la distribución de la foca común y las playas que han sido sujetas de extracción pétreo para determinar si está pudiera ser una de las causas de la disminución de las colonias de foca común en costas no insulares.

Por otro lado, San Quintín recibe más de 35,000 aves al año, dentro de las cuales está el chorlo gris, el chorlo nevado, la branta negra y otras 20 especies de aves playeras (*Reserva de Aves Playeras Complejo Lagunar San Quintín*. (s. f.). Usan estas playas para descansar durante los periodos de migración, para anidar y alimentarse. La extracción de la piedra y la constante actividad humana en las playas puede resultar ser un disturbio muy grande para las especies, y eventualmente, estas se van a desplazar a lugares más tranquilos. Como podría suceder con el chorlo nevado (*Charadrius nivosus*), ya que esta ave anida en el suelo viéndose fuertemente amenazada por el tránsito de vehículos y actividades humanas (Vargas, 2019).

5.4 Impacto social

Extraer la piedra bola no solo tiene efectos ecológicos, sino que también puede tener repercusiones sociales importantes. Esta actividad principalmente realizada por grupos vulnerables como indígenas y migrantes, se desarrolla en un contexto con condiciones de vida estresantes, abuso laboral, y explotación (Ramírez, 2015).

Un factor muy importante que se debe tomar en cuenta es el trabajo infantil. En este estudio se observaron niños participando la actividad de extracción de canto rodado, con un máximo de 43 niños en 2016, aunque afortunadamente esta cifra se fue reduciendo hasta llegar a 0 en 2022. Es posible que eso se debe a que muchos de los trabajadores son padres y

madres de familia que no pueden relegar el cuidado de sus hijos, y no tienen otra opción más que llevarlos al trabajo con ellos. No pueden hacer uso de guarderías ya que, en la región de San Quintín sólo existe una guardería pública del IMSS, pero exige una cuota diaria de 50 pesos mexicanos por niño, por lo que muchas familias no pueden afrontar este costo, menos aún las que cuentan con múltiples niños (Becerra, 2022).

Los individuos que se dedican a esto, al pertenecer a grupos menos favorecidos en la sociedad, carecen de alternativas económicas y buenas oportunidades de trabajo. Con esto, se ven forzados a participar en este tipo de actividades ilegales donde tienen baja remuneración y hay peligros constantes para su salud al ser expuestos a condiciones de trabajo precarias como esfuerzos físicos excesivos o la exposición al sol durante muchas horas diarias.

El hecho de que se haya notado una disminución en las cifras tanto de adultos como de niños, se cree que es principalmente porque como se ha ido agotando la piedra bola se requiere menos mano de obra por la falta de trabajo.

6. Conclusión

A lo largo de esta investigación se han examinado los impactos tanto medioambientales como sociales, que conlleva la extracción de canto rodado en las costas de Baja California.

Los resultados muestran una clara disminución en la disponibilidad de la piedra bola, poniendo en riesgo la integridad de las costas por la constante erosión al no poder disipar correctamente la energía del oleaje. Por otro lado, la extracción del canto rodado está

posiblemente afectando la fauna costera. Demostrando así la importancia de tomar medidas con la finalidad de poder conservar la integridad de los ecosistemas.

Asimismo, se debe tomar acción en cuanto a la problemática social y la situación laboral que existe en la región, pues mucha gente enfrenta condiciones deplorables de trabajo, y no únicamente adultos, sino que también niños son partícipes de estos abusos. El no tomar acción contra eso está contribuyendo a la pobreza, corrupción y tráfico ilegal en la zona.

En esta investigación, los ortomosaicos que se elaboraron tienen como objetivo servir como línea base para el monitoreo a futuro de cambios en el paisaje, topografía de estas playas y futuras investigaciones. Adicionalmente, se señala que esta actividad es altamente dañina en diversos aspectos, es por eso que se debe manejar y reducir la demanda de piedra bola para poder salvaguardar estos ecosistemas.

7. Referencias

- Aldana, P. Camperos, A. Orta, L. León, S. & León, A. (2009). Estudio de la erosión costera en Cancún y la Riviera Maya, México. *Avances en recursos hidráulicos*, (20), 41-55.
- Aguilera, L. E. C. (1993). Análisis de la infauna béntica de Bahía de San Quintín, Baja California, con énfasis en su utilidad en la evaluación de impacto ambiental. *Ciencias Marinas*, 18(4), 27-46.
- Aguirre-Muñoz, A., Buddemeier, R. W., Camacho-Ibar, V., Carriquiry, J. D., Ibarra-Obando, S. E., Massey, B. W., Smith, S. V., & Wulff, F. (2001). Sustainability of coastal resource use in San Quintin, Mexico. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 30(3), 142-149.
- Arias Del Razo, A. (2011). *Uso de hábitat por cuatro especies de pinnípedos en las islas al occidente de Baja California*. (Tesis de maestría). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, Baja California. <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/781>
- Arias Del Razo, A. (2016). *Factores que determinan la preferencia de hábitat de los pinnípedos en las islas del Pacífico de Baja California* (Doctoral dissertation, Tesis de doctorado). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, Baja California.
- Álvarez, R., Recagno, E., Manent, M., & Santana, J. (2013). Áreas Prioritarias de Geoconservación de la biodiversidad en la Península de Baja California, México. *Journal of Latin American Geography*, 12(3), 7-31.

- American Museum of Natural History. (2024). *Dot Dot Goose*. (v. 1.7.0). [Software de computadora]. American Museum of Natural History. https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/dotdotgoose/
- Becerra, B. (2022, marzo 17). *Persiste el trabajo infantil en el Valle de San Quintín, Baja California* [Periódico digital]. El Sol de México | Noticias, Deportes, Gossip, Columnas. <https://www.elsoldemexico.com.mx/republica/sociedad/persiste-el-trabajo-infantil-en-el-valle-de-san-quintin-baja-california-8007975.html>
- Becker, B., Press, D., & Allen, S. (2011). Evidence for long-term spatial displacement of breeding and pupping harbour seals by shellfish aquaculture over three decades. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems*, Volume 21(3), 247-260. <https://doi.org/10.1002/aqc.1181>
- Benavides, C. Millán, J. Valle, A. (2010). Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, Estado de Baja California – Medio Físico. Instituto para el Federalismo y el desarrollo Municipal INAFED. Secretaría de Gobernación SEGOB. Recuperado 20 de septiembre 2021, de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM02bajacalifornia/index.html>
- Castillo, C. A. (2006). Un guijarro no es un canto rodado. *Disparidades. Revista De Antropología*, 61(1), 229–258. <https://doi.org/10.3989/rdtp.2006.v61.i1.9>
- Castro Palafox, F. de L. (2016). *El Matorral Costero de Baja California: Un Acercamiento a la Problemática para su Conservación. Retos y Oportunidades*. (Tesis de maestría) Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Tijuana, Baja California. <https://www.colef.mx/posgrado/wp-content/uploads/2016/12/TESIS-Castro-Palafox-Flor-de-Liz.pdf>

- Comisión Nacional del Agua. (2013, junio 21). *Península de Baja California*. Gobierno de México. pp. 35 <http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/peninsula-de-baja-california>
- DJI. (2022). DJI Terra (Versión 3.5.1) [Software de computadora]. <https://www.dji.com/terra>
- Drone Deploy Inc. (2023). Drone Deploy [Software de mapeo aéreo]. <https://www.dronedeploy.com/>
- Escamilla Trejo, A. (2023). *Bases para la Planeación Espacial de la Zona Costera de los Municipios de Guaymas y Empalme, Sonora, México: Enfoque Basado en el Ecosistema*. (Tesis de maestría), Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C, La Paz, Baja California Sur.
- Ezcurra, E., Peters, E., Burquez, A., & Mellink, E. (2002). Los Desiertos de Sonora y Baja California. En *Áreas Silvestres. Las últimas áreas vírgenes del mundo* (Primera, pp. 314-332). CEMEX, S.A. de C.V.
- Fernández-Díaz, V. Z., Canul Turriza, R. A., Kuc Castilla, A., & Hinojosa-Huerta, O. (2022). Loss of coastal ecosystem services in Mexico: An approach to economic valuation in the face of sea level rise. *Frontiers in Marine Science*, 9, 898904.
- Flores, M. (2022, marzo 16). *Detienen a cinco con 80 toneladas de piedra de mar en San Quintín*. Semanario ZETA. <https://zetatijuana.com/2022/03/detienen-a-cinco-con-80-toneladas-de-piedra-de-mar-en-san-quintin/>
- García, L. (2015). *Las áreas Naturales Protegidas con Ambientes Costero-Marinos en Baja California Sur, México: Representatividad y manejo*. (Tesis de doctorado). Centro de investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., La Paz, Baja California Sur. Recuperado

el 15 de septiembre 2021, de

https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/62/1/cruz_1.pdf

González-Abraham, Charlotte E., Garcillán, Pedro P., & Ezcurra, Exequiel. (2010).

Ecorregiones de la península de Baja California: Una síntesis. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (87), 69-82. Recuperado en 30 de mayo de 2024, de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-21282010000200006&lng=es&tlng=es.

González, S. (2021). Determinación de cadmio en sedimentos costeros de Laguna de

Términos, Campeche. (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México) Ciudad de México, México.

<https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000820321>

GPSprune (Versión 2.3). [Software de computadora]. (2022).

<https://activityworkshop.net/software/gpsprune/>

Hubp, J. (2011). *Diccionario geomorfológico. México: Universidad Nacional Autónoma de*

México, Instituto de Geografía. (Primera). p.61. UNAM.

<http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/32>

Hülsen, S., McDonald, R. I., Chaplin-Kramer, R., Bresch, D. N., Sharp, R., Worthington, T.,

& Kropf, C. M. (2023). *Global protection from tropical cyclones by coastal ecosystems—Past, present, and under climate change.*

<https://eartharxiv.org/repository/view/5590/>

Lara, J. Aguilera, L. Arenas, V. Arroyo, M. Barceló, P. Bonilla, H. Diaz, V. González, J.

Hernández, M. Ibar, V. Jara, E. Ladah, L. Lizárraga, J. López, E. (2008). *Los*

ecosistemas marinos, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 109-133.

Liu, G., Cai, F., Qi, H., Liu, J., Lei, G., Zhu, J., ... & Yu, F. (2020). A summary of beach nourishment in China: The past decade of practices. *Shore Beach, 2020, Volumen 88(3)* 65-73.

Lubinsky Jinich, D. (2019). *Abundancia y movimientos de la foca de puerto (Phoca vitulina richardii) en Baja California, México.* (Tesis de doctorado). [Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/2807/1/Tesis%20Denise%20L.pdf>

Matsumoto, H., & Young, A. P. (2018). Automated cobble mapping of a mixed sand-cobble beach using a mobile lidar system. *Remote Sensing, 10(8)*, 1253. <https://doi.org/10.3390/rs10081253>

Matsumoto, H., Young, A. P., & Guza, R. T. (2020). Observations of surface cobbles at two southern California beaches. *Marine Geology, 419*, 106049. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2019.106049>

Maun, M. A. (2009). *The biology of coastal sand dunes.* Oxford University Press.

Michelini, A., & Chávez Rojas, J. M. (2018, febrero 22). La costa norte del Golfo en la península de Baja California. *Arqueología Mexicana, 147*, pp. 62-67. <https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/la-costa-norte-del-golfo-en-la-peninsula-de-baja-california>

Microsoft Corporation. (2024). *Microsoft Access* (V. 16.82). Microsoft Corporation.

Microsoft Corporation. (2024). *Microsoft Excel* (V. 16.82). Microsoft Corporation.

- NOAA Fisheries. (2022, agosto 12). *Share the Shore: Watch Marine Mammals Responsibly* | NOAA Fisheries (West Coast). NOAA. <https://www.fisheries.noaa.gov/west-coast/marine-life-viewing-guidelines/share-shore-watch-marine-mammals-responsibly>
- OpenDroneMap Contributors. (2022). OpenDroneMap (Versión 2.1) [Software de código abierto]. <https://github.com/OpenDroneMap/OpenDroneMap>
- Ojeda-Revah, L., De, C., & de la Parra, C. (2010). *Historia ambiental de Baja California* (Primera, Vol. 20). Universidad Autónoma de Baja California. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/265066131_Historia_ambiental_de_Baja_California
- Parwati, L. P. G. A., Dwijendra, N. K. A., & Agusintadewi, N. K. (2022). Impact of Abrasion on Land Use in Coastal Area Buleleng Regency. *ASTONJADRO*, 11(2), 319–325. <https://doi.org/10.32832/astonjadro.v11i2.6174>
- Pernuelas, B. (2021, junio 3). *Denuncian saqueo de “piedra bola” en El Rosario...* El Mexicano. Gran Diario Regional. <https://el-mexicano.com.mx/Noticia/Estatal/9523/Denuncian-saqueo-de-%E2%80%9Cpiedra-bola%E2%80%9D-en-El-Rosario>
- Perzabal, J. (2017, octubre 28). *Pretenden explotar canto rodado en San Quintín*. Periódico El Vigía. <https://www.elvigia.net/el-valle/2017/10/28/pretenden-explotar-canto-rodado-286654.html>
- Pineda, G., Bermúdez, J., de Dios Orea, J., Díaz, M., Martínez, M., Chávez, R., Noriega, V., Tovar, L., Calderón, Ma. de los Á., Zamora, M., Áviles, P., & Osorno, R. del C. (2022, junio 11). *Diagnóstico de la Movilidad Humana en Baja California*. Gobierno de México. Recuperado 5 de abril de 2024, de

<http://www.gob.mx/segob/documentos/diagnostico-de-la-movilidad-humana-en-baja-california>

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. (2018, junio 21). *Clausura PROFEPA dos bancos de extracción de material pétreo en Baja California*. Gobierno de México. Recuperado el 4 de abril del 2021 de: <https://www.gob.mx/profepa/prensa/clausura-profepa-dos-bancos-de-extraccion-de-material-petreo-en-baja-california>

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. (2020, mayo 11). *Protección y conservación de pinnípedos en México*. Gobierno de México. <http://www.gob.mx/profepa/es/articulos/proteccion-y-conservacion-de-pinnipedos-en-mexico?idiom=es>

QGIS Project (2024). *QGIS* (V. 3.36). QGIS Project

Ramírez, M. Y. P., & Cota, S. E. L. (2019). Biodiversidad y vulnerabilidad de ecosistemas costeros en Baja California Sur. *Biodiversidad y vulnerabilidad de ecosistemas costeros en Baja California Sur*. <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/2905>

Reserva de Aves Playeras Complejo Lagunar San Quintín. (s. f.). Terra Peninsular A.C. Recuperado 5 de abril de 2024, de <https://terrapeninsular.org/rhrap-complejo-lagunar-san-quintin/>

Rodríguez, N. (2019, julio 24). *Punta Mazo y El Socorro: Dunas costeras únicas en San Quintín*. Terra Peninsular A.C. <https://terrapeninsular.org/punta-mazo-y-el-socorro-dunas-costeras-unicas-en-san-quintin/>

Rodríguez-Revelo, N., Espejel, I., Jiménez-Orocio, O., Martínez, M., Mata, D., & Ibarra, R. (2014). Dunas Costeras de la Península de Baja California. En *Diagnóstico de las dunas costeras de México* (CONAFOR, pp. 146-169).

- Ruiz, R. (2021, diciembre 27). *Poder Judicial admite amparo en contra de Profepa por cierre de oficinas en Tijuana y Ensenada, BC*. Centro Mexicano de Derecho Ambiental CEMDA. <https://www.cemda.org.mx/poder-judicial-admite-amparo-en-contra-de-profepa-por-cierre-de-oficinas-en-tijuana-y-ensenada-bc/>
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2008). *Inventario Nacional de Humedales*. Semarnat-Conabio-INEGI.
- Gabriel, S., Moura, D., Ferreira, Ó., Pacheco, A., Matias, A., Veiga-Pires, C., & Jacob, J. (2010). *Role of shore platforms on coastal cliffs protection in Algarve (South Portugal): First approach*. 12, 5516-. <http://hdl.handle.net/10400.1/3293>
- Stevčić, Č., Pérez-Miguel, M., Drake, P., Tovar-Sánchez, A., & Cuesta, J. A. (2018). Macroinvertebrate communities on rocky shores: Impact due to human visitors. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 211, 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.11.026>
- Siqueiros Beltrones, D. A., Ibarra Obando, S. E., & Loya Salinas, D. H. (1985). Una aproximación a la estructura florística de las diatomeas epífitas de *Zostera marina* y variaciones temporales, en Bahía Falsa, San Quintín, BC. *Ciencias Marinas*, 11(3), 69-88. <http://dx.doi.org/10.7773/cm.v11i3.479>
- Sotomayor, V., Rodríguez, F., Arce, M. (2012). Área de Protección de Flora y Fauna del Valle de los Cirios. *Sobre los Aprovechamientos de Canto Rodado en el Litoral del Pacífico*. Dirección del Área de Protección de Flora y Fauna Valle de los Cirios. CONANP.

- Valdés, E. S. (2012). Identificación de las zonas de riesgo ante el aumento paulatino del nivel medio del mar como posible insumo para el manejo de la acuacultura y el turismo de Bahía San Quintín en Baja California, México. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Baja California, México.
- Vanderplank, S., Sanborn, J., & Wall, M. (2018). *Biodiversidad y Panorama de la Conservación en la Península de Baja California*. San Diego Natural History Museum. Recuperado 10 de septiembre 2021, de <https://www.sdnhm.org/science/conservation-priorities>
- Vargas, T. (2019, julio 4). *Chorlo nevado (Charadrius nivosus) | Terra Peninsular*. Terra Peninsular A.C. <https://terrapeninsular.org/chorlo-nevado-charadrius-nivosus/>
- Vidal, R. (2005). Las Regiones Climáticas de México. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/42/42/128-1>
- Villanueva-Fragoso, S., Ponce-Vélez, G., García, C., & Presa, J. (2010). Vulnerabilidad de la zona costera. Ecosistemas costeros. *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático, Centro EPOMEX, Campeche*, 37-72.
- von Rönn, G. A., Krämer, K., Franz, M., Schwarzer, K., Reimers, H. C., & Winter, C. (2021). Dynamics of stone habitats in coastal waters of the southwestern baltic sea (Hohwacht Bay). *Geosciences*, 11(4), 171.
- Wildcoast-Costa Salvaje. (2020). *Humedales de Baja California* Wild Coast Costa Salvaje.. <https://wildcoast.org/wp-content/uploads/2020/04/Humedales-de-Baja-California.pdf>
- Yáñez-Arancibia, A. (s. f.). *Desarrollo costero sustentable: Desafío de integridad ecológica*. INECOL. Instituto de Ecología A.C. Recuperado 5 de febrero de 2024, de

<https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/component/content/article/17-ciencia-hoy/572-desarrollo-costero-sustentable-desafio-de-integridad-ecologica>

Yizhaq, H., & Ashkenazy, Y. (2022). Sand dune vegetation-biocrust interaction as a source of spatial heterogeneity. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 70(2), 145-155.