

LanData

Laboratorio Natural Desierto de Atacama

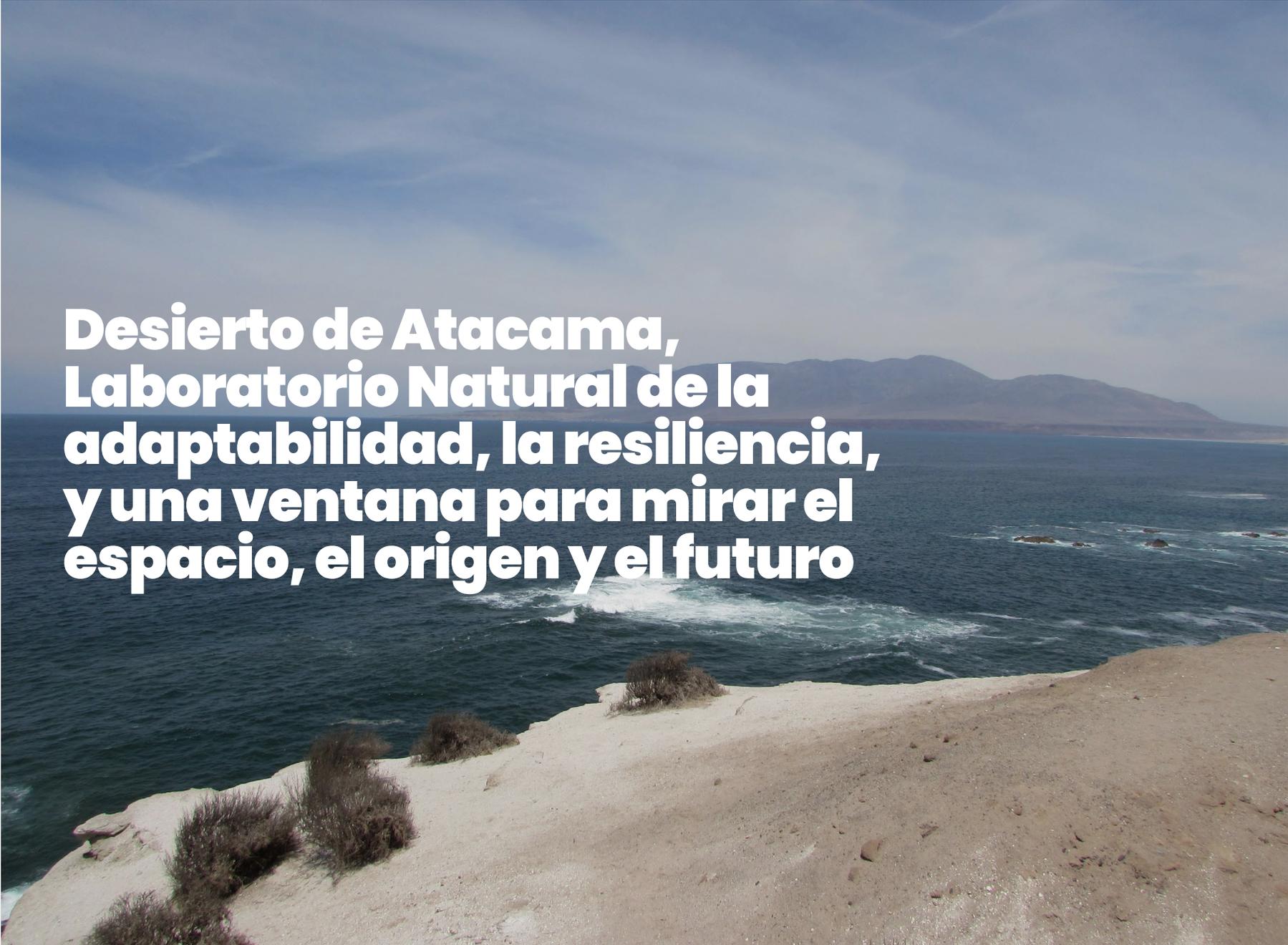


COD.: NEL123N0014

CONCURSO NODOS ESPECIALIZACIÓN
PROYECTOS NODOS DE LABORATORIOS NATURALES LÍNEAS 1 Y 2 2024

FICHA CASO DE ESTUDIO PENÍNSULA DE MEJILLONES

Foto gentileza de Francisco Rojas Tello



**Desierto de Atacama,
Laboratorio Natural de la
adaptabilidad, la resiliencia,
y una ventana para mirar el
espacio, el origen y el futuro**

EQUIPO LANDATA

Directora Proyecto

Cecilia Demergasso

Director Alterno

Emilio Ricci

Coordinación

Sabrina Marín

Fabián Araya

Investigadores

Fernando Álvarez

David Andrade

Adriana Aránguiz

Jenny Blamey

Ricardo Cabrera

Guillermo Chong

Benito Gómez

Gabriel González

Nicolás Guiliani

Mauricio Lorca

José Luque

Marco Méndez

Marcia Montedónico

Alejandro Murillo

Rómulo Oses

Rodrigo Palma

Camila Salazar

Susana Soto

Cynthia Tebes

Equipo de profesionales

Valentina Cáceres

Manuel Castro

Vicente Danica

Raúl Flores

Ximena Retamal

CONTENIDOS

	pág.		
1. Singularidades y oportunidades	05	5. Tectónica activa, terremotos y tsunamis	16
2. Características Generales	07	6. Biodiversidad	21
2.1. Áreas de interés científico: líneas de trabajo	07	7. Arqueología	24
3. Geología	09	8. Turismo de intereses especiales	26
4. Paleoclima y cambio climático	10	9. Conflictos	28
		10. Oportunidades para el desarrollo de la actividad científica	30
		11. Oportunidades para el sector productivo	36
		12. Análisis de literatura gris	37
		13. Talleres territoriales	40
		14. Oportunidades para la sociedad	42
		15. Necesidades habilitantes	44
		16. Referencias bibliográficas	45

1. SINGULARIDADES Y OPORTUNIDADES

La Península de Mejillones se localiza en la región de Antofagasta, al norte de Chile; destaca por sus extraordinarias singularidades naturales, culturales únicos y que además posee ventajas y oportunidades para el desarrollo de la ciencia, la tecnología el conocimiento y la Innovación, en sus múltiples expresiones; especialmente por sus características geológicas y geomorfológicas, al ser una anomalía en la costa del País y que además la interrumpe, presentando un paisaje dominado por fallas normales. Está situada entre las ciudades de Mejillones al norte y Antofagasta al sur, formando parte de una importante área geográfica del norte grande chileno.

Coordenadas: 23°06'S 70°27'O.

Superficie: Cubre alrededor de 7.313 hectáreas

Clima: Predomina un clima desértico, con abundantes nublados y escasas precipitaciones.

Importancia: La península es conocida por su relieve característico y su importancia geológica, ya que representa un área de alzamiento costero que ha sido objeto de estudio por su registro estratigráfico geológico (ver Fig. N°1), paleontológico y paleoclimático de los últimos 25 millones de años, de gran interés científico, patrimonial y turístico. Además con una presencia de registros arqueológicos extraordinarios ya que en ella se encuentran una gran cantidad de yacimientos correspondientes a asentamientos de pescadores, recolectores y cazadores que ocuparon la zona hace 7.000 A.C. En cuanto a su interés ecológico, es fascinante la presencia de diversas especies de flora y fauna, endémicas y algunas en peligro de extinción siendo un sitio de interés para la conservación ambiental.



Fig. 1



Sector de las loberas

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES

La Península de Mejillones representa una extraordinaria unidad morfológica del norte de Chile, de 60 km de largo, que se proyecta 40 km hacia el océano desde la costa septentrional de Chile interrumpiendo la morfología relativamente lineal del litoral (Figura 1). Sus cumbres máximas alcanzan una altura de 1.148 m.s.n.m. en Morro Moreno y 766 m.s.n.m. en Morro Jorgino. Posee aproximadamente 841 km² de superficie y es administrada por las comunas de Mejillones y Antofagasta, por el norte y sur, respectivamente; reconocido como un sitio extraordinario de preservación ambiental en la Región de Antofagasta. Durante el año 2010 se decretó la creación del Parque Nacional Morro Moreno (localizado en el extremo sur de la península), contabilizando 90 especies de flora nativa, algunas endémicas; además de 195 especies de fauna nativa, entre los que destacan el zorro chilla, gaviotín chico, pingüino de Humboldt, lobo fino austral, etc. (Fuente: www.conaf.cl). El Parque Nacional Morro Moreno administrado por CONAF está orientado a la protección de la biodiversidad, en diálogo con la puesta en valor y viabilización del patrimonio natural.

Esta rareza geomorfológica de la costa chilena es un territorio emergido tectónicamente que hospeda un registro geológico y paleontológico de interés científico y patrimonial. En este registro se encuentran evidencias geológicas importantes de las variaciones climáticas globales ocurridas en los últimos 25 Millones de años de la historia de la Tierra. El alzamiento tectónico de la Península asimismo da cuenta de procesos tectónicos de gran importancia para entender la gene-

ración de terremotos en zonas de subducción y la conexión de estos con la deformación superficial. Estudios recientes, han mostrado que los primeros pobladores de esta región fueron afectados por mega terremotos y tsunamis que diezmaron el poblamiento temprano de la costa del norte de Chile. Dada la extrema aridez prevaleciente en la península, la propagación de fallas geológicas activas en superficie está extraordinariamente preservada tanto en la morfología como en el registro estratigráfico. Esta exquisita preservación es única en el mundo y por lo tanto ha llamado la atención de varios equipos de investigación tanto chilenos como extranjeros. Además, en esta península se exponen las rocas más antiguas posibles de encontrar en el norte de Chile y en la costa occidental de Sudamérica. Estas rocas representan el basamento sobre el cual se alzó la Cordillera de los Andes. Dada estas condiciones geológicas de la Península de Mejillones se puede aplicar perfectamente el concepto de geodiversidad, resiliencia y su extensión hacia el turismo de intereses espaciales.

Por otra parte, la Península de Mejillones representa uno de los principales centros de surgencias de corrientes marinas del norte del país que, junto a la conformación geomorfológica de dos bahías en sus extremos, permite mantener una extraordinaria biodiversidad de especies marinas y costeras. Constituye, así, además, este espacio natural un hábitat importante para un ciclo virtuoso en la cadena alimenticia de muchas especies permanentes y migratorias, las cuales utilizan la zona para alimentación y reproducción.

2.1 Áreas de interés científico: Líneas de trabajo

- Biodiversidad: Flora, Fauna (endémica)
- Geología-Paleontología (Paleo clima, cambio climático, terremotos y tsunamis)
- Microbiología
- Análogos planetarios
- Arqueología/ Antropología
- Energías: Renovables no convencionales/Termoeléctricas
- Peligros y riesgos Naturales (cambio climático)
- Patrimonio, Cultura, Turismo
- Conflictos (zona de sacrificio) (desarrollo humano, impacto socioambiental (ODS)
- Otros (nuevas áreas según desarrollo científico)



Figura 2: Anticlinal Caleta Herradura: Latitud 23° 14' 29,02" Longitud 70° 34' 13,00" (Fotografía gentileza de Richard Allmendinger)

Valor principal del Geosito: Geológico – Mineralógico – Paleontológico – Petrológico – Geomorfológico – Estructural – Escénico

Se encuentra en la costa de la Península de Mejillones entre Caleta Bandurrias por el sur y caleta El Chango por el lado norte. Este Geosito es un prominente acantilado de 50 mts. Se puede observar el Anticlinal provocada por la falla llamada caleta Herradura.

Esta falla deja en contacto rocas marinas-continetales jóvenes sobre rocas metamórficas antiguas de la Edad paleozoica (570 Millones de años) y la evidencia sostiene que los estratos más jóvenes fueron depositados en conjunto con el movimiento de la falla en la Época cenozoica. Se puede observar capas de areniscas rojizas y amarillentas, diatomitas, y conglomerados grises aluviales y coluviales que caen sobre los esquistos del basamento paleozoico, separadas por un plano de falla espectacularmente expuesto a nivel del mar.

3. GEOLOGÍA

Las características geológicas de la Península de Mejillones la hacen uno de los hitos geológicos principales de Sudamérica, la cual, junto a otras penínsulas de la costa del pacífico oriental, y de Chile, proporcionan evidencias de alzamiento costero ocurrido durante el Cuaternario, el periodo correspondiente a los últimos 2.59 millones de años de la historia geológica de la Tierra. A la Península de Mejillones se le unen otros análogos terrestres, como la Península de Nicoya en Costa Rica, La Península de Paracas en Perú, las penínsulas de Talinay y de Arauco en Chile. Una de las características en común es que todas estas penínsulas se ubican sobre zonas activas de subducción, que son los lugares donde se concentra la mayor fuente de sismicidad de la Tierra.

Debido a este proceso, muchas de estas penínsulas representan trozos de la plataforma costera que han sido levantados tectónicamente y por lo tanto guardan un registro estratigráfico de sedimentación marina. En ese registro están las claves para entender/caracterizar variaciones climáticas locales de largo plazo, escalas de cientos de miles de años, conectadas con las grandes variaciones climáticas de la Tierra. Además, al estar estas penínsulas ubicadas sobre zonas de subducción, ese registro estratigráfico, incluye la evidencia geológica de procesos de deformación vinculados con el ciclo sísmico de grandes terremotos de subducción.

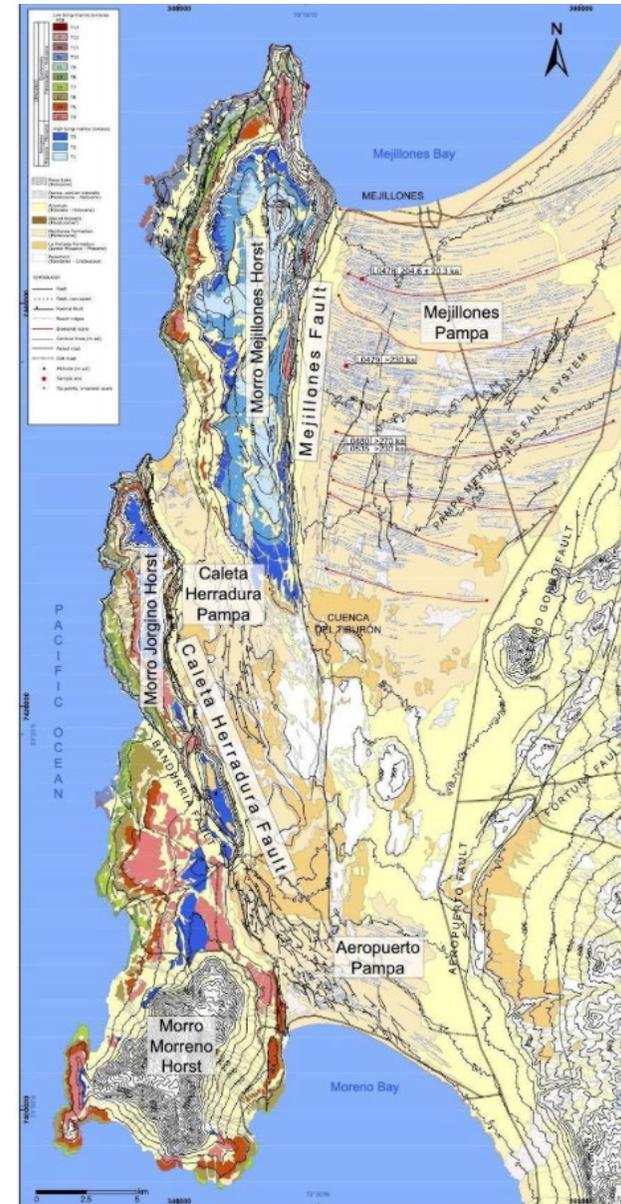


Figura 3: Mapa Geológico-Geomorfológico de la Península de Mejillones. Sitios de valor patrimonial Caleta Herradura, Cuenca del Tiburón, Morro Jorgino, Bahía Moreno, Bahía Mejillones.

4. PALEOCLIMA Y CAMBIO CLIMÁTICO

El registro sedimentario de la PM contiene sedimentos marinos que están preservados en cuencas tectónicas entre las fallas de Caleta Herradura y Mejillones. Este registro es tan antiguo como 23.25 millones de años. Este registro contiene microfósiles y macrofósiles de vertebrados e invertebrados marinos a través de los cuales es posible estudiar y registrar las grandes variaciones climáticas de la Tierra. En particular, en el registro del Cuaternario están preservadas líneas de paleo-playas que marcan el retroceso del mar y la emersión tectónica de la PM. En este registro hay dos niveles con fauna de aguas cálidas, que evidencian periodos de incremento de la temperatura superficial del océano pacífico. La aparición de *Trachycardium procerum* es un

marcador de este aumento de temperatura y marca un debilitamiento de la corriente de Humboldt.

Aún no conocemos exactamente qué significa este cambio de nivel de temperatura de la superficie del océano, no obstante es muy probable que este cambio tenga incidencia en el régimen de hiperáridez del Desierto de Atacama. Es conocido que eventos ENSO (Niño) provocan un incremento en las precipitaciones en el DA. Casi todas las grandes remociones en masa del norte de Chile y de Chile en general están asociadas a este tipo de eventos.

Esta imagen, reconstruida mediante el registro de isótopos de Oxígeno, se observa que después del gran Optimum climático del Mioceno Medio ha ocurrido un progresivo enfriamiento, particularmente relevante a partir de los 3 Millones de años hacia el presente. El registro sedimentario de la PM cubre gran parte de la historia de los últimos 20 Ma. Muy poco se ha hecho por estudiar el control que ejercen estas variaciones climáticas de gran longitud temporal con las variaciones de las facies sedimentarias existentes en este registro estratigráfico, particularmente de la microfauna presente en los sedimentos.

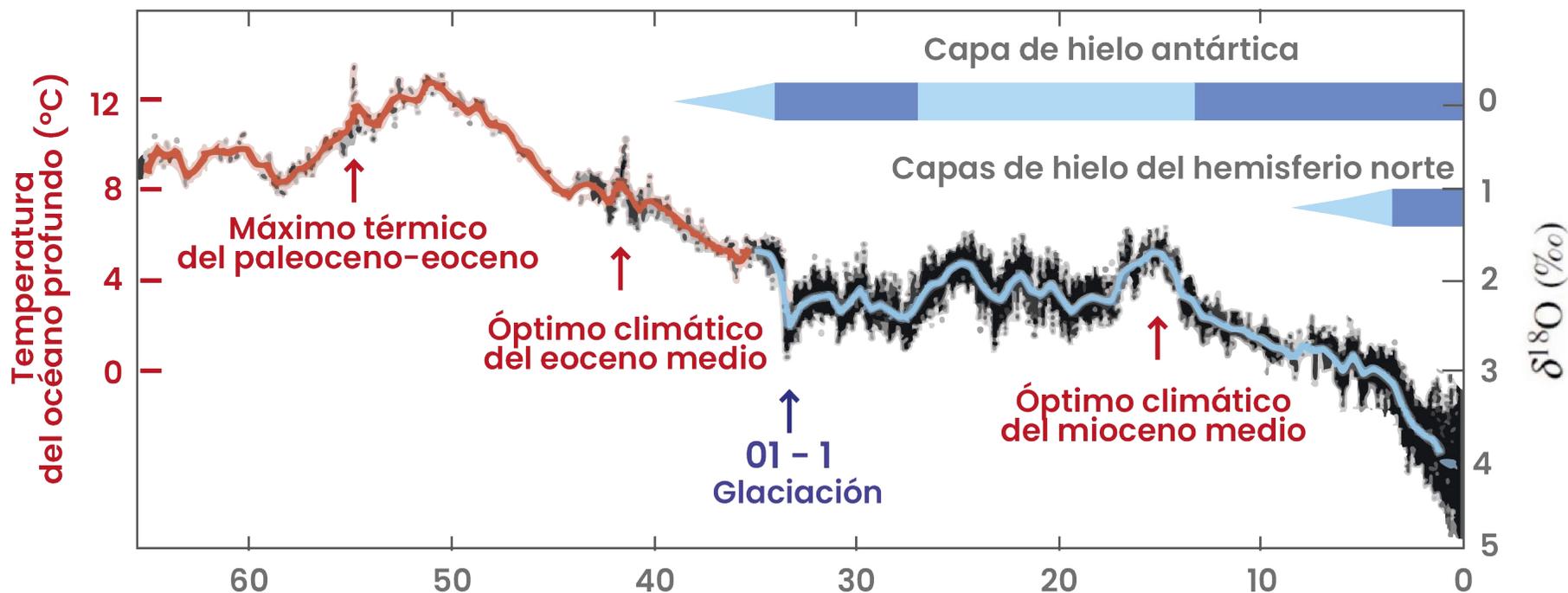


Fig. 4: Variaciones climáticas de la temperatura de los océanos.

En los tres gráficos de la derecha están reflejados las oscilaciones del nivel del mar. Donde la ventana superior es una vista para los últimos 35 millones de años, la ventana intermedia para los últimos 5 Millones de años y la ventana inferior para los últimos 500 mil años. Cada pico en cercano al nivel cero actual son máximos producidos por el calentamiento global. El pico de la derecha es la fase de calentamiento actual del Holoceno y que está en fase con el calentamiento

antrópico en curso. Estos picos de alzamiento del nivel del mar están extraordinariamente registrados tanto en la estructura morfológica de la Península de Mejillones como en la estructura de las líneas de playa preservadas en la Pampa de Mejillones, el pico más cercano a los 400. mil años contiene la fauna de aguas cálidas. Es probablemente el cambio de clima más relevante registrado en el norte de Chile.

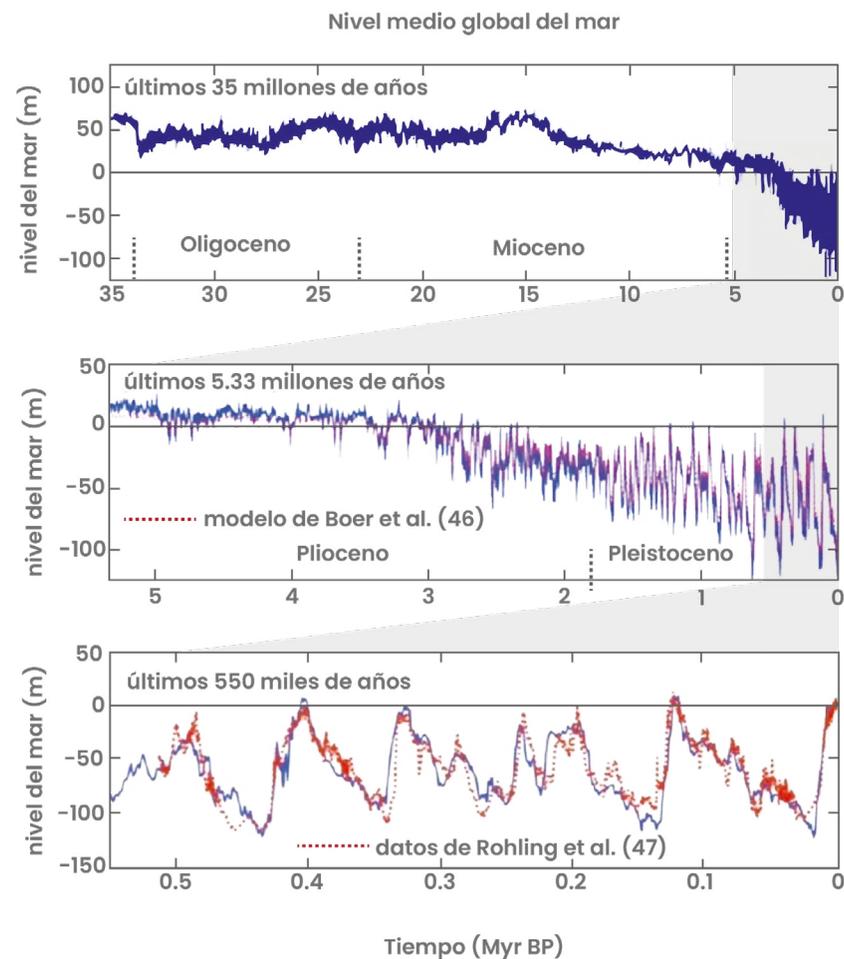
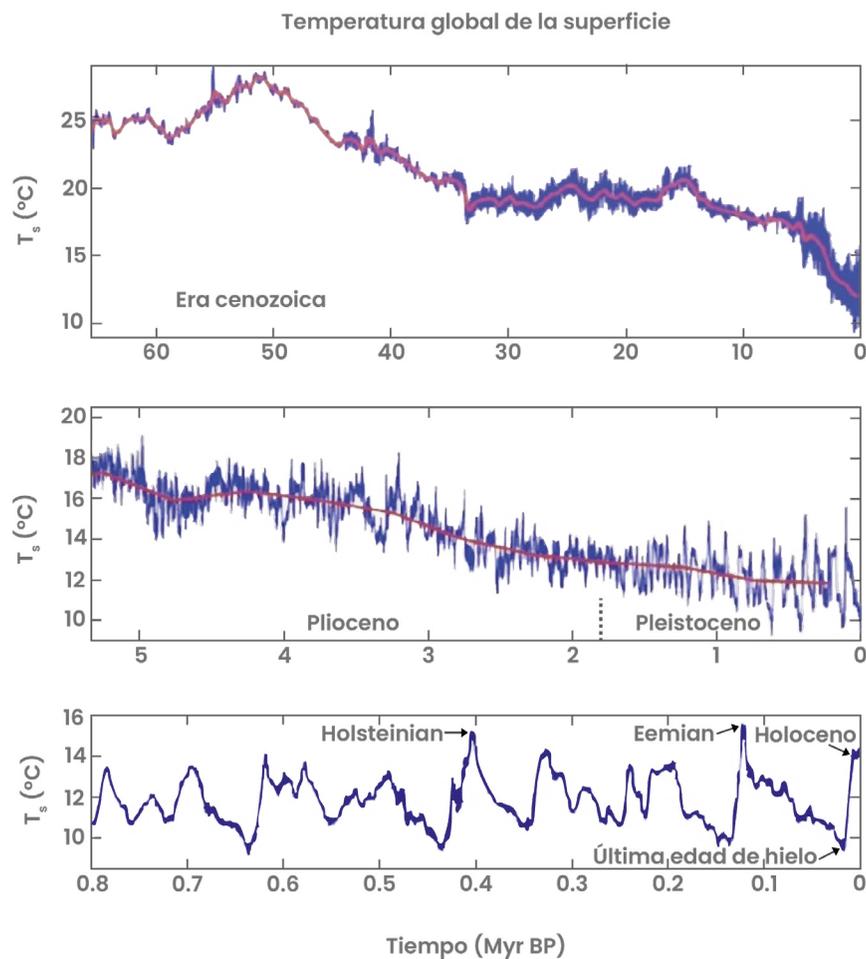


Fig. 5: Correlación existente entre variaciones de la temperatura de los océanos y las variaciones del nivel del mar

En la Fig. 6, en el que se incluye el evento del niño de 2015, se puede ver el incremento en la costa del Pacífico Oriental (zonas rojas) y particularmente a lo largo de la costa de Chile. La elevación de la

temperatura superficial marca un debilitamiento del Anticiclón del Pacífico marcando una propensión al incremento de las precipitaciones en Perú y Chile.

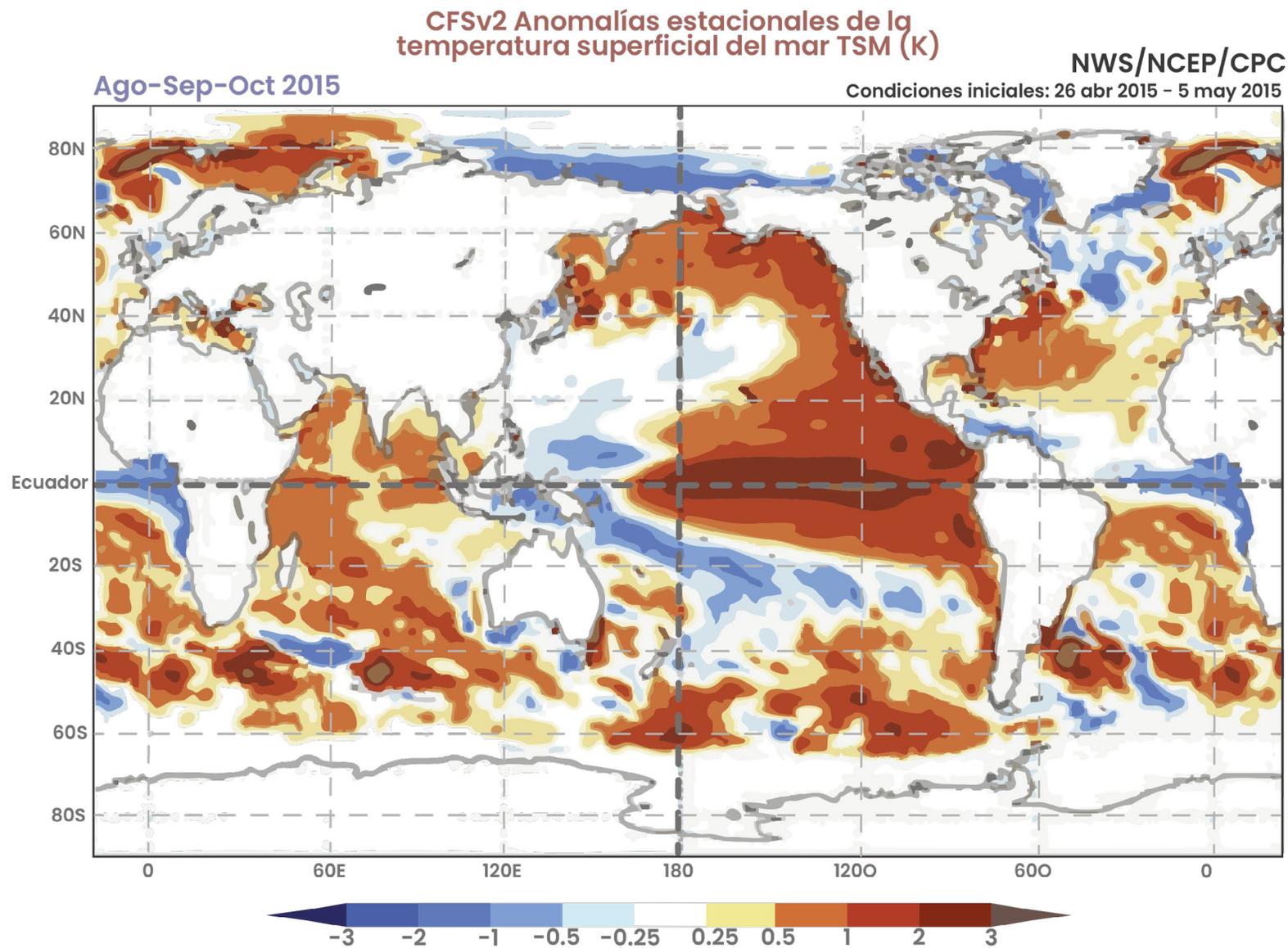


Fig. 6: Modelo de cambio de temperatura superficial del agua de corto período

Adicionalmente, en el gráfico (Fig. 7), siendo un registro satelital de precipitaciones durante el gran evento de precipitación del 24-26 de marzo de 2015 en la Región de Atacama. Se identifican precipitaciones mayores a 75 mm en dos días, equivalen a la precipitación promedio acumulada en dos años.

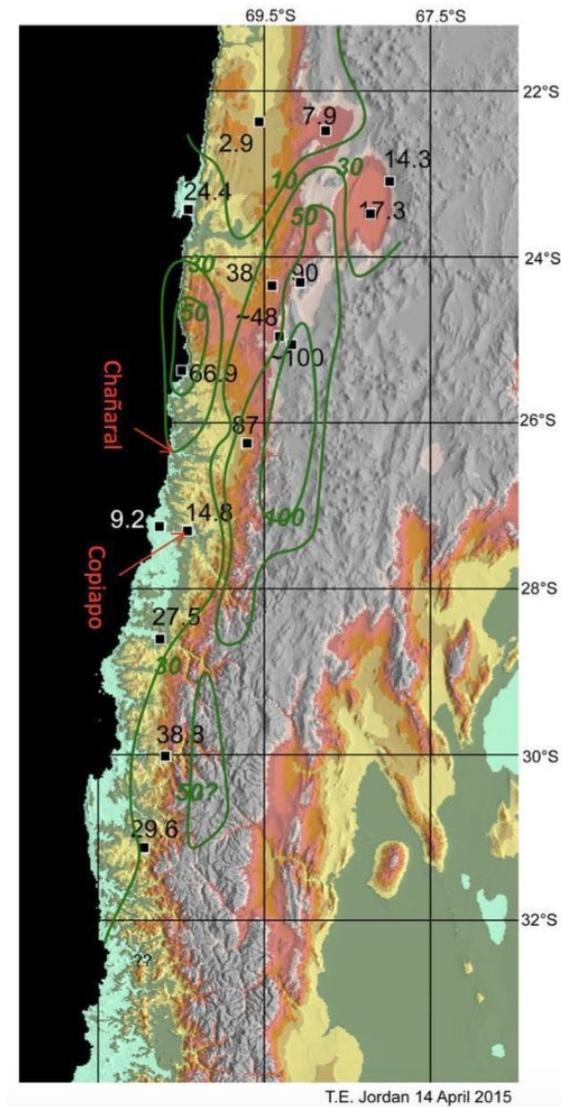
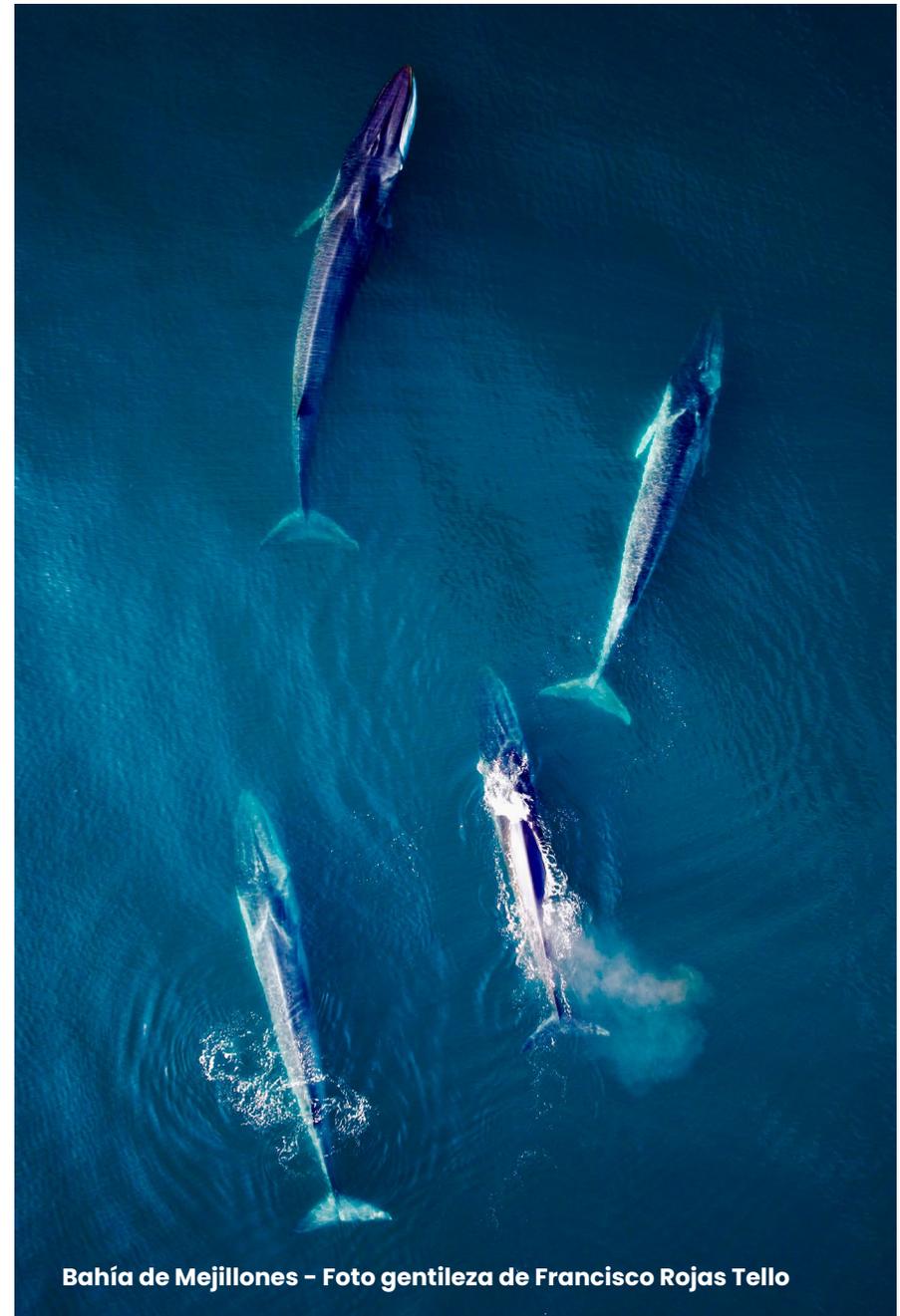


Fig. 7: Registro Precipitaciones 2025

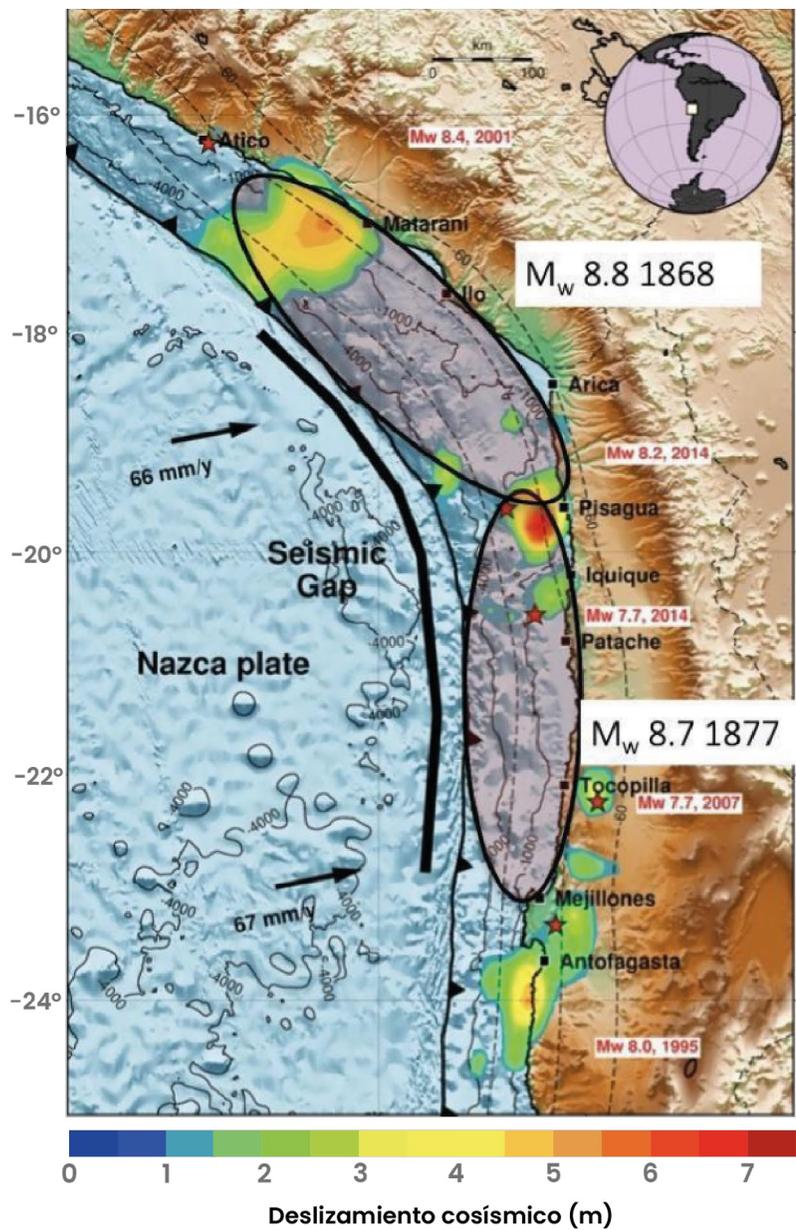




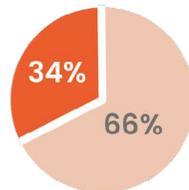
Punta Angamos

5. TECTÓNICA ACTIVA, TERREMOTOS Y TSUNAMIS

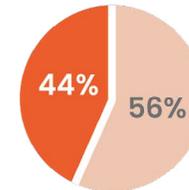
Un segundo aspecto relevante de la singularidad geológica de la Península de Mejillones es que alberga huellas geomorfológicas y estratigráficas de la tectónica activa del margen continental chileno. La Península existe gracias a que forma parte de una barrera sísmica de la zona de subducción que ha formado la gran Cordillera Andina. Los terremotos históricos ocurridos en el norte de Chile ya sea han comenzado bajo esta península o bien se han detenido bajo ella. Durante el último gran evento tsunamigénico del norte de Chile, causado por el terremoto de 1877 Mejillones fue completamente arrasado y se registraron las inundaciones más altas de todo el norte de Chile. Es así como esta ciudad se encuentra muy vulnerable a tsunamis del campo cercano.



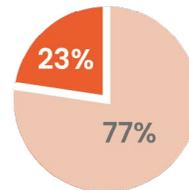
ARICA
202.131 HABITANTES



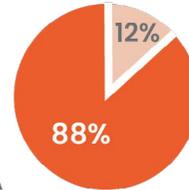
IQUIQUE
188.003 HABITANTES



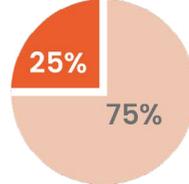
TOCOPILLA
25.185 HABITANTES



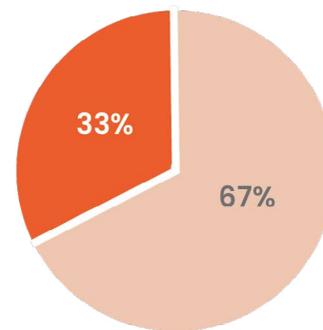
MEJILLONES
13.467 HABITANTES



ANTOFAGASTA
348.517 HABITANTES



TOTAL HABITANTES
777.304



Habitantes viviendo en zona de inundación
Habitantes viviendo en zona segura

Fig. 8: Zonas de Subducción Costa Pacifico

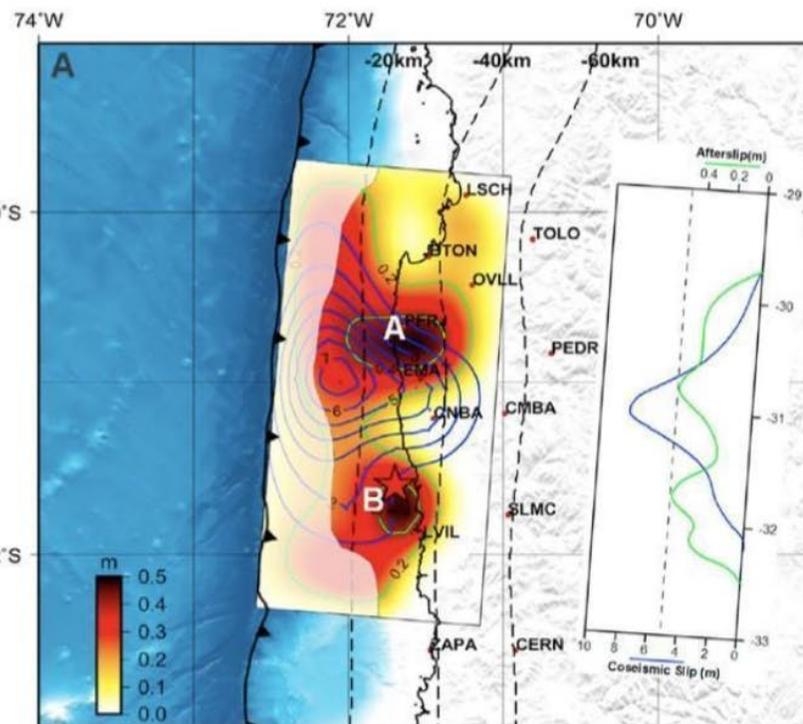
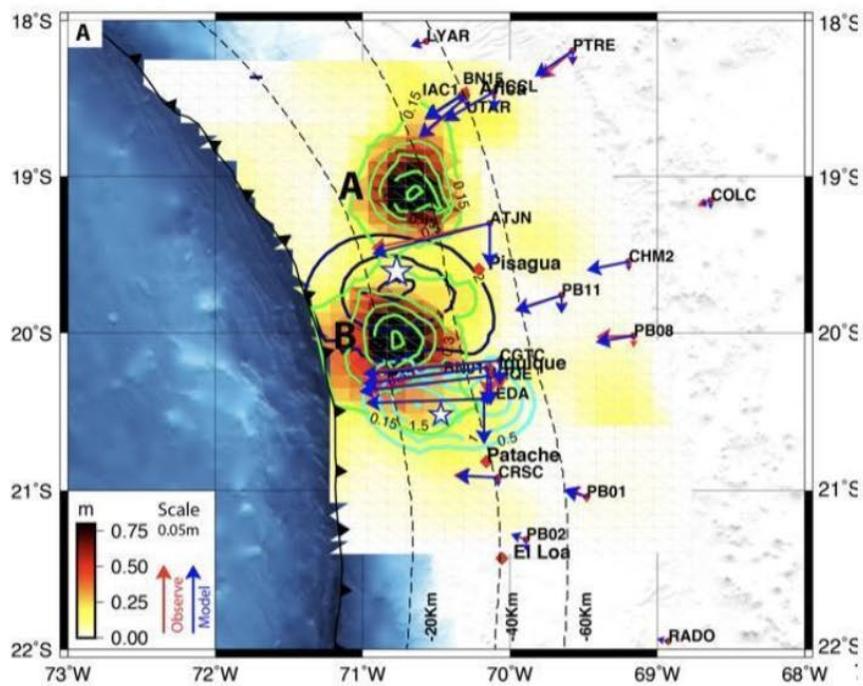
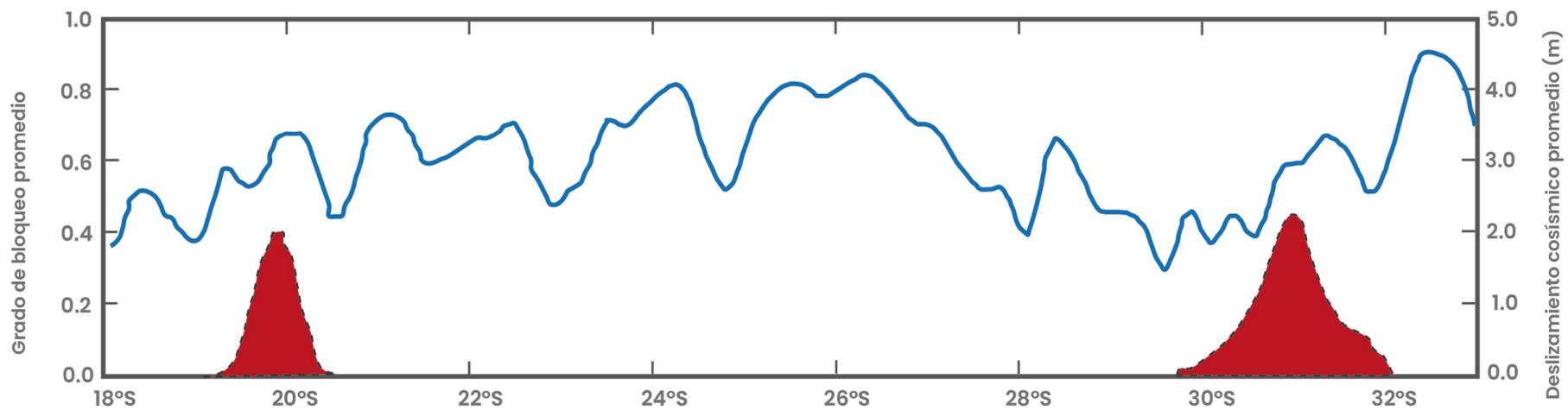


Fig. 9

1

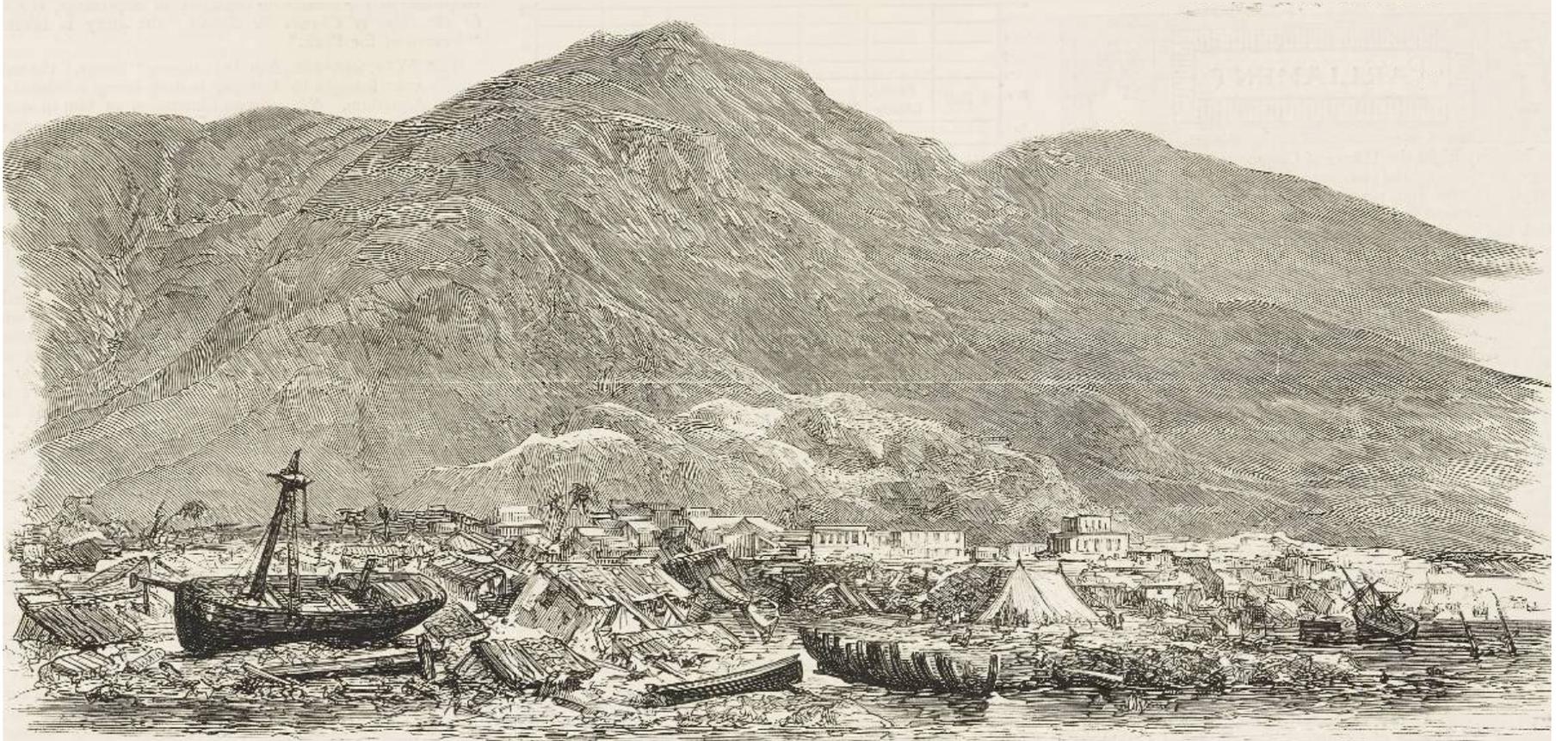


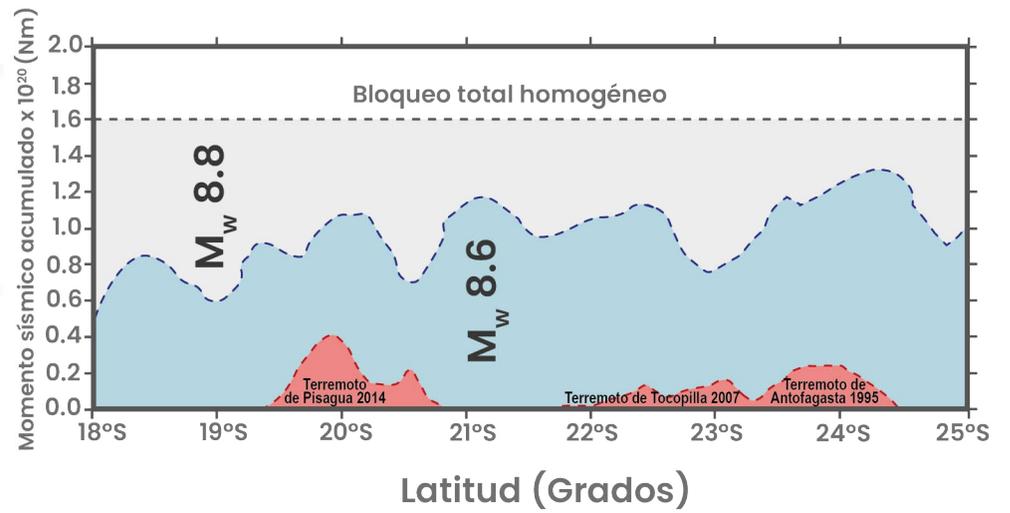
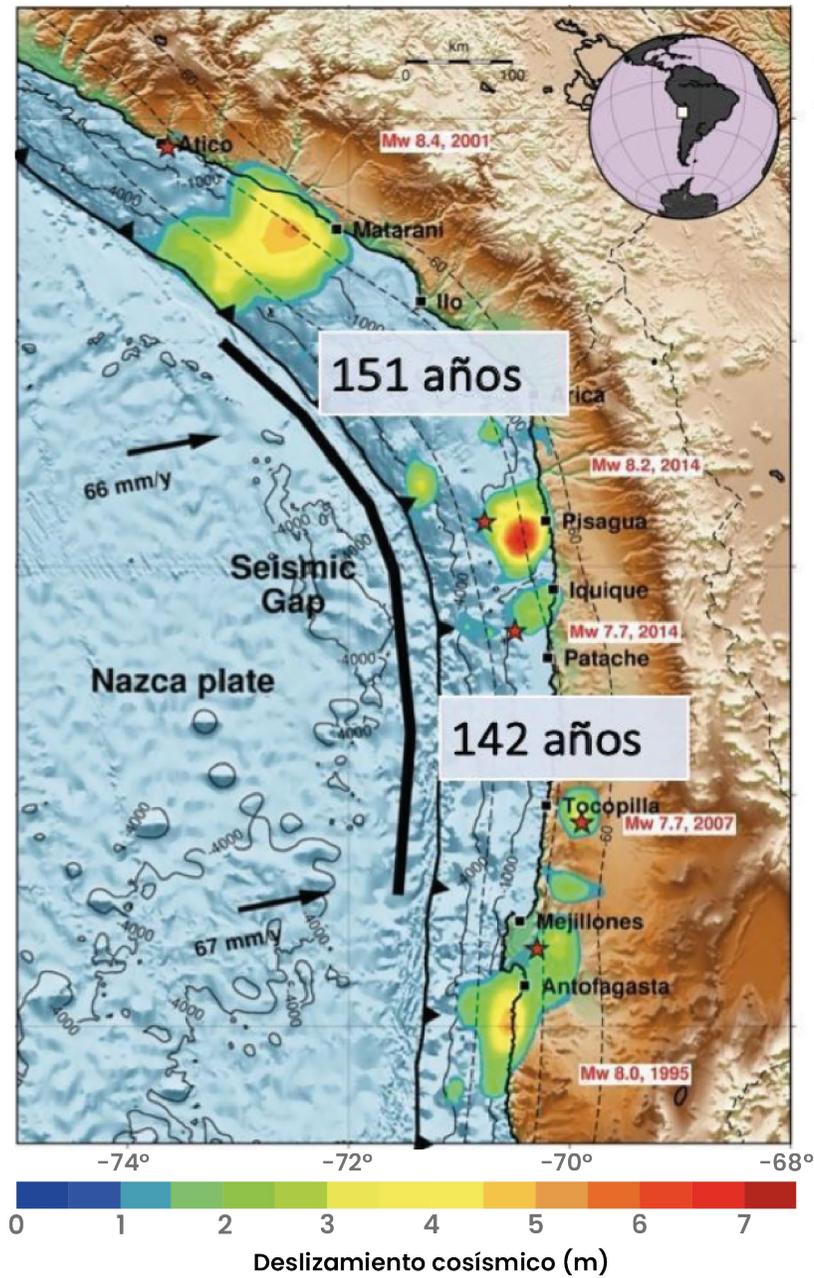
2



Fig. 10 El impacto del Terremoto y tsunami de 1877 en el norte de Chile. 2385 muertes, el sismo duró 5 minutos, el impacto del tsunami se distribuyó ampliamente a lo largo de la costa desde Arica hasta Mejillones, en la última localidad se observó un avance de 30m.

Gran terremoto y maremoto en la costa norte de Chile: 1) Consulado alemán en Iquique. 2) Iquique visto desde el mar, Perú y 3) Restos del Pabellón de Pica, pueblo de 5000 habitantes. Ilustración de la revista Graphic, vol. XVI, 400, 28 de julio de 1877. (Getty Images - Créditos: DEA/Biblioteca Ambrosiana)





Magnitud	Recurrencia (años)
M _w 8.8	205 ± 80
M _w 8.5	121 ± 60
M _w 8.0	30 ± 15

Fig. 11

6. BIODIVERSIDAD

En cuanto a diversidad natural es una zona de estadía no reproductiva de aves migratorias más importante de la costa norte de Chile, y de extraordinaria importancia como área de cría para las aves de la corriente de Humboldt, en especial, como área de nutrición de *Leucophaeus modestus*, antes *Larus modestus* Gaviota Garuma), especie autóctona de Sudamérica que sólo cría en la zona. Es importante, además, la presencia de *Lontra felina*, *Otaria flavescens* y *Arctocephalus australis*. También la presencia de fauna de vertebrados compuesta por roedores, zorros, reptiles y un sin número de otras especies de aves marinas y terrestres que también se divisan en el panorama ambiental de la zona (Guerra et al. 2010).



Fig. 12



Bahía Moreno

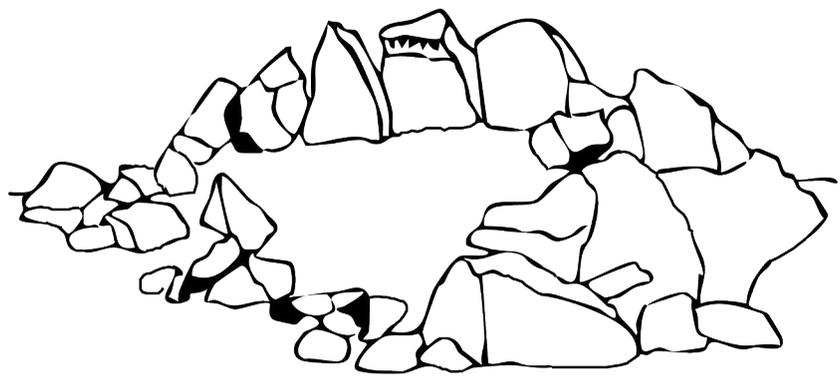
TABLA N°1: ESPECIES EN ESTADO DE CONSERVACIÓN

Mamíferos	<ul style="list-style-type: none">• Chungungo; (En peligro)• Marmosa; (Rara)• Lobo marino de dos pelos; (Rara)
Aves	<ul style="list-style-type: none">• Bandurria; (En peligro)• Pinguino de Humboldt; (En peligro)• Halcón peregrino; (En peligro)• Gaviotón chirrío; (En peligro)• Yunco; (Vulnerable)• Guanay; (Vulnerable)• Gaviotón monja; (Vulnerable)• Gaviotín garuma; (Vulnerable)• Golondrina de mar chica• Golondrina de mar negra• Lile• Piquero• Golondrina de mar de collar
Flora, cactáceas	<ul style="list-style-type: none">• Eulychnia iquiquensis (En peligro)• Neopterteria paucicostata (En peligro)• Neopterteria recondita (En peligro)• Polypodium espinosae (En Peligro)• Copiapoa tocopillana (En peligro)• Copiapoa solaris (En peligro)• Copiapoa atacamensis (Vulnerable)• Echinopsis deserticola (Vulnerable)• Copiapoa boliviana (Rara)
Líquenes	<ul style="list-style-type: none">• Oropogon lorolobic (En peligro)• Pseudocyphellaria aurata (En peligro)• Dyctionema glabratum (Rara)

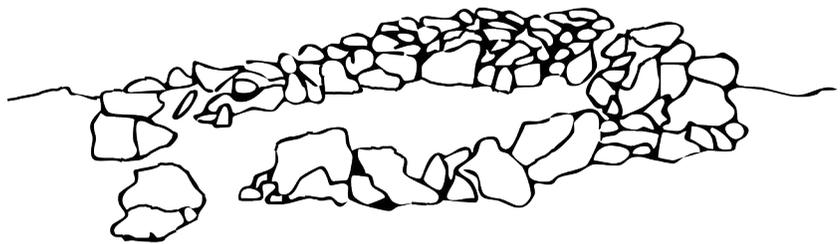
7. ARQUEOLOGÍA

La historia de la investigación arqueológica del sector se remonta a las expediciones realizadas entre 1928 y 1930 por el antropólogo y patólogo alemán Otto Aichel, con intereses de comparaciones craneométricas, excava en algunos de los cementerios que se encuentran junto a la aguada y otros cercanos a la isla Santa María, entre muchos otros que intervino a lo largo del litoral (Aichel 1932, Latcham 1909, 1938). Es precisamente en la zona de la aguada de Morro Moreno, que es posible datar una ocupación humana, altamente especializada en la explotación de los recursos marinos (Cruz y Llagostera 2009, 2011), correspondiendo al período Arcaico Tardío costero. La aguada de Morro Moreno fue seguramente, una de las principales razones que generaron asentamientos en la zona, también lo evidencia una notable presencia de sitios arqueológicos a su alrededor (Cruz y Llagostera 2011, Núñez y Varela 1967/68); también proporcionó de agua potable a los primeros habitantes de la ciudad de Antofagasta y en 1885 se alcanzaban diariamente cerca de 3.500 litros de agua (Arce 1997[1930], Pomar 1887).

Las estructuras presentes se orientan en general hacia el Norte y/o Noreste, son mayoritariamente de forma circular y sin duda en un estado de ruina, los diámetros oscilan entre 1.50 mt. y 3.10 mt. Se tratan de modalidad de construcción de muros tipo pirca presentando un espesor promedio de entre 40 a 60 cm.



0 5cm



0 50cm



Fig. 14 Zona de la aguada de Morro Moreno, registros ocupación humana

8. TURISMO DE INTERESES ESPECIALES

El Turismo de Intereses Especiales (TIE) que es una de las áreas de especialización económica de la Estrategia Regional de Innovación de la Región de Antofagasta (ERI 2022-2028), sustentado en la identidad cultural, potencial de negocios y en las características geográficas únicas de la Región, contribuye además a que la comunidad de la PM, evolucione en el desarrollo económico, tecnológico y social. Además, este eje aspira a transformar sus territorios en uno de los principales promotores de la conservación del patrimonio cultural y natural de Chile, posicionándolo como destino sustentable reconocido internacionalmente.

El TIE, como macro categoría, aporta al desarrollo de recursos con alto potencial de desarrollo en la PM, a la diversificación de destino y su oferta de servicios, así como a la desestacionalización y continua innovación de productos turísticos. Precisamente el TIE se sustenta y se proyecta básicamente en los recursos naturales, la cultura y la historia de las comunidades en su entorno territorial, haciendo de ellos un producto alternativo de alta demanda y que en este sector es un potencial eje de desarrollo y diversificación productiva.

Una gran división que forma parte del TIE está conformada por turistas de naturaleza, viajeros que demandan productos relacionados con el entorno natural, son turistas que visitan un destino para experimentar y gozar de la naturaleza. Así también se encuentran turistas con intereses científicos, dedicados al estudio u observación de especies de flora o fauna, como los observadores de aves, entre otros que dan lugar al birdwatching, observadores de cactáceas, pero también al ecoturismo marino, ecoturismo educativo, entre otras modalidades que se combinan también con actividades deportivas o culturales y que en la PM es posible potenciar.



9. CONFLICTOS

Desde la década de los años 90, la ciudad de Mejillones modificó su actividad productiva, pasando de ser una comuna primordialmente extractivista de recursos marinos, a desarrollar un fuerte parque industrial, concentrando más de 20 empresas, principalmente de químicos para el abastecimiento de la industria minera.

Respecto al uso de suelo, según la PLADECO este se encuentra normado por 4 instrumentos de planificación territorial, de acuerdo con los ámbitos territoriales que ellos abarcan: Plan Regional de Desarrollo Urbano (PRDU), Plan Regulador Intercomunal del Borde Costero (PRIBC) de la Región de Antofagasta, Plan Regulador Comunal de Mejillones (PRC); y Planes Seccionales que detallan la regulación del uso de suelo del PRC.

Zona de Sacrificio

La población ubicada especialmente en la ciudad de Mejillones, en el extremo norte de la península, conviven con 9 unidades termoeléctricas a carbón y otras 25 industrias y fábricas de productos químicos, que constantemente y por diversos motivos ocurren accidentes con evidentes impactos medioambientales tales como emanaciones de gases tóxicos, derrames de sustancias en la costa marina. Este lugar no cuenta con medidas de descontaminación y, de acuerdo con un estudio realizado por la Universidad de Antofagasta, en moluscos y sedimentos marinos del sector industrial, se registran altos niveles de metales pesados como níquel, cobre, zinc y plomo, entre otros. La contaminación doméstica del Puerto de Mejillones, la contaminación industrial de las industrias químicas y pesqueras, la pesca excesiva, la extracción de guano son algunos de los impactos ambientales y de alteración que causa la acción humana sobre el medio ambiente de



Fig. 15 En 2019: Eengie inaugura termoeléctrica Infraestructura Energética Mejillones (EIM) La planta tendrá una capacidad de 375 MW, con una inversión de más de US\$1.150 millones para su construcción.

10. OPORTUNIDADES PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD CIENTÍFICA

Líneas de investigación activas y líneas de investigación necesarias de implementar: resultado del análisis bibliométrico.

El diagnóstico de Landata incluye un análisis estadístico de la literatura científica relacionada con el Desierto de Atacama (DA), tanto producida en el territorio como enfocada en él. Este análisis se orienta a evaluar el volumen de investigaciones, las redes de colaboración y a caracterizar líneas de investigación vigentes. Para ello, en WoS se identificaron topónimos presentes dentro del polígono definido como caso de estudio, los cuales se combinaron con diversos conceptos clave, permitiendo un análisis bibliográfico que incorpora publicaciones sobre territorios o fenómenos contenidos en dicho polígono. La base de datos fue construida a partir del siguiente algoritmo de búsqueda: $TS = (("Mejillones" OR "Caleta Herradura" OR "Morro Jorgino" OR "Morro Moreno") AND "Chile")$.

Este enfoque presenta una limitación, ya que excluye investigaciones realizadas en el polígono que no mencionan explícitamente los topónimos seleccionados en sus títulos, resúmenes o palabras clave. Por ello, para una comprensión integral de las investigaciones en el DA, este análisis debe complementarse con la información disponible en la ficha extensa de Landata.
la zona.

EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE PUBLICACIONES EN EL TIEMPO

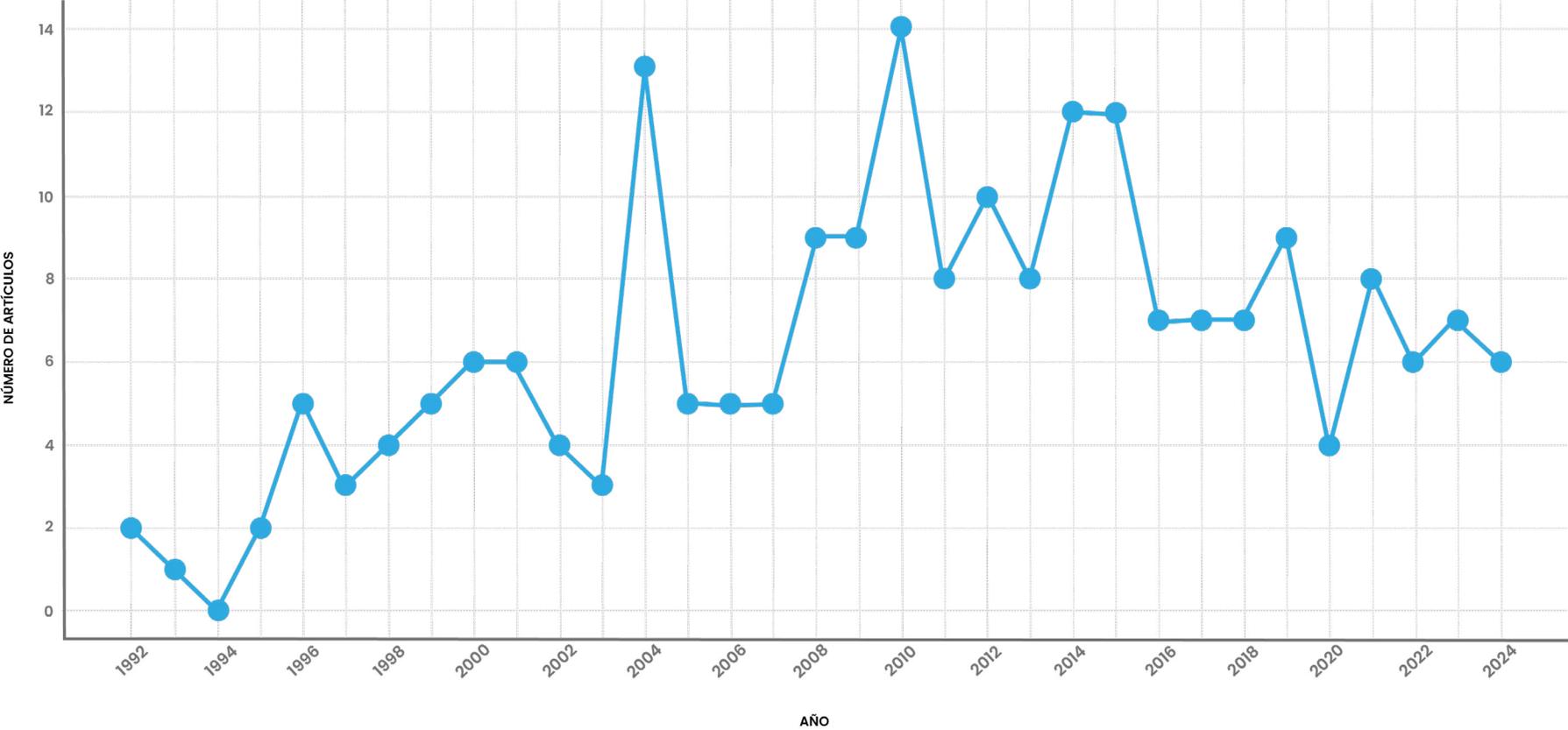


Fig. 16

Con esta búsqueda se identificaron 212 publicaciones científicas, abarcando desde 1992 hasta 2024. La tasa de crecimiento anual es de 3,49 papers por año (Gráfico producción anual), con un promedio de 27.12 citas por publicación. Las instituciones con mayor producción en el territorio incluyen la U. de Antofagasta, la U. de Chile, la U. de Concepción, la U. Católica del Norte y la Pontificia U. Católica de Chile. Respecto a la colaboración internacional, el 58,02% de las investigaciones en la BBDD fueron publicadas en cooperación entre dos o más países.

Según el gráfico por número de publicaciones, los países con mayor número de divulgaciones científicas en el polígono son Chile, Francia y Alemania.

Se realizó también un análisis de co-ocurrencias de palabras clave para identificar y caracterizar las líneas de investigación, en colaboración con investigadores de Landata expertos en el caso de estudio, lo cual permitió contextualizar los datos.

Cada línea se clasificó en función de dos variables: su conexión con el resto del área científica y su cohesión interna, facilitando así la medición de su centralidad y densidad.

En la tabla N°2, se presentan los nombres de las líneas de investigación, una breve descripción, el número de publicaciones categorizadas y una interpretación de su centralidad y densidad.

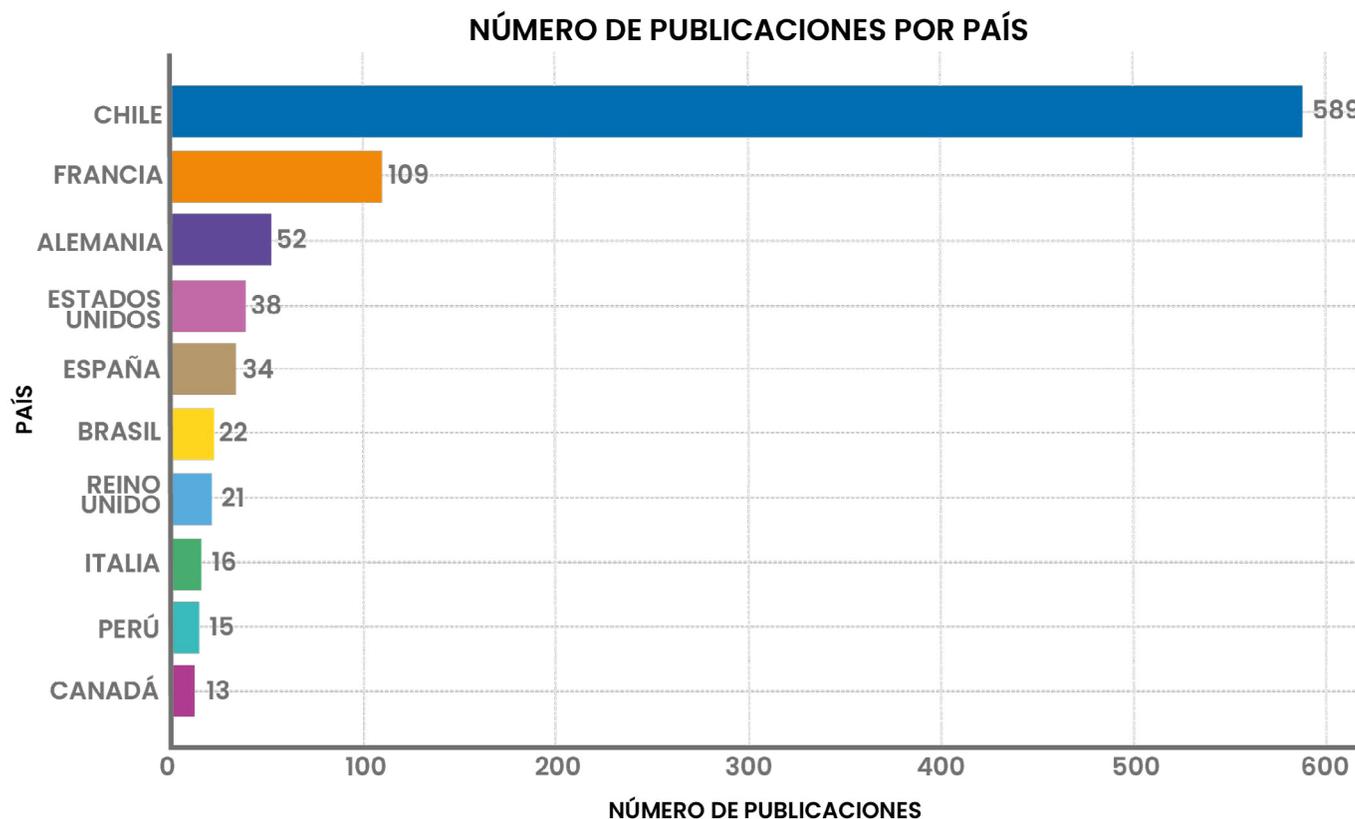


Fig. 17

TABLA N°2: LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Nombre de la línea de investigación	Descripción general de la línea	N° de publicaciones	Posición en la red de clústeres (centralidad y densidad e interpretación)
Ecosistemas Marinos y Dinámicas Biogeoquímicas en el Sistema de Surgencia de la Corriente de Humboldt	Las investigaciones de este clúster examinan la interacción entre los procesos oceanográficos, como la surgencia costera y la zona de mínimo oxígeno, y las actividades antropogénicas en los ecosistemas marinos de la Península de Mejillones. Los estudios incluyen la productividad biológica, la distribución del zooplancton e ictioplancton, y el impacto de la contaminación y la pesca en especies clave. También abordan el ciclo del carbono, la circulación de nutrientes y la biodiversidad en ambientes costeros y pelágicos, con un enfoque en la conservación y la salud ecosistémica.	36	<p>Centralidad alta (1,249): Clúster central y motor en la red, conectándose con diversas áreas.</p> <p>Densidad moderada (56,55): Buena cohesión temática, con espacio para fortalecer la conexión interna.</p>
Dinámica de Calanus Chlinese y Variabilidad Ecológica en el Sistema de Surgencia de la Corriente de Humboldt	Este clúster se centra en Calanus Chilensis, una especie clave de zooplancton en el ecosistema marino de la península de Mejillones. Se analizan su dinámica poblacional, producción y crecimiento bajo factores como surgencia costera, temperatura y eventos climáticos como El Niño, así como la interacción con condiciones oceanográficas y otros zooplancton.	13	<p>Centralidad alta (1,258): Principal clúster en términos de conexiones en la red.</p> <p>Densidad baja (45,81): Temática diversa, con potencial de fortalecer interconexiones temáticas.</p>
Geoquímica de Sedimentos Marinos y Paleoceanografía en la Bahía de Mejillones	Este clúster explora la distribución de metales pesados y trazas en los sedimentos marinos de la Bahía de Mejillones, vinculándolos con procesos geoquímicos y paleoceanográficos. Se analizan registros de cambios climáticos y de condiciones oceanográficas, destacando eventos históricos y el impacto de metales pesados.	22	<p>Centralidad moderada (0,451): Área importante con conexiones limitadas.</p> <p>Densidad alta (71,91): Fuerte cohesión temática, con una estructura de investigación consistente.</p>
Paleoxygenación y Geoquímica Redox en la Zona de Mínimo Oxígeno del Sistema de la Corriente de Humboldt	Este clúster estudia la variabilidad de la zona de mínimo oxígeno en la Bahía de Mejillones, usando metales redox-sensibles para reconstruir niveles de oxígeno en aguas profundas. Se exploran los impactos de eventos climáticos, como El Niño, en la oxigenación y la deposición de metales en sedimentos.	4	<p>Centralidad baja (0,063): Conexión limitada con otros clústeres, mostrando especialización.</p> <p>Densidad alta (72,92): Alta cohesión interna, reflejando un enfoque bien delimitado.</p>

Nombre de la línea de investigación	Descripción general de la línea	Nº de publicaciones	Posición en la red de clústeres (centralidad y densidad e interpretación)
Tectónica de Subducción y Ciclo Sísmico	El clúster estudia la deformación del terreno y el ciclo sísmico, desde la interseismicidad hasta la post-sísmica. Se examina la segmentación de la zona de subducción y la dinámica de la corteza en la región costera de la Península de Mejillones, proporcionando información clave sobre riesgo sísmico.	18	Centralidad baja (0,25): Conexiones limitadas, lo que sugiere enfoque específico. Densidad moderada (50): Cohesión interna aceptable, con posible expansión temática.
Suelos Diatomáceos y Ecosistemas Bentónicos en el Norte de Chile	Este clúster combina el estudio de las propiedades geotécnicas de los suelos diatomáceos y la funcionalidad ecológica de los ecosistemas bentónicos, abordando temas de bioacumulación de metales, dinámica de sedimentos y el acoplamiento pelágico-bentónico.	11	Centralidad baja (0,083): Enfoque específico con pocas conexiones. Densidad alta (80,68): Fuerte cohesión interna, reflejando un enfoque específico y robusto.
Erosión Eólica, Variabilidad del Viento y Productividad Biológica	Este clúster analiza la erosión eólica y el transporte de partículas en el desierto costero del norte de Chile, explorando cómo la variabilidad del viento afecta los procesos sedimentarios y la productividad biológica en las zonas de surgencia.	6	Centralidad baja (0): Sin conexiones con otros clústeres, indicando especialización temática. Densidad moderada (60,42): Cohesión aceptable, pero con margen para fortalecer interconexiones.

Este análisis refleja un panorama diverso de investigación en el área de la Península de Mejillones, donde algunos clústeres, especialmente aquellos relacionados con ecosistemas marinos y dinámica de surgencia, actúan como motores centrales con una fuerte conectividad temática. Por otro lado, clústeres específicos y altamente cohesionados, como "Paleoxygenación y Geoquímica Redox," y "Tectónica de Subducción y Ciclo Sísmico" muestran enfoques profundos pero limitados en su interrelación con otros temas, sugiriendo oportunidades para integraciones interdisciplinarias que fortalezcan la red general de conocimiento.

La descripción científica de la Península de Mejillones revela áreas no reflejadas en las líneas de investigación actuales, destacando la

biodiversidad terrestre, incluidas especies en conservación, así como la relevancia de los análogos planetarios y el patrimonio geológico.

También menciona la rica historia arqueológica y antropológica de la zona, con evidencias de antiguos asentamientos y uso de recursos marinos, y aborda los conflictos socioambientales derivados de la actividad industrial que han convertido a Mejillones en una "zona de sacrificio." Estos temas presentan oportunidades para ampliar los estudios hacia la conservación, la arqueología, el impacto social y la sostenibilidad en la península.



Punta Rieles

11. OPORTUNIDADES PARA EL SECTOR PRODUCTIVO

Si bien el Nodo Landata identifica bien las oportunidades que las singularidades del DA ofrecen al sector productivo de la MZN y de Chile, como oportunidades en el desarrollo de minería sustentable, diversificación productiva, desarrollo de energías renovables no convencionales que aportan a la lucha contra el cambio climático a través de menores emisiones de CO₂, oportunidades en el desarrollo de tecnologías relacionadas con recursos hídricos no convencionales, agricultura en el desierto, turismo de intereses especiales, entre otras, el diagnóstico realizado en el territorio y en el análisis de la literatura gris suele enfocarse más en las problemáticas asociadas a la actual actividad productiva en el territorio que en las nuevas oportunidades, lo que revela un dolor en el territorio que es necesario abordar, como se detalla a continuación.

La información levantada en los talleres territoriales de cartografía participativa y en el análisis de literatura gris, develan una tensión importante entre el sector productivo (orientado hacia el desarrollo industrial minero y energético) en la MZN, y el resguardo del patrimonio material e inmaterial del DA. Dicha tensión se expresa con mayor nitidez en las problemáticas a las que se ven enfrentados los territorios, asociadas a la contaminación medioambiental, el estrés hídrico y la salud de las personas. No obstante, es esta misma tensión la que plantea como necesidad urgente barajar nuevas oportunidades para el desarrollo productivo y plantear posibilidades para su diversificación.

En línea con lo recién planteado, cabe mencionar el turismo, por ejemplo, el cual emerge fuertemente en la literatura gris asociada a los tres primeros casos de estudio como temática transversal y una actividad económica emergente a desarrollar y fortalecer. Ahora bien, en cada caso de estudio, las oportunidades para el sector productivo revisten de características específicas, las cuales se abordan con mayor detalle en los apartados siguientes.

12. ANÁLISIS DE LITERATURA GRIS

En el caso de la Península de Mejillones, se han generado problemáticas socioambientales debido a la presencia y acciones de la industria energética, principalmente por las centrales termoeléctricas que generan elevados índices de contaminación, y por plantas desalinizadoras que producen grandes cantidades de desechos sólidos y líquidos, los cuales, terminan en el mar afectando negativamente a los organismos que habitan el lecho marino. Al respecto, en la siguiente imagen se grafica cómo interactúan las problemáticas recién mencionadas con las principales temáticas identificadas en el análisis de la literatura gris (Fig. 18).

Lo anterior es de vital importancia relevar, pues estos factores merman una oportunidad de desarrollo sustentable y sostenible (DS) para Mejillones, que se ha posicionado como un foco turístico por el patrimonio histórico-cultural centrado en el paisaje, la historia, la arquitectura y la gastronomía. En lo relativo al paisaje, su principal atractivo está en el avistamiento de ballenas, lobos marinos, el gaviotín chico, entre otros animales, además de vestigios de asentamientos humanos históricos, yacimientos arqueológicos relevantes para la ciencia e investigación, además de destacarse por su diversidad geológica, exhibiendo un paisaje con fallas geográficas, y que además ha sido catalogado como Sitio Prioritario para la Conservación Biológica, por su importante "productividad biológica que sustenta la biodiversidad existente" (Centro de Estudios Agrarios y Ambientales, 2019, pág. 6), lo que lo releva su potencial para el turismo de intereses especiales.



Sector La Portada

13. TALLERES TERRITORIALES

En los talleres territoriales se abarcaron principalmente las brechas asociadas al Desarrollo Industrial, donde se identifican como oportunidades: Oportunidades de transformación progresiva por medio del fomento de proyectos "piloto" para soluciones sustentables; Fomento en investigación científica para diversificación productiva.

El tema "Energía" también presenta potenciales oportunidades derivadas desde el análisis de brechas: Fomento de investigación para la reconversión de energía convencional a ERNC; Fomento a la investigación en innovación en reciclaje de residuos industriales.

Por último, el sector Turismo presenta una serie de oportunidades como alternativa a la industria extractivista: Construcción de relatos turísticos con base científica; Fortalecimiento de interacción ciencia-turismo; Fomento al estudio de capacidad de carga turística con enfoque en el desarrollo sustentable.



La Rinconada

14. OPORTUNIDADES PARA LA SOCIEDAD

En el DA se despliega un abanico de oportunidades para la sociedad, las cuales, de acuerdo con lo constatado en el análisis de la literatura gris, hilvanan la importancia de la participación y empoderamiento comunitario en los diversos focos de desarrollo en la Cuenca del Río Loa, la Península de Mejillones, y la Cuenca de Lllamará. Como se ha señalado anteriormente, existe una serie de factores que afectan los territorios y a su vez evidencian posibles acciones que permitan vivir bien en el Desierto, lo cual supone: una mejora en la calidad alimenticia de productos locales, diversificación de fuentes de recursos hídricos, protección medioambiental, innovación biotecnológica, fortalecimiento de las identidades culturales locales, valorización patrimonial, monitoreo de la biodiversidad y la conservación, planificación territorial efectiva, gobernanza local, y acercamiento de la CTCI a la comunidades e involucramiento de las mismas en su diseño y ejecución, entre otras.

La especificidad de este caso estudio con respecto a las oportunidades para la sociedad han sido expresadas, con mayor profundidad, por parte de quienes participaron en los talleres de cartografía participativa en los cuales se basa ese contenido:

En los talleres participativos en la localidad de Mejillones surgieron diversos temas relacionados con las brechas actuales del territorio, así como también visiones y acciones que bosquejan caminos a seguir en favor del desarrollo comunal y local. Es así como surgieron los siguientes temas; "Zona de Sacrificio", "Desarrollo Industrial", "Energía", "Turismo y patrimonio" y "Educación".

Considerando las connotaciones negativas del tema "Zona de Sacrificio", se infieren oportunidades para la sociedad mediante la identificación de soluciones en el tema "Desarrollo Industrial", asumiendo la directa relación entre los parques industriales actuales y las afectaciones medioambientales en el territorio.

TABLA N°3: OPORTUNIDADES PARA LA SOCIEDAD EN LA PENÍNSULA DE MEJILLONES

Tema	Oportunidades
Desarrollo industrial	<ul style="list-style-type: none">• Innovación en Soluciones Sostenibles.• Diversificación económica.• Gestión eficiente de desechos.• Optimización de recursos Minerales.• Promoción de procesos industriales alternativos y sustentables, impulsando la diversificación productiva con enfoques en biotecnología microbiana y nuevos minerales.• Fortalecimiento de la ciencia y tecnología integrando información ambiental y promoviendo la participación comunitaria.• Democratización del conocimiento y construcción de mecanismos de gobernanza inclusivos.
Energía	<ul style="list-style-type: none">• Incentivos para Mejora Ambiental y Energética.• Fortalecimiento de una Gestión Responsable de Desechos.• Fomento al Reciclaje y Recuperación Eficiente de desechos industriales.• Contribución a la transición hacia fuentes de energía más limpias y renovables
Turismo y Patrimonio	<ul style="list-style-type: none">• Fortalecimiento de atractivos turísticos orientado a la construcción participativa de relatos turísticos.• Fortalecimiento de actividad turística actual por medio de hibridación turismo/ciencia.• Profundización de conocimientos acerca de sitios turísticos ya existentes.• Fortalecimiento de sitios turísticos actuales
Educación	<ul style="list-style-type: none">• Fortalecimiento de la malla curricular orientada al conocimiento, reconocimiento y conservación del patrimonio natural y cultural.• Fomento de capacidad comunitaria de gestión y fiscalización medioambiental.• Capacitación y formación en el cuidado y conservación del medio físico, así como en transformaciones productivas orientadas a los nuevos desafíos del territorio.

15. NECESIDADES HABILITANTES

Reconocer las necesidades habilitantes es clave para que las acciones de Landata sean efectivas y tengan un impacto positivo en el ecosistema CTCI de la MZN. El trabajo realizado por Landata se ha centrado en diagnosticar las necesidades de los territorios, al mismo

tiempo que identifica el rol actual de la ciencia sobre el desierto. Sin embargo, un aspecto que ha quedado fuera del diagnóstico son las capacidades materiales (infraestructura y equipamiento) de los actores involucrados.

La iniciativa priorizada "Levantamiento de información y propuesta de monitoreo actualizado y participativo en las cuencas hidrográficas del DA y de otras zonas relacionadas", tiene como objetivo abordar las necesidades habilitantes identificadas en el diagnóstico realizado por el Nodo, específicamente en lo que respecta al acceso a información sobre los recursos hídricos del territorio. La falta de un acceso sencillo a información validada representa una brecha importante, que dificulta la obtención de datos por parte de las comunidades y genera tensiones entre las actorías, fomentando un clima de desconfianza.

Esta iniciativa busca establecer un sistema de monitoreo de los recursos hídricos, que incluya la recolección de datos y la producción de información a través de monitoreos participativos. Su propósito es simplificar el acceso a la información y garantizar la legitimidad de los datos, tanto por la naturaleza participativa de los monitoreos como por la identidad científica del Nodo, que permite a Landata participar en el diálogo desde una posición técnica. De igual forma, el conocimiento de este tipo de información habilita la proyección de iniciativas que requieren un conocimiento del estado de la cuenca para enfocar su acción.

Desde el Nodo se considera que mejorar las dinámicas investigativas sobre el territorio es una necesidad habilitante para fortalecer el compromiso de la ciencia para con el territorio y sus comunidades, además de fortalecer el campo científico nacional. Para ello, se propone como producto de la iniciativa un manual de buenas prácticas, que establece lineamientos para guiar a los investigadores, tanto nacionales como internacionales, en su interacción con el territorio. Además, la iniciativa representa un avance en una necesidad habilitante particularmente desafiante: complejizar el imaginario social del DA. Esto es crucial para transformar la percepción del desierto, de un espacio "vacío" y destinado exclusivamente a la producción económica, a un territorio rico en valor científico y cultural.

16. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aichel, O. 1932. Ergebnisse einer Forschungsreise nach Chile-Bolivien. Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie 31(1): 1-166.

Anbleyth-Evans, J., Prieto, M., Barton, J., Garcia Cegarra, A., Muslow, S., Ricci, E., Campus, L., & Francisca, V. P. (2022). Toxic violence in marine sacrificial zones: Developing blue justice through marine democracy in Chile. *Environment and Planning C: Politics and Space*. <https://doi.org/10.1177/23996544221084193>

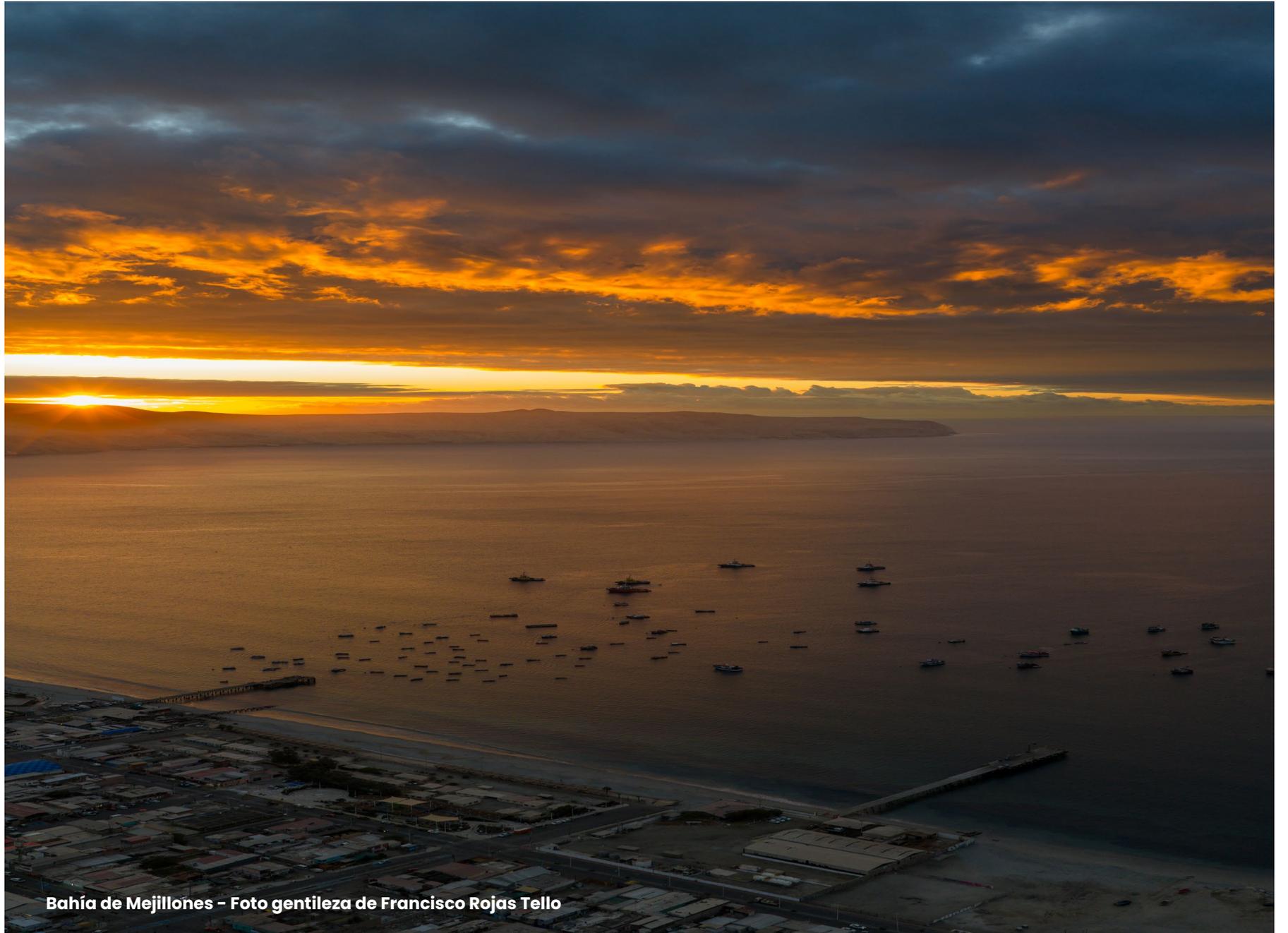
Arce, I. 1997 [1930]. Narraciones históricas de Antofagasta. Lama Industriales, Antofagasta.

CONAMA , "Actualización de la Línea Base de Biodiversidad de la Península de Mejillones, Sitio Prioritario para la Conservación". – Univ. de Antofagasta, 2003.

Alvarez, G. A. Salinas, R.A. & T. J. Malthus (2007) Integrating CFD modelling, neural networks and remote sensing: controlled prediction of chlorophyll-a concentration in the Mejillones of South Bay. *IET Comput. Vis.* 1: 55-65.

Araya, R., J.C. Leiva & J. Valdés (2008) Caracterización molecular de las comunidades bacterianas asociadas a sedimentos de un sistema costero del norte de la corriente de Humboldt, bahía Mejillones del

- Sur, Chile. *Rev. Biol. Mar y Oceanografía* 43:547-557.
- Avendaño, M. & M. Cantillán (2003) population estimates, extraction and translocation of the pectinid *Argopecten purpuratus* within Mejillones Bay, Chile. *Scientia Marina* 67: 285-292.
- Ballester et al 2014 - Arqueología de la prehistoria de la Península de Mejillones: el campamento de Los Canastos 3 desde sus cuadernos de campo y materiales de museo.
- Caniupán, M., T. Villaseñor, S. Pantoja, C. B. Lange, G. Vargas, P. Muñoz & M. Salamanca (2009) Sedimentos laminados de la Bahía Mejillones como registro de cambios temporales en la productividad fitoplanctónica de los últimos ~200 años. *Rev. Chilena de Historia Natural* 82:83-96.
- Cerda, M., B. Knoppers, J. Valdés, A. F. Siffedine, L. Ortlieb & E. Sabadini-Santos (2010) Variación espacial y temporal de las masas de agua, nutrientes y sedimentación de la materia orgánica e inorgánica en la bahía Mejillones del Sur (23°S) Chile. *Rev. Chilena de Historia Natural* 83:409-420.
- Cruz, J. y A. Llagostera. 2009. Biodiversidad y cultura en la prehistoria de la península de Mejillones. Informe proyecto CONAMA – FPA. Antofagasta.
- Cruz, J. y A. Llagostera. 2011. Prehistoria de Antofagasta. En la ruta de los primeros antofagastinos. Morgan Impresores, Antofagasta
- Farías, M. & C. Castro (2008) Variabilidad de la temperatura superficial del mar, identificación de surgencias costeras y su relevancia en un área marina costera protegida del desierto de Atacama, Chile. *Rev. Geografía Norte Grande* 41:49-61.
- Guiñez, M., J. Valdés & A. Siffedine (2010) Variabilidad espacial y temporal de la materia orgánica, asociada a la Zona Mínima de Oxígeno (ZMO), en un ambiente costero del norte de la corriente de Humboldt, bahía de Mejillones, Chile. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 38:242-253.
- Hidalgo, P. & R. Escribano (2008) The life cycles of two coexisting copepods, *Calanus chilensis* and *Centropages brachiatus*, in the upwelling zone off northern Chile (23°S). *Mar. Biol.* 155: 429-442.
- Iglesias, V., S. Burgos, N. Marchetti, C. Silva & P. Pino (2008) Nivel del níquel urinario en niños residentes en ciudades cercanas a megafuentes. *Rev. Med. Chile* 136:1039-1046.
- Guerra, C., C. Guerra y A. Silva. 2010. Guía de la biodiversidad en la Península de Mejillones, Morro Moreno, Parque Nacional. Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile, Santiago.
- Latcham, R. 1909. El comercio precolombino en Chile y otros países de América. *Anales de la Universidad de Chile* 125: 241-284.
- _____. 1910. Los cambios de las costas de Chile. Imprenta Cervantes, Santiago de Chile.
- _____. 1938. Arqueología de la Región Atacameña. Universidad de Chile, Santiago
- Llagostera, A. 2013. Poblaciones marítimas con arquitectura. *Hombre y Desierto* 17:151-183
- Llagostera, A. 1989. Caza y pesca marítima (9.000 a 1.000 a.C.). En *Prehistoria desde sus Orígenes hasta los Albores de la Conquista*, editado por J. Hidalgo, V. Schiappacasse, H. Niemeyer, C. Aldunate e I. Solimano, pp. 57-79. Editorial Andrés Bello, Santiago.
- Núñez, L. y J. Varela. 1967-68. Sobre los recursos de agua y el poblamiento prehispánico de la costa del Norte Grande de Chile. *Estudios Arqueológicos* 3/4: 7-41.
- Pomar, L. 1887. Exploración hidrográfica del litoral de Antofagasta. Imprenta Nacional, Santiago.
- Ricci, E., 2023. Ruta 9. Guía de Campo. Innovación Social en el Turismo de Intereses Especiales de la Región de Antofagasta. Editorial: Ediciones Universidad Católica del Norte



Bahía de Mejillones - Foto gentileza de Francisco Rojas Tello

LanData

Laboratorio Natural Desierto de Atacama



landata.cl

f   in / landata@ucn.cl

+56 55 2 355496

INSTITUCIONES ASOCIADAS



Universidad
Católica del Norte



UNIVERSIDAD DE TARAPACÁ
Universidad del Estado



UNIVERSIDAD
DE CHILE



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

BIOCIENCIA
FUNDACION CIENTIFICA Y CULTURAL

