



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA



**CARACTERIZACIÓN Y GEOCONSERVACIÓN DE  
LAS DUNAS DE QUIDÍCO-LILE, PROVINCIA DE  
ARAUCO, REGIÓN DEL BIOBÍO, CHILE**  
(37°21'23" S y 73°38'37" W)

**Memoria para optar al Título de Geólogo**

**DIEGO ALFONSO FREIRE ÁVILA**



**Profesor Patrocinante:** Dr. Jorge Andrés Quezada Flory.

**Profesores comisión:** Dr. Alfonso Encinas Martin

Dra. Edilia Jaque Castillo

**Concepción, 2021**



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Objetivos.....	1
1.1.1 Objetivo general .....	1
1.1.2 Objetivos específicos.....	1
1.2. Ubicación y accesos.....	1
1.3 Clima .....	2
1.4 Flora y fauna.....	3
1.5 Metodología de trabajo.....	4
1.5.1 Etapa de gabinete I .....	4
1.5.2 Etapa de gabinete II.....	5
-Método de toma de muestra .....	5
-Envasado e identificación de la muestra .....	5
1.5.3 Etapa de terreno.....	5
1.5.3.1. Etapa de reconocimiento .....	5
1.5.3.2. Etapa de muestreo.....	5
1.5.3.3 Etapa de correlación con dunas de la región .....	6
1.5.4 Etapa de gabinete post-terreno .....	6
<b>2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL</b> .....	7
2.1. Sedimentos Recientes .....	7
2.2. Formación Cañete o Sedimentos antiguos.....	8
2.3. Formación Tubul .....	8
2.4. Formación Ranquil .....	8
2.5. Formación Millongue .....	9
2.6. Formación Boca-Lebu .....	10
2.7. Formación Trihueco .....	10
2.8. Formación Curanilahue .....	10
2.9. Formación Quiriquina.....	11
2.10. Basamento Metamórfico.....	11
<b>3. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL</b> .....	12
<b>4. DEPOSITOS EÓLICOS</b> .....	13

4.1 Dunas en Chile.....	13
4.2 Importancia de las dunas .....	14
<b>5. DUNAS DE QUIDICO-LILE .....</b>	<b>17</b>
5.1 Mineralogía.....	17
5.2 Proveniencia de los sedimentos .....	18
5.3 Geomorfología.....	19
5.4 Usos e impactos .....	21
5.4.1 Extracción de arenas.....	21
5.4.2 Extracción de agua subterránea.....	22
5.4.3 Uso agrícola y ganadero.....	23
5.4.4 Plantaciones forestales .....	23
5.4.5 Actividades humanas de esparcimiento .....	26
-Tránsito de personas.....	26
-Vehículos 4x4.....	26
-Sandboard.....	27
5.5 Registro paleontológico.....	28
5.6 Registro Arqueológico.....	29
<b>6. CAMPOS DE DUNAS EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO.....</b>	<b>31</b>
6.1. Duna Puerto Norte, Isla Santa María.....	31
6.1.1. Mineralogía .....	32
6.1.2. Proveniencia de los sedimentos.....	33
6.2 Dunas de Pangué .....	34
6.2.1. Mineralogía .....	34
6.2.2. Proveniencia de los sedimentos.....	35
<b>7. DIAGNÓSTICO DEL CAMPO DE DUNAS DE QUIDICO-LILE.....</b>	<b>36</b>
7.1 Vulnerabilidad del campo de dunas.....	36
7.1.1 Índice Geomorfológico-sedimentario del campo de dunas (IGD) .....	36
7.1.2 Índice de Incidencia Marina (IIM) .....	37
-Recuperación geográfica (Km) .....	37
-Estado modal de la playa.....	37
-Ancho de la zona intermareal (Km) .....	37
-Barras arenosas.....	38

7.1.3 Índice de Incidencia Eólica (IIE) .....	38
7.1.4: Índice de características de la cubierta vegetal (ICV):.....	40
7.1.5 Índice de Presión de Uso (IPU).....	42
7.2 Cálculo del índice de vulnerabilidad .....	44
<b>8. ALTERNATIVAS DE GEOCONSERVACIÓN .....</b>	<b>45</b>
8.1 Educación ambiental.....	45
8.1.1 Proyecto Sandboard y Geociencias para niños de sectores rurales .....	46
8.2 Reducción de las causas de alteración.....	46
8.2.1 Manejo de residuos asimilables a domiciliarios.....	46
8.3 Reconstrucción de sistemas dunar .....	47
8.3.1 Método ingenieríl: .....	47
8.3.2 Método ecológico:.....	47
8.4 Revegetación .....	48
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>10. REFERENCIAS.....</b>	<b>51</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1 Mapa de Ubicación y Accesos.....	2
Figura N°2 Mapa geológico de la provincia de Arauco.....	7
Figura N°3 Mapa geomorfológico de la Región del Biobío.....	12
Figura N°4 Esquema de la influencia del nivel freático en la duna.....	22

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N°1 <i>Elymus farctus</i> .....	3
Fotografía N°2 <i>Ammophila arenaria</i> .....	3
Fotografía N°3 <i>Lupinus arboreus</i> .....	3
Fotografía N°4 Flor de <i>Lupinus arboreus</i> .....	3
Fotografía N°5 Humedal en Quidico-lile.....	4
Fotografía N°6 Formación Millongue.....	10
Fotografía N°7 Arena de Quidico-lile.....	17
Fotografía N°8 Río Quiapo.....	18
Fotografía N°9 Dunas transversales.....	19
Fotografía N°10 Duna barján.....	19
Fotografía N°11 Dunas parabólicas.....	19
Fotografía N°12 Límite natural de la duna.....	19
Fotografía N°13 Estratificación cruzada.....	20
Fotografía N°14 Ripple marks.....	20
Fotografía N°15 Extracción de arena.....	22
Fotografía N°16 Lagunas en la duna.....	23
Fotografía N°17 Plantaciones forestales.....	24
Fotografía N°18 Reforestación sobre duna activa en Pangué.....	24
Fotografía N°19 Reforestación sobre duna activa en Quidico-lile.....	24
Fotografía N°20 Límite de la duna activa con cultivo forestal en Quidico-lile.....	24
Fotografía N°21 Huella dejada por un vehículo 4x4 en la arena.....	26
Fotografía N°22 Trazas fósiles en Formación Millonge.....	28
Fotografía N°23 <i>Ophiomorpha sp.</i> .....	29
Fotografía N°24 Osamentas humanas en Arauco.....	31
Fotografía N°25 Arena de duna al NW de Isla Santa María.....	32
Fotografía N°26 Punta delgada en Puerto sur de Isla Santa María.....	33
Fotografía N°27 Duna en sector NW de Isla Santa María.....	33
Fotografía N°28 Arena de dunas de Pangué.....	34
Fotografía N°29 Acantilado en dunas de Pangué.....	35
Fotografía N°30 Dunas parabólicas en Pangué.....	35
Fotografía N°31 Presión de visitantes.....	42
Fotografía N°32 Educación ambiental.....	46
Fotografía N°33 Asistentes al taller educativo.....	46

Fotografía N°34 Captadores de mimbre.....	48
Fotografía N°35 Playa invadida por <i>Lupinus arboreus</i> .....	49
Fotografía N°36 Planta Doca o frutilla de mar sobre suelo de duna.....	50
Fotografía N°37 Flor de la planta Doca.....	50

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1 Superficie de depósitos de dunas en Chile.....	13
Tabla N°2 Importancia de la duna.....	14
Tabla N°3 Amenazas y grados de degradación de las dunas costeras chilenas.....	16
Tabla N°4 Impacto de actividades humanas en la duna.....	27
Tabla N°5 Índice Geomorfológico-sedimentario del Sistema de dunas (IGD).....	37
Tabla N°6 Índice de Incidencia Marina (IIM).....	38
Tabla N°7 Índice de Incidencia Eólica (IIE).....	39
Tabla N°8 Índice de características de la cubierta vegetal (ICV).....	41
Tabla N°9 Índice de Presión de Uso (IPU).....	43

### ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N°1. Fichas de descripción de muestras de arena .....	54
---	----

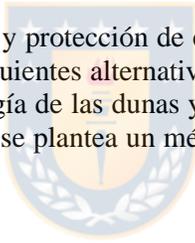


## **RESUMEN:**

El sistema de dunas activas de la localidad Quidico-lile, perteneciente a la provincia de Arauco, posee una mineralogía con alto contenido en sílice y en menor medida feldspatos y líticos volcánicos, con una muy buena selección de tamaño de grano de entre 0.4 y 0.8mm. El origen de los sedimentos se atribuye principalmente a la erosión continental, esto se evidencia por su elevado contenido de sílice. En donde se puede atribuir el cuarzo, a la erosión del basamento ígneo de la cordillera de la costa. Por otra parte, también aporta este mineral la erosión de la Formación Ranquil, que contiene bancos de areniscas cuarzo-feldespáticas, debido a malas prácticas agrícolas y la intensa reforestación durante aproximadamente los últimos 200 años, que removieron el bosque y suelo nativo preexistente. Todo el material fue arrastrado por los ríos hasta el mar, en donde la materia orgánica se degradada, y los minerales son trabajado por el oleaje, transportado por el viento y finalmente depositados.

Este trabajo surge ante la detección de factores de vulnerabilidad, que afectan la preservación del campo de dunas de Quidico-lile. Ya que por mucho tiempo las dunas fueron consideradas como una amenaza para el continente, pues no se le daba utilidad a este tipo de suelo. Sin embargo, en la actualidad ha aumentado el interés de parte de la sociedad por conservar estos sitios, debido a que corresponden a ecosistemas únicos en flora y fauna; con elevada importancia para la cultura lafkenche, ya que bajo estos depósitos hay sitios de interés arqueológico. Además, actúan como barrera natural contra las tormentas.

Con el propósito de fomentar el interés y protección de estos espacios naturales, y avanzar hacia la geoconservación, se presentan las siguientes alternativas: un modelo de taller de geología para niños, reconstrucción de la geomorfología de las dunas y estabilización de la arena a través de la revegetación con flora nativa. Además, se plantea un método de valorización de residuos sólidos domiciliarios acumulados en la duna.



## 1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio ha surgido ante la detección de un progresivo deterioro en la costa de la región del Biobío, existiendo muy poco conocimiento en la comunidad sobre el origen y comportamiento geológico de las dunas. Por otra parte, el exponencial aumento del turismo, extracción ilegal de arena, tránsito de vehículos 4x4, entre otras amenazas que avanzan sin control, dejando significativos daños, tales como: acumulación de basurales, destrucción de la geomorfología de las dunas, destrucción de registro fosilífero y arqueológico, etc.

Por lo anterior ha sido de vital importancia analizar el estado actual del campo de dunas en estudio, así como también desarrollar un trabajo colaborativo con las comunidades locales, para lograr identificar usos y riesgos del área de estudio, con lo cual se logra entender los factores más críticos de vulnerabilidad y finalmente, elaborar un plan de geoconservación para el campo de dunas de Quidico-lile.

### 1.1 Objetivos

#### 1.1.1 Objetivo general

- Elaborar un propuesta de geoconservación para el campo de dunas de Quidico-lile.

#### 1.1.2 Objetivos específicos

- 1- Caracterizar geológicamente el estado actual de las dunas de Quidico-lile.
- 2- Identificar usos y riesgos.
- 3- Identificar similitudes y/o diferencias con otras dunas de la región del Biobío.
- 4- Reconocer y cuantificar factores de vulnerabilidad.

### 1.2. Ubicación y accesos

Para una mejor comprensión de la ruta se ha escogido punto de partida la zona urbana de la ciudad de Arauco. En este lugar se sigue la ruta P- 22 en dirección oeste una distancia de 7 km aproximadamente, hasta el “cruce las Peñas”, lugar en donde se debe virar hacia el sur oeste y tomar la ruta P-44 por una distancia de 20 km hasta encontrar el “cruce Locobe – Las golondrinas”, en este sitio se debe doblar a la derecha, tomar el camino de ripio y avanzar 3.5 km, hasta encontrar una señalética que indica “Caleta Yani” hacia la derecha. Luego de avanzar 3.6 km por esta ruta, llegamos a las dunas de Quidico-lile

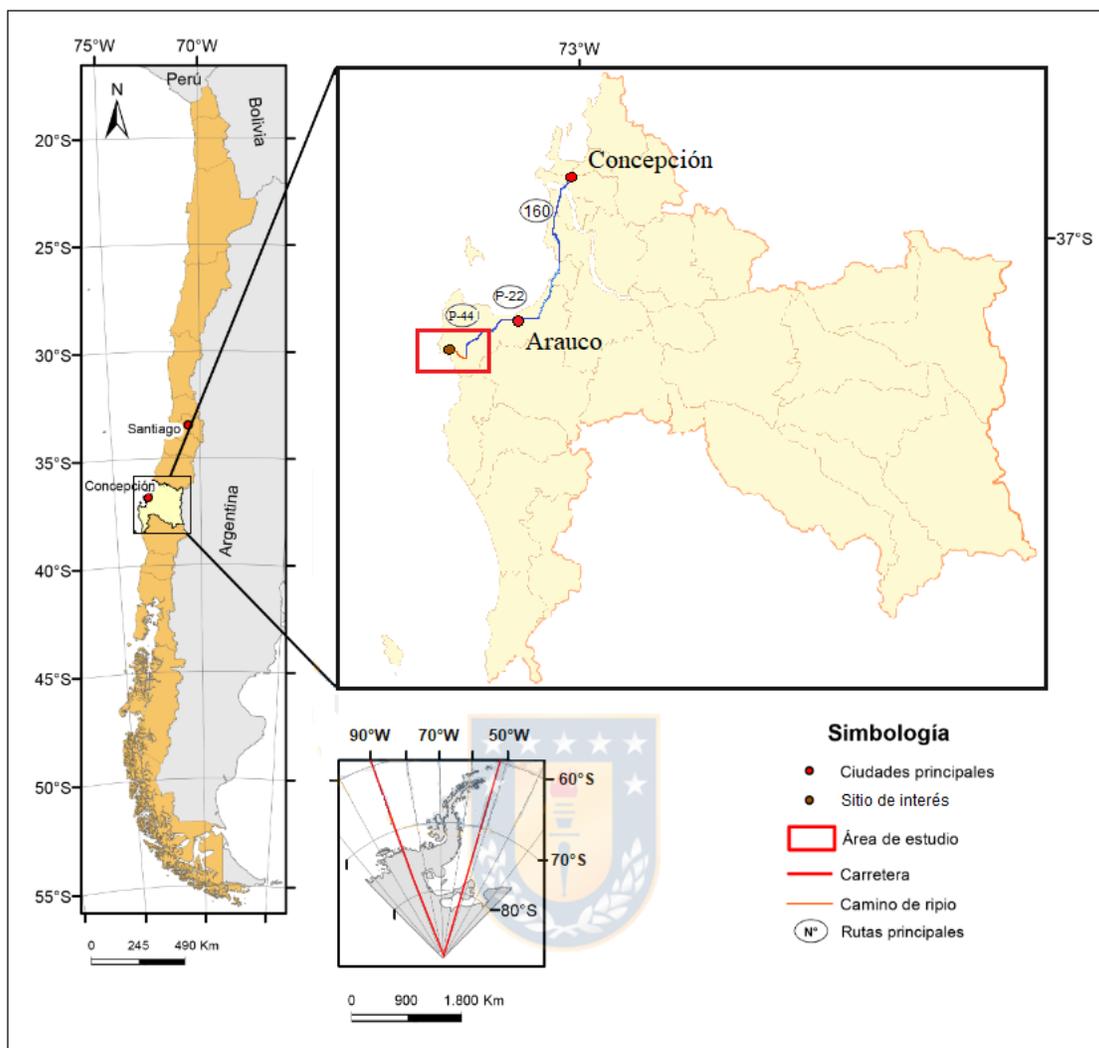


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. Elaboración propia

### 1.3 Clima

Es característico el clima templado lluvioso con influencia mediterránea, con presencia constante y abundante de las precipitaciones y temperaturas más bajas comparadas con zonas más al norte.

En esta zona, el régimen pluviométrico es invernal con un promedio anual de  $1.202 \pm 300$  mm y los vientos dominantes son de W a N entre mayo y agosto, y de S a SW en los meses restantes (Tavares, C. 1992). Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 6 °C a 22 °C y rara vez baja a menos de 2 °C o sube a más de 25 °C; los inviernos son largos, fríos, con abundante lluvia y parcialmente nublado.

## 1.4 Flora y fauna

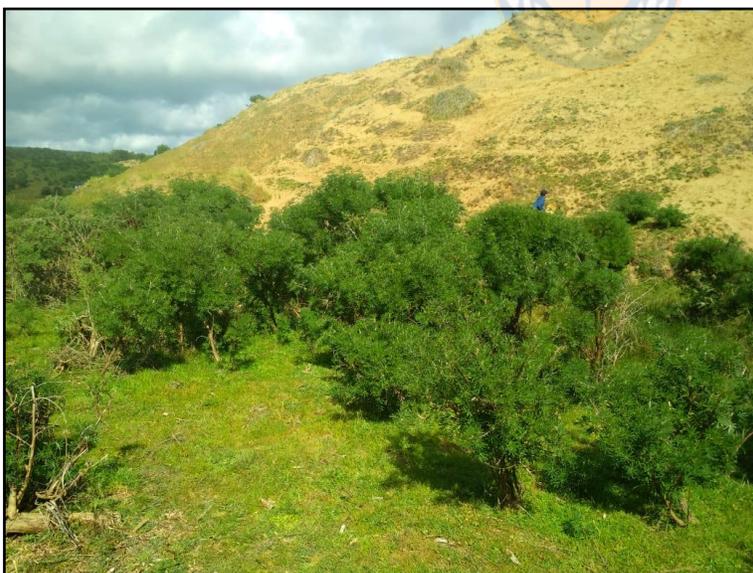
Las especies vegetales presentes en el área de estudio tienen la habilidad de retener muy bien las arenas, iniciando la construcción de las formas a través de sistema radiculares densos que las hacen crecer en altura desde configuraciones embrionarias y aisladas, hasta formas complejas que adoptan alineamientos en función de los vientos predominantes (Manríquez-Tirado, H. 2020). La flora predominante corresponde a especies introducidas en los años 60 por los planes de estabilización de dunas. Abundan especies de, *Elymus farctus* (Fotografía 1), *Ammophila arenaria*. (Fotografía 2) y *Lupinus arboreus* (Ver Fotografía 3 y 4).



Fotografía 1. *Elymus farctus*



Fotografía 2. *Ammophila arenaria*



Fotografía 3. *Lupinus arboreus* en sector NE del área de estudio.



Fotografía 4. Flor de *Lupinus arboreus*.

Es posible encontrar zonas acotadas con bosque nativo, donde destacan especies como la arrayán, el boldo, el canelo, entre otros. Sin embargo, principalmente abundan plantaciones forestales, que han sido establecidos con especies de rápido crecimiento,

principalmente *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*. Sin embargo, en el sector noreste del área de estudio es posible encontrar humedales (Fotografía 5), los cuales mantienen condiciones adecuadas para la vida vegetal y animal, por lo tanto, son sitios de elevada importancia ecológica.



**Fotografía 5. Humedal en Quidico-lile.** Colindante al sector noreste del campo de dunas.

En la fauna destacan especies animales autóctonas como el puma y el pudú. También es común encontrar liebres recorriendo el campo de dunas, las cuales abundan en el sector.

## **1.5 Metodología de trabajo**

### **1.5.1 Etapa de gabinete I**

Se realizó una recopilación bibliográfica y estudio de imágenes satelitales entre mayo – septiembre de 2019. La información bibliográfica estudiada se obtiene de documentos científicos (paper), memorias y publicaciones de la Universidad de Concepción, congresos geológicos, planes de manejo de dunas en España, etc. Se estudia satelitalmente el área de estudio con los programas Google Earth y ArcGIS10.3 con el objetivo de identificar puntos de interés para visitar en la etapa de terreno.

## 1.5.2 Etapa de gabinete II

La etapa de gabinete II se realiza entre octubre –noviembre de 2019 y tiene como objetivo principal realizar protocolos de muestreo y determinar qué tipo de análisis son necesarios para las muestras de sedimentos. Se determinó trabajar con el “Protocolo de toma de muestras de suelo” del SAG, sin embargo, este método fue modificado para responder a las necesidades específicas de este trabajo.

### -Método de toma de muestra

Se determinó trabajar con el “método combinado”, el cual combina el método sistemático (muestras con distancias uniformes entre sí) con el método asistemático (muestreo al azar). Con el fin de abarcar estratégicamente toda el área de estudio y obtener la mayor precisión en la toma de muestra.

### -Envasado e identificación de la muestra

Cada muestra es envasada con doble bolsa de plástico resistente al transporte y se identifica con una etiqueta, la cuál va entre ambas bolsas.

Se rotulan las muestras con la siguiente información: Número o código de muestra, fecha de recolección, responsable de la toma de muestra, ubicación GPS.

En paralelo a la toma de muestras se mantiene un registro detallado de toda la información recolectada.



## 1.5.3 Etapa de terreno

### 1.5.3.1. Etapa de reconocimiento

El reconocimiento se realizó entre los días 30 y 5 de diciembre de 2019. El objetivo es corroborar la ruta trazada con las imágenes satelitales en la etapa de gabinete I, revisar la propiedad superficial del área y los caminos y accesos al campo de dunas.

También se llevó a cabo una ceremonia en la que participaron algunas familias de la comunidad colindante al campo de dunas. Instancia en que se realizó una charla de difusión científica, y a su vez los locatarios expresaron su visión y convivencia con el campo de dunas.

### 1.5.3.2. Etapa de muestreo

Durante la salida a terreno se tomó un total de 45 muestras para análisis en laboratorio, las cuales se secaron en un horno a 60°C durante 12 h y se cuartearon para homogeneizarlas. En paralelo se realizó una descripción de la geomorfología y litología adyacente. También se recolectaron antecedentes acerca de los factores de vulnerabilidad, tomando en cuenta los siguientes parámetros: Índice Geomorfológico-sedimentario del campo de dunas, Índice de Incidencia Marina, Índice de Incidencia Eólica, Índice de características de la cubierta vegetal, Índice de Presión de Uso.

### **1.5.3.3 Etapa de correlación con dunas de la región**

Con el fin de contrastar la mineralogía y geomorfología del área de estudio, entre los días 4 y 9 enero se navegó rumbo a la isla Santa María, y se visitó desde “Punta delgada” en el sur, hasta el noroeste de la isla, en donde se describió una duna de gran altura. Entre los días 22 y 25 de enero, se visitó el campo de dunas de Pangué, ubicado a aproximadamente 27,5 km al sur de la ciudad de Los Álamos, en donde realizamos difusión científica hacia la comunidad, recolección de muestras de arena, análisis geomorfológico, etc.

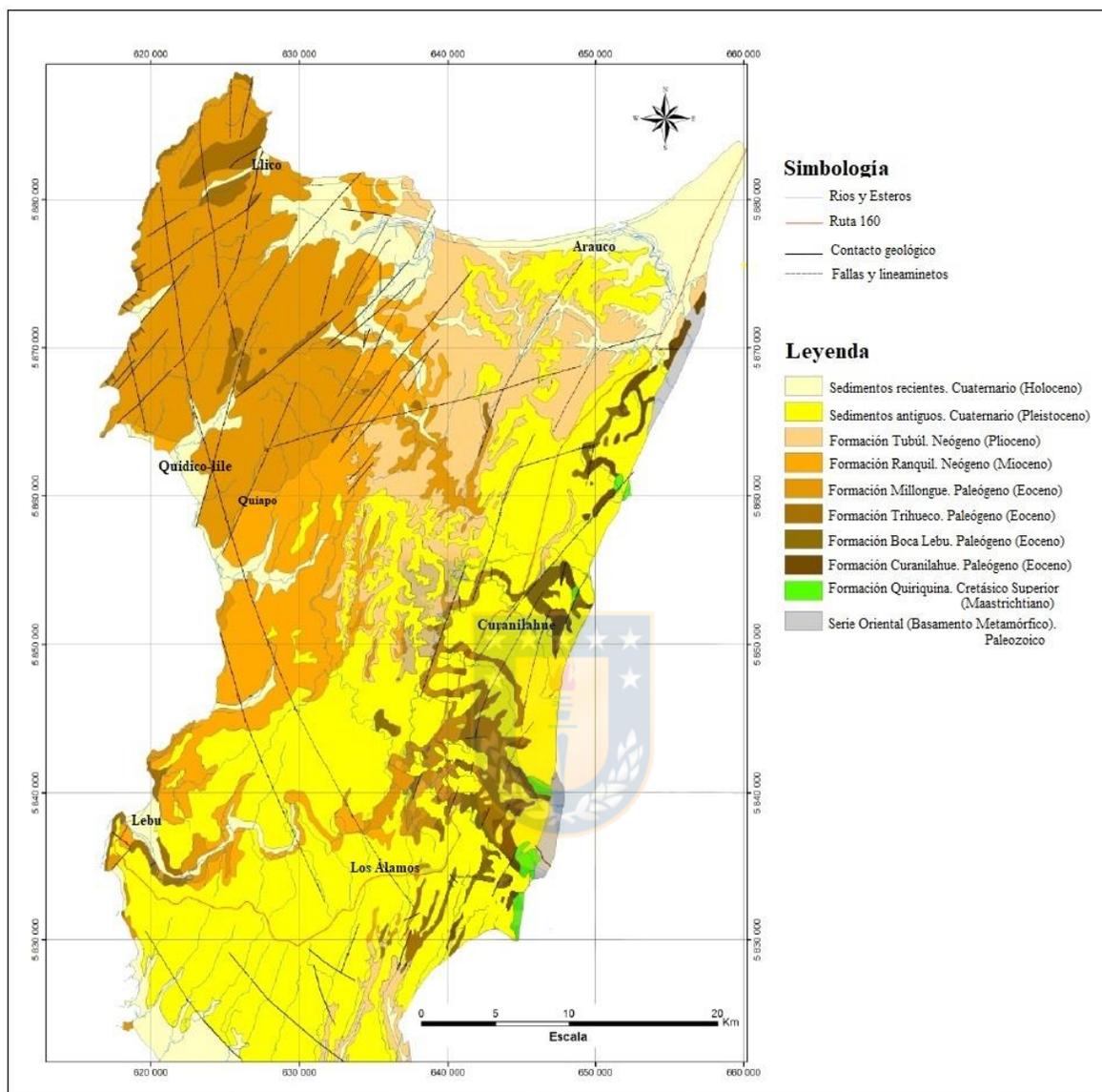
### **1.5.4 Etapa de gabinete post-terreno**

En la etapa de gabinete post-terreno se llevaron las muestras de arena al laboratorio, se les hizo un estudio mineralógico con lupa de gran aumento, estudios de tamizaje y proveniencia. Se compararon los resultados de cada sector.

Se plantearon alternativas para la geoconservación del campo de dunas de Quidico-lile, acordes a los resultados de vulnerabilidad y contextualizando con el avance en la protección de dunas que tienen otras regiones del país y del mundo.



## 2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL



**Figura 2. Mapa geológico de la península de Arauco.** Modificado de Bonilla y otros (2009), quienes se basaron en el trabajo de Pineda (1983).

### 2.1. Sedimentos Recientes

Los sedimentos recientes corresponden a aquellos depósitos no consolidados de areniscas acumuladas en formas de dunas en el borde costero del Golfo de Arauco. También pertenece a esta clasificación los sedimentos fluviales transportados por los ríos Raqui y Tubúl.

## 2.2. Formación Cañete o Sedimentos antiguos

La Formación Cañete, corresponde a una secuencia de sedimentos costeros asociada a una terraza marina que fue definida por Kaizuka et al. (1973) en la Península de Arauco (37°-38°S). Sin embargo, también identificamos afloramientos de esta unidad en varias partes de la costa entre esta zona y Puerto Saavedra (39°S), que Pino et al. (2002) se correlacionó con depósitos equivalentes en el área de Valdivia (40°S), y también cerca de Caleta Huellélhue, al suroeste de Valdivia (41°S.). La Formación Cañete tiene hasta ~ 100 m de espesor y presenta una discordancia angular con los estratos marinos del Eoceno y Mioceno de la Formación Grupo Lebu y Ranquil, y una disconformidad con el Plioceno

Los sedimentos de la Formación Cañete constan de dos unidades: (1) una unidad marina inferior dominada por arenisca negra de origen volcánico con estratificación cruzada gruesa, estratificación intermitente, tobas flotantes y, ocasionalmente, capas intercaladas de limolita que contienen carbón vegetal, raíces y hojas fósiles, además se ha identificado un horizonte bioturbado con perforaciones indeterminadas, característico de las icnofacies de Glossifungites, en el contacto de estas unidades con la Formación Ranquil cerca de Quiapo (Encinas et al., 2021) y (2) una unidad superior de origen fluvial, depositada por ríos trezados, formada por grava conglomerática bien redondeada y lentes de arenisca, que en el sector sur contienen localmente fósiles marinos (Melnick, D. 2009). Localmente, la unidad superior está cubierta por arenisca mediana homogénea y bien clasificada con madrigueras de insectos y laminación fina, y horizontes de paleosuelos. Esta unidad está claramente asociada con cordilleras alargadas y estrechas, que son topográficamente más altas que la superficie de Cañete. Interpretamos que la unidad inferior de la Formación Cañete ha sido depositada en un ambiente costero en las inmediaciones del nivel del mar; la unidad superior está relacionada con un sistema fluvial trezado en transición de ambientes continentales a deltaicos (Melnick, D. 2009).

## 2.3. Formación Tubul

La Formación Tubúl es una unidad marina que aflora en la zona Península de Arauco-Tirúa (37°-38°S. Figs. 2 y 6). Esta unidad presenta una discordancia angular con los estratos marinos del Eoceno y Oligoceno Superior-Mioceno Inferior. La Formación Tubúl tiene aproximadamente 100 m de espesor y consiste en limolitas arenosas fosilíferas (García, 1968). Los análisis sedimentológicos y paleontológicos de esta unidad indican deposición en un ambiente marino poco profundo. Rojas (2000) asignó una edad del Plioceno temprano a esta formación basándose en el hallazgo del foraminífero *Sphaeroidinella deshicens*.

## 2.4. Formación Ranquil

La Formación Ranquil de edad mioceno inferior (Finger y otros, 2013), corresponde a una secuencia transgresiva constituida por bancos de conglomerados finos, arenosos de color gris claro que se alternan con bancos de areniscas cuarzo-feldespáticas y fangolitas, en la parte superior de la formación dominan las areniscas finas y limolitas con niveles fosilíferos.

Sobreyace concordante a las formaciones del Eoceno e infrayace en discordancia angular a la Formación Tubúl. Posee fósiles de moluscos como *Dentalium lebuensis*, *Venus volckmanni*, *Tellina lebuensis*, *Anatina araucana* y de equinoideos tal como *Micraster Valdivianum* (Pineda, 1983).

## 2.5. Formación Millongue

El campo de dunas de Quidico-lile se encuentra depositado sobre la formación Millongue, definida como Piso Millongue por Tavera (1942) en su localidad tipo en la costa, al norte de Lebu. Es posible encontrar afloramientos al norte del área de estudio (Fotografía 6), compuestos por areniscas masivas con presencia de trazas fósiles de Ophiomorpha.

Además, en su localidad tipo (norte de Lebu) afloran 270 m de bancos de limonitas de 0,2 a 2 m de espesor, alternados con bancos de limolitas arcillosas gris de 0,2 a 2 m de espesor y arcillas con niveles calcáreos, sin un techo conocido. Son frecuentes en los sedimentos los restos vegetales carbonosos, troncos de árboles carbonizados y frecuentes niveles faunísticos en sus estratos bien definidos.

La edad asociada a esta formación corresponde al Eoceno medio según Pineda (1983). Por su parte, Martínez (1968), en base a estudios de edad y paleoecología en foraminíferos, propone una edad de Eoceno medio y base del Eoceno superior para el "Piso Millongue", que corresponde a las secciones medias y superior de esta formación. Además, sugiere que la depositación ocurrió en aguas templadas (10-15°C) y un ambiente basinal que pasa de aguas someras en la base a epibatiales en el techo.

Se encuentra sobreyaciendo concordante a la Formación Trihueco de forma transicional e infrayace, en discordancia angular, a la Formación Ranquil (Tavera, 1942 en Pineda, 1983). Según Pineda (1983) la Formación Millongue representa una secuencia transgresiva constituida por un conglomerado basal, areniscas de grano grueso a fino, limolitas, lutitas o arcillolitas



**Fotografía 6. Formación Millongue.** Afloramiento de la Formación Millongue y al fondo se encuentran los Morros de Yani.

## 2.6. Formación Boca-Lebu

La Formación Boca-Lebu fue definida como formación por Muñoz-Cristi en 1956, corresponde a una secuencia transgresiva que posee limolitas y areniscas muy finas, arcillosas y fosilíferas, que contienen concreciones calcáreas con pinzas y caparzones de crustáceos. Es de edad eocena inferior (Tavera, 1942), sobreyace en paraconformidad a la Formación Quiriquina y concordantemente a la Formación Curanilahue e infrayace en forma concordante a Trihueco. Se caracteriza por la presencia de fósiles de *Nassa araucana*, *Tellina carbonaria*, *Turritella landbecki* y *Mytilus striatus* (Pineda, 1983).

## 2.7. Formación Trihueco

La Formación Trihueco fue definida por Muñoz-Cristi (1956), es una secuencia de rocas continentales con intercalaciones marinas, compuesta por areniscas de grano fino a conglomerádicas con intercalaciones de lutita carbonosa y mantos de carbón (García, 1968; Pineda 1983). Es del Eoceno medio y posee fósiles de *Turritella landbecki*, *Pseudoliva retusa*, *Eucrassatella 13 ponderosa*, *Mytilus striatus*, *Leda oxyrrhyncha*, *Leda darwini* y *Mastra sp.* (Tavera, 1942; Pineda, 1983).

## 2.8. Formación Curanilahue

La Formación Curanilahue fue definida por Muñoz-Cristi (1956), se subdivide en el Miembro

Lota, de carácter continental, constituido por areniscas gruesas basales a areniscas finas con intercalaciones de arcillas asociadas a mantos de carbón; el Miembro Intercalación, marino, con areniscas glauconíticas de grano fino, con poca cantidad de fósiles; y el Miembro Colico, compuesto por rocas continentales que consisten en areniscas de grano grueso a fino con intercalaciones de arcillas asociados a mantos carboníferos. La Formación Curanilahue está inconforme sobre el Basamento Metamórfico y en paraconformidad sobre las capas cretácicas, concordante sobre la Formación Pilpilco, subyace y engrana lateralmente a la Formación Boca-Lebu y Trihueco. Es asignada al Eoceno inferior y tiene fósiles de *Turritella angusta* y *Tellina subfalcata* (Tavera, 1942; Pineda, 1983).

## 2.9. Formación Quiriquina

La Formación Quiriquina fue definida por Biró en 1982 corresponde una secuencia sedimentaria de conglomerados basales y areniscas verdes con abundantes concreciones depositada en el Campaniano-Maastrichtiano, que se caracteriza por presentar abundantes fósiles de *Cardium acuticostatum*, *Trigonia hanetiana* y *Baculites sp.* Subyace en inconformidad a las rocas ígneas y metamórficas paleozoicas e infrayace localmente y en concordancia a las capas terciarias (Gajardo, 1981; Pineda, 1983). Luego Salazar y otros (2010), lo asignan solo al Maastrichtiano.

## 2.10. Basamento Metamórfico

El Basamento Metamórfico es parte del Basamento Cristalino del Paleozoico de Chile Central que está constituido por rocas metamórficas e intrusivas que afloran a lo largo de la Cordillera de la Costa entre los 32° y 42° S (Hervé y otros, 2007). Las rocas metamórficas se dividen en dos 11 franjas paralelas llamadas Serie Oriental (baja presión y alta temperatura) y Serie Occidental (alta presión y baja temperatura), que pueden ser diferenciadas tanto por su petrografía, mineralogía, condiciones de metamorfismo, protolitos y estructuras, éstas representan un antiguo complejo acrecionario de subducción. En la Península de Arauco, la Serie Oriental forma parte de la Cordillera de Nahuelbuta y está compuesta por metapsmitas, metapelitas, rocas córneas y gneises (Pineda, 1983). La Serie Occidental no aflora en la Península de Arauco, pero existen estudios de subsuelo (sondajes) que demuestran su presencia en la península (Pineda 1983), está constituida por metagrauvascas, micaesquistos, metabasitas, esquistos azules, serpentinitas y chert (Vásquez, 2001).

### 3. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

En Chile, se describen a grandes rasgos y de este a oeste las siguientes unidades morfoestructurales: Cordillera de los Andes, Precordillera, Depresión intermedia, Cordillera de la Costa y Planicies Litorales o Marinas. El área de estudio se ubica en esta última.

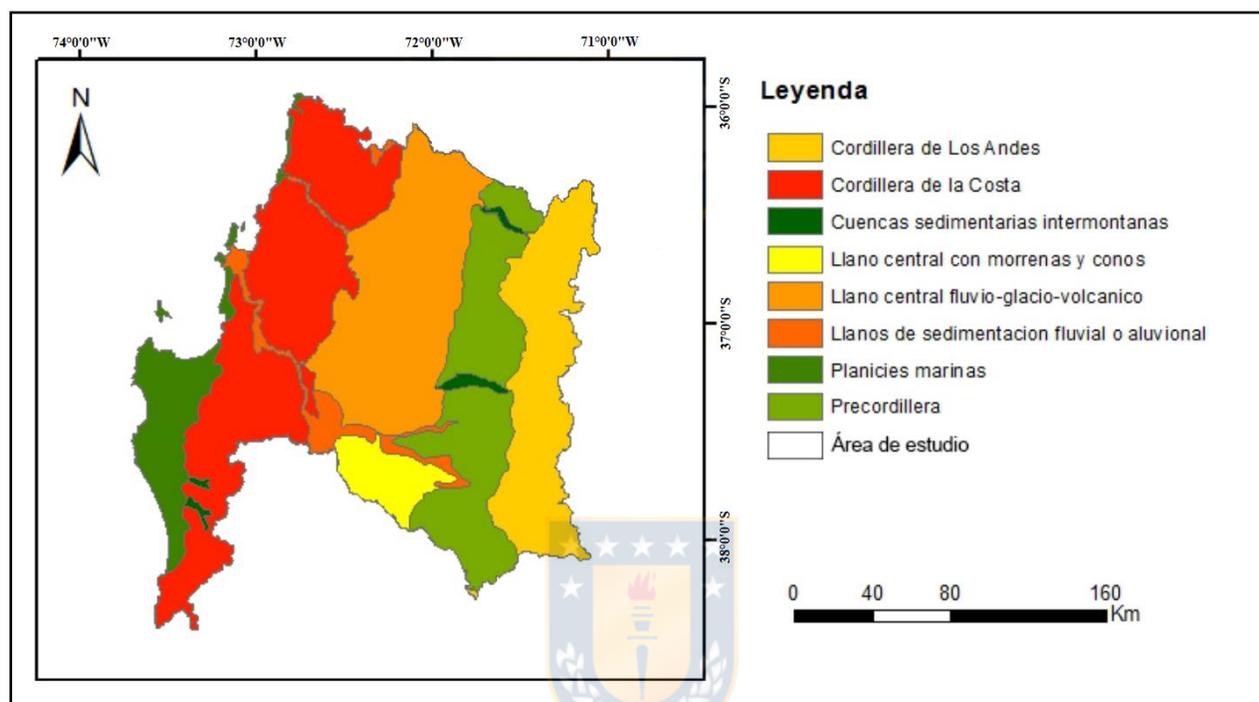


Figura 3. Mapa geomorfológico de la Región del Biobío. Modificado de Börgel (1983).

Entre el río Bío-Bío y el río Tirúa se extiende por casi 170 km una planicie litoral de sedimentación marina con un ancho medio de 25 km, denominada de Arauco-Cañete, limitada al oriente por la Cordillera de Nahuelbuta (Börgel 1983). Esta planicie "comienza en la desembocadura al mar del río Bío-Bío, alternada por los cambiantes lechos fluviales que ha experimentado este río durante el cuaternario reciente" y termina al sur de Tirúa, donde la "cordillera costera termina por ahogar la planicie marina, la que desaparece momentáneamente" (Börgel 1983).

La geomorfología local de la península de Arauco en particular donde se sitúa el área de estudio corresponde a un relieve emergido que constituye una prolongación al oeste de la línea litoral, compuesto por plataforma de abrasión marina emergida y colinas situadas más al oeste.

## 4. DEPOSITOS EÓLICOS

### 4.1 Dunas en Chile

Las dunas costeras se encuentran a lo largo de todo el litoral chileno, aunque muestran una fuerte concentración en la región del Biobío, la región del Maule y región de Atacama.

En el año 1966, IREN realizó un estudio llamado “Inventario de dunas de Chile” mediante fotogrametría entre la región de Coquimbo y Chiloé. En este trabajo se concluye que la región del Biobío concentra el 70 % de la superficie de dunas del país, la casi totalidad de las dunas continentales y el 48 % de la de dunas costeras (Ver Tabla 1). En lo referente a dunas costeras la sigue la Región del Maule con el 24%. Las dunas continentales en Chile en términos generales no producen problemas debido a que se encuentran en gran parte estabilizadas debido a su colonización por vegetación natural espontánea, el establecimiento de extensas plantaciones forestales y la práctica de agricultura.

**Tabla 1: Superficie de depósitos del tipo duna en Chile.** Elaboración propia en base a trabajos como “Superficie de dunas en Chile” (IREN,1996) y “Geomorfología y geopatrimonio del Mar de Dunas de Atacama” (Castro, C. 2012).

Región /Provincia	Superficie de depósitos de dunas en Chile (ha)		
	Litorales	Interiores	Total
Mar de dunas de Atacama			33.500
IV Coquimbo	4.249		4.249
V Valparaíso	2.478		2.478
- Aconcagua	893		893
XIII Metropolitana	4.366	119	4.485
VI O'Higgins			
- Colchagua	1.945		1.945
VII Maule			
- Curicó	809		809
- Talca	1.587		1.587
- Linares		38	38
- Maule	15.464		15.464
XVI Ñuble	638	8.256	7.894
VIII Biobío			
- Concepción	4.141	25.451	29.592
- Arauco	30.709	1.004	31.713
- Biobío		22.586	22.586
IX La Araucanía			
- Malleco		124	124
- Cautín	4.136		4.136
XIV Los Ríos y X Los Lagos			
- Valdivia	675		675
- Osorno	106		106
- Llanquihue	2.234		2.234

Antecedentes históricos indican que en los siglos XVII y XVIII las dunas activas estaban

menos extendidas y el avance de las dunas costeras actuales es aún intenso en muchos casos. Gutiérrez (2011) estima que a comienzos del siglo XX el área cubierta por dunas costeras era aproximadamente la mitad de la actual, además, relatos de ancianos locales lo confirman. Por lo que el factor antrópico podría ser el principal precursor de los campos de dunas en la región del Biobío.

## 4.2 Importancia de las dunas

La sociedad y las nuevas generaciones han tomado conciencia de que la degradación de los ecosistemas naturales supone la pérdida, no sólo de un paisaje y los organismos que lo habitan (medio físico-natural), sino también de los bienes y servicios que todos los elementos de ese ecosistema, sus relaciones y su funcionamiento suponen para el bienestar humano (Ver tabla 2).

**Tabla 2. Importancia de la duna.** Beneficios de la duna para el medio físico natural y la economía local. Con propuestas de regulación jurídico administrativo en dunas costeras. Fuente: Modificado de Barragan 2013.

Medio físico natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Almacén de arenas para la regeneración natural de playas.</li> <li>-Rol de la duna como protección natural ante marejadas.</li> <li>-Hábitat particular para flora y fauna.</li> <li>-Reservorio de agua (napas subterráneas).</li> </ul>
economía local	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Dunas poseen valor paisajístico-escénico.</li> <li>-Interés para turismo y ocio.</li> <li>-Fuente de áridos para la construcción.</li> <li>-Fuente de información científica y educativo-cultural.</li> <li>-Territorial (espacios libres)</li> </ul>
Regulación	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Usos de suelo.</li> <li>-Normativas de importancia territorial.</li> <li>-Dominio público.</li> <li>-Categorías de espacios protegidos.</li> </ul>

Entre los beneficios que las dunas costeras prestan a la sociedad destaca, en primer lugar, la defensa frente a episodios catastróficos de invasión del agua de mar sobre intereses humanos, debido a huracanes, tormentas y maremotos, siendo de gran importancia también su capacidad de almacenar y depurar aguas contaminadas y el servir de almacén de arenas para la regeneración natural de playas y bajos arenosos productivos. Entre los servicios de tipo cultural destaca su valor arqueológico, estético, espiritual y, sobre todo, el valor recreativo relacionado con el descanso de millones de personas anualmente. Las dunas costeras suponen un capital natural muy valioso que debe ser conservado. La desaparición y alteración progresiva de las dunas costeras implica una pérdida de estos bienes y servicios, que sólo pueden ser recuperados, al menos en parte, mediante costosos programas de restauración.

Por mucho tiempo, los depósitos eólicos costeros han sido normalmente considerados como agentes invasores, que deben ser controlados. Sin embargo, actualmente se considera que a menudo son ecosistemas importantes de proteger. En consecuencia, sólo deben ser intervenidos cuando constituyen un problema al amenazar pueblos, comprometer obras de infraestructura o invadir suelos productivos. Algunas áreas de dunas en Chile han sido

consideradas importantes ecosistemas a proteger y han sido incorporadas al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado, como es el caso de las presentes en las Reservas Nacionales El Yalí (Región de Valparaíso), Laguna Torca y Federico Albert (Región del Maule) y en el Parque Nacional Chiloé (Región de Los Lagos).

Sin embargo, a pesar de la protección de muchos sitios, siguen siendo numerosos los sectores de dunas que se encuentran en un serio problema. Como ejemplo, las dunas de El Teniente y Los Vilos, en la Región de Coquimbo, que están permanentemente cubriendo la Carretera Panamericana, generando riesgos y costos; los extensos campos de dunas Chanco, Pahuil y otros de la Región del Maule, que suman más de 15.000 ha, y el gran complejo de dunas de Arauco con cerca de 30.000 ha, que han invadido suelos productivos para la agricultura, la ganadería o la actividad forestal.

Además, en Chile existen muchos sistemas dunarios asociados a balnearios costeros que presentan atractivos recreacionales, sin generar problemas mayores que ameriten intervenirlos. Sin embargo, el avance acelerado de la industria turística podría cambiar la situación en un futuro no muy lejano (Ver Tabla 3).



**Tabla 3. Amenazas y grados de degradación de las dunas costeras chilenas.** Fuente dunas Chiloé A. Montaña

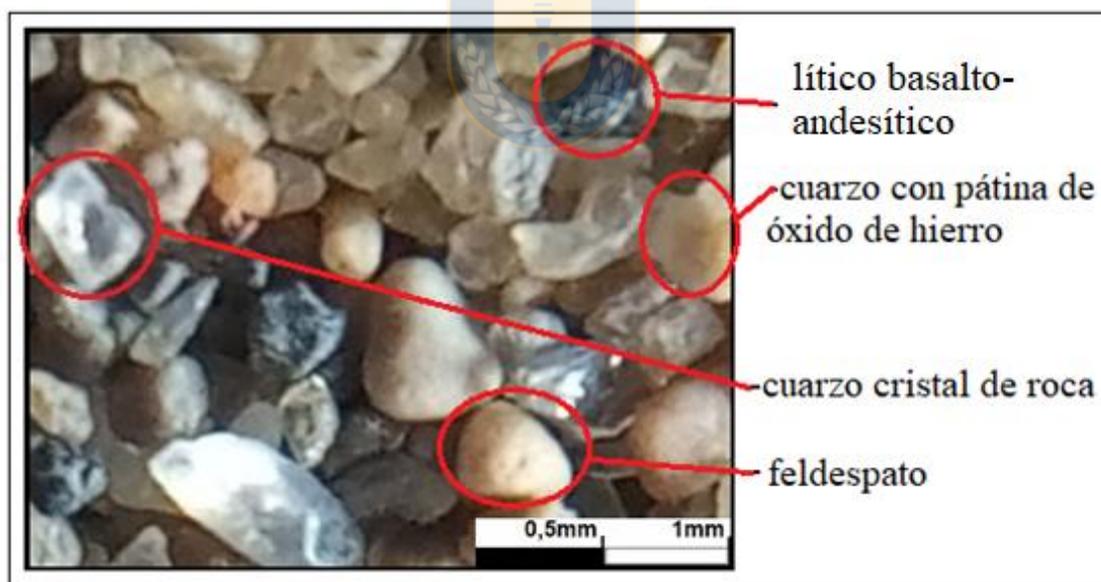
Categorías	Indicador	Fuera de peligro	Bajo	Medio	Alto	Muy alto	En Peligro
Extracción de arena	Transformaciones geomorfológicas, canteras. Desequilibrio sedimentario playa/anteduna.	Los Choros. Agua. amarilla-Conchalí, Chiloé. Guabún. Chepu. Ahuenco.	Chiloé: Mar Brava	Pichidangui, Los vilos, Longotoma, Ritoque. Junquillar. Putú-Quivolgo.	Copiapó: Mar de dunas. Chiloé: Cucao-Chanquín.	Ritoque. Chépica: La Castilla	Mar de dunas de Copiapó-Longotoma (proyecto). Huentelauquén-Choapa. Putú - Quivolgo. Junquillar. Dunas Chiloé
Urbanización, industrias, campos eólicos	Tipo y densidad (loteos, edificios, casas, complejos turísticos). Sellado de superficie (impermeabilización). Pérdida de visibilidad en el borde costero.	Chiloé: Guabún. Chepu. Ahuenco. Cucao-Chanquín.	Los Choros. Cachagua	Cerro Dragón. Ritoque. Tongoy. Agua amarilla (Conchalí)	Chépica. Los Vilos.	Punta Concón. Loncura. Algarrobo. San domingo. Llolleo	Bahía Cisne. Huentelauquén-Choápa. Tongoy. Pichidangui. Longotoma. Ritoque (laguna Mantagua). Punta Concón. Dunas Chiloé: Huapilacuy. Mar Brava.
Circulación de vehículos	Deflación y escurrimiento lineal. Reactivación de dunas estabilizadas.	Chiloé: Huapilacuy. Mar Brava. Ahuenco	Chiloé: Chepu. Guabún. Huapilacuy.	Los Choros. Pichidangui. Chiloé: Chánquín, Cucao.	Copiapó: Mar Dunas. Ramada. Santo Domingo-El Yali. Punta Concón.		Copiapó: Mar Dunas. Ramada
Control vegetal/Forestación	Vegetación actual/vegetación original. Invasión de especies exóticas.		Santo Domingo	Agua Amarilla-Conchalí. Pichidangui (duna antigua). Chiloé.	Chépica (duna libre). Chanco. Junquillar. Putú-Quivolgo.	Ritoque. Dunas de Arauco	Reemplazo de vegetación nativa de dunas por estabilización con especies introducidas.
Reactivación de dunas antiguas estabilizadas	Avance de arenas, erosión pluvial lamilar y/o lineal de dunas antiguas.	Los Choros		Pichidangui	Los Vilos. Agua Amarilla-Conchalí.		Desertificación por removilización de dunas antiguas estabilizadas
Recreación/Turismo	Aumento de la basura en espacios naturales	Chiloé: Guabún, Chépu, Ahuenco.	Chiloé: Mar Brava, Cucao-Chaquín.	Pichidanqui. Ritoque.	Ramada. Las salinas. La Chépica.	Puerto Viejo.	Ramada

## 5. DUNAS DE QUIDICO-LILE

En el campo de dunas de Quidico-lile ubicado aproximadamente a 2 km al SE de caleta Yani, corresponde a los depósitos recientes del golfo de Arauco, abarca una superficie aproximada de 600 hectáreas de duna activa, emplazándose desde el borde costero en dirección NE. Predominan sedimentos arenosos con tonalidades claras, ricos en sílice. El ambiente eólico está formado por dunas estabilizadas naturalmente con vegetación arbustiva y bosque esclerófilo (42,5%), dunas libres (16,9%), dunas manejadas con *Ammophila arenaria* y *Pinus radiata* (35,1%) y superficies de deflación húmedas con vegetación herbácea (5,5%) (Tavares, C. 1992).

### 5.1 Mineralogía

En cuanto a la mineralogía de los sedimentos del área de estudio presentan una muy buena selección de tamaño de grano de entre a 0.4 y 0.8mm. Destaca un alto contenido en cuarzo cristal de roca (50%) subredondeado y subdiscoideal; cuarzo con pátina de óxidos de hierro (20%) subredondeados y esféricos; feldespatos (5%) redondeados y subprismáticos; líticos basalto-andesíticos (15%) subredondeados y subprismáticos; tobas rojizas (5%) subredondeados y subdiscoideal; y restos de conchas (5%) redondeadas y subprismáticas. (Fotografía 9).



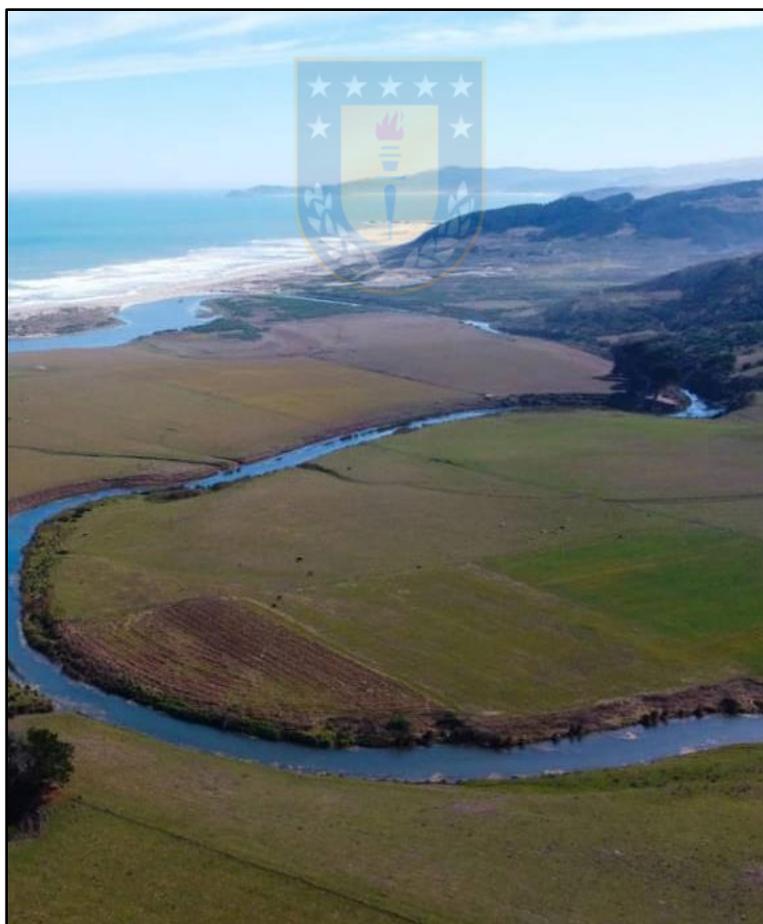
Fotografía 7: Arena de Quidico-lile.

## 5.2 Proveniencia de los sedimentos

El origen de los sedimentos en el área de estudio proviene mayormente de erosión continental, esto se evidencia por su elevado contenido de sílice. En donde se puede atribuir el cuarzo de cristal de roca, a la erosión del basamento ígneo de la cordillera de la costa. Por otra parte, también aporta este mineral la erosión de los bancos de areniscas cuarzo-feldespáticas de la formación Ranquil, producto de malas prácticas agrícolas y la intensa reforestación durante aproximadamente los últimos 200 años.

Respecto a los líticos basalto-andesíticos, que se encuentran en menor abundancia, se atribuye su proveniencia a la Formación Cañete, la cual está compuesta por una unidad de areniscas volcánicas. Esta formación se encuentra muy cerca del área de estudio sobreyaciendo a la Fm Tubúl y Fm Ranquil.

En estas condiciones el río Quiapo (Fotografía 8), del tipo meandriforme, ejerce un importante rol como agente de erosión y transporte del material hacia el oeste. Los sedimentos de este río coinciden con los del área de estudio, siendo abundantes en cuarzo y feldespato.



Fotografía 8: Río Quiapo

Una vez que los sedimentos llegan a la costa, la materia orgánica es degradada por el mar y

los minerales restantes son fuertemente reabajados por el oleaje hasta que alcanzan un tamaño apropiado para ser transportado por el viento. Finalmente, en aquellos lugares en que la topografía del borde costero, la vegetación, dirección e intensidad de los vientos así lo permiten, son depositados y arrastrados al interior por la acción eólica.

### 5.3 Geomorfología

Este depósito eólico se caracteriza por la presencia de dunas transversales (Fotografía 9) en el sector sur, en el centro existen algunas dunas barjanes (Fotografía 10) y hacia el noreste abundan las dunas parabólicas (Fotografía 11). Las cuales se distribuyen por cerca de 4 kilómetros al interior del continente en dirección NE, limitando con un riachuelo que actúa como barrera natural ante el avance de la duna activa (Fotografía 12).



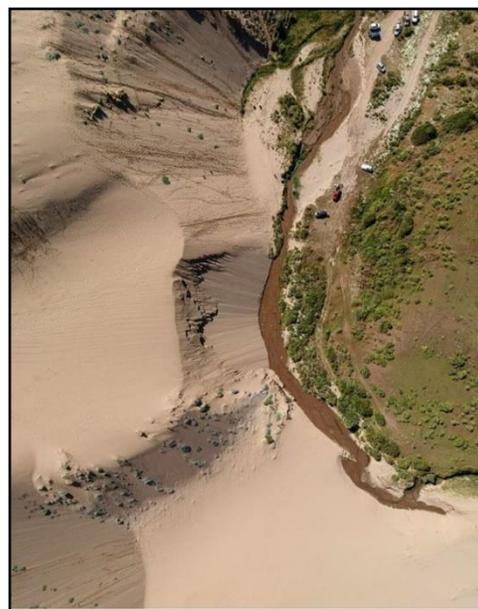
**Fotografía 9. Dunas transversales**



**Fotografía 10. Duna barján**



**Fotografía 11. Dunas parabólicas**



**Fotografía 12. Límite natural de la duna**

En el sector sur del área de estudio es posible observar estratificación cruzada expuesta en superficie (Fotografía 13) que muestra una dirección de formación de dunas en sentido SW a NE muy similar a la actual, por lo que no se evidencian cambios significativos en la dirección del viento. Además, sobre la superficie de las dunas activas es común encontrar estructuras sedimentarias del tipo “ripple marks” (Fotografía 14), las cuales se emplazan perpendiculares a la dirección del viento.



**Fotografía 13: Estratificación cruzada**



**Fotografía 7. Ripple marks.** También llamadas “ondulitas”, son estructuras Sedimentarias formadas por acción de una corriente, en este caso el viento, sobre la arena.

## 5.4 Usos e impactos

### 5.4.1 Extracción de arenas

Extracción tanto autorizada como clandestina, se debe a la utilidad para distintos usos, ya que las arenas ricas en cuarzo se emplean en ornamentación de jardines, o bien como arenas de fundición para la industria del vidrio. El campo de dunas de Quidico-lile contiene arena muy rica en sílice, siendo idónea para los usos antes nombrados. Sin embargo, un factor importante a considerar es el costo de transporte que involucra la extracción de árido, haciendo poco viable utilizar arenas que se encuentren muy apartadas de la ciudad.

Caso contrario ocurre en Constitución, en donde la duna está mucho más cercana a la ciudad, y es muy común la extracción ilegal de árido. Ante esta situación han surgido iniciativas ciudadanas de oposición a la extracción de arena en dunas, como la agrupación de vecinos “Salvemos las dunas de Longotoma” que en el año 2013 se oponen a la explotación industrial del proyecto “Planta de Concentración magnética Dunas de Guallarauco”. Por su parte, los habitantes de Constitución y Curepto, donde las arenas son ricas en minerales ferromagnesianos, también han manifestado descontento por las faenas de prospección y explotación minera en la duna de Putú.

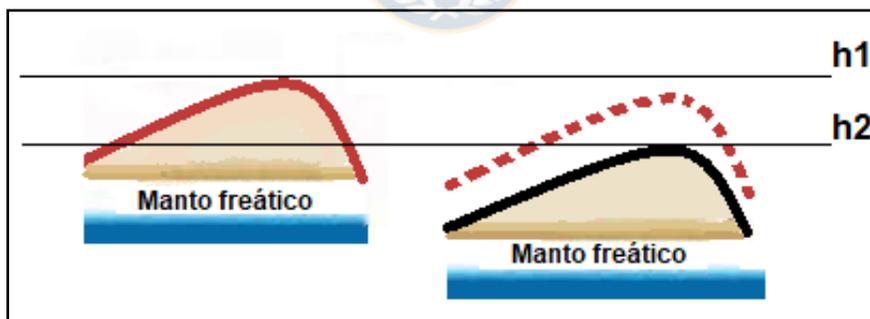
También en San Antonio, región de Valparaíso, se ha organizado una agrupación llamada “Salvemos Gota de leche”, quienes alertan a la ciudadanía del peligro que corren especies autóctonas del sector como *Astragalus trifolius*, más conocida como “la hierba de El Tabo”, al borde de su extinción, debido en gran parte a la extracción ilegal de áridos del campo dunar. (Ver Fotografía 15). Además este lugar posee una gran riqueza biológica, con 233 especies de plantas, 67 especies de aves residentes y migratorias, 4 especies de mamíferos, 5 de reptiles y 3 de anfibios (Thiznau, A. 2020).



**Fotografía 15. Extracción de arena.** Extracción ilegal de áridos en Gota de Leche, San Antonio, Región de Valparaíso.

#### 5.4.2 Extracción de agua subterránea

Existe una relación entre la profundidad del nivel freático y la altura de la duna, la cual indica que, si la extracción de agua subterránea aumenta, el nivel freático (nivel de la capa de agua subterránea) comenzará a descender, afectando directamente a la altura del campo de dunas. Esto se explica porque el nivel freático divide el perfil de la duna en una zona de arena húmeda y compacta hacia abajo y una zona de arena seca y más suelta hacia arriba. La zona inferior resulta mucho más estable ante los factores erosivos naturales, por lo que, si aumenta la profundidad del nivel freático, aumentará la zona seca vulnerable a la erosión, disminuyendo la altura de la duna. (Ver Figura 4).



**Figura 4. Esquema de la influencia del nivel freático en la duna.**

Disminución de la altura (h) de la duna producto de un descenso del manto freático.  
Elaboración propia.

Esta situación puede ser monitoreada en las pequeñas lagunas que se encuentran aflorando sobre la duna, en el sector norte del área de estudio (Fotografía 16). Estos cuerpos de agua varían de acuerdo con las estaciones del año, llegando a secarse la totalidad de su superficie en los meses de enero y febrero, que corresponden al momento más seco y caluroso del año.



**Fotografía 16. Lagunas en la duna.** Estas fuentes de agua nos ayudan a monitorear la profundidad del nivel freático.

#### 5.4.3 Uso agrícola y ganadero

En las actividades agrícolas y ganaderas se establecen pequeñas praderas artificiales o se aprovechan aquellas naturales de las vegas o albuferas para un pastoreo controlado. Esta acción exige un control del volumen y tipo de carga animal, ya que una sobrecarga desestabiliza el sustrato arenoso y reduce la cubierta herbácea, exponiendo la arena a la acción erosiva del viento, activando con esto la duna.

#### 5.4.4 Plantaciones forestales

Los mayores trabajos de control han sido realizados en el gran complejo de dunas de Arauco, en la Región del Biobío, área con precipitaciones cercanas a 1.500 mm por año, y Chanco-Reloca en la Región del Maule, donde precipitan unos 800 mm por año. Los primeros trabajos de consideración en control de dunas en Chile los inició el Estado a través del Ministerio de Agricultura en el año 1965, los prosiguió la Corporación de Reforestación y luego su sucesora la Corporación Nacional Forestal (CONAF). A partir del año 1974, con la promulgación del Decreto Ley 701 que incentiva las actividades de control de dunas y de forestación, se inició la participación del sector privado en esta labor. En virtud del mencionado Decreto Ley, el Estado bonifica en aproximadamente US \$ 920 por hectárea el control y forestación de dunas cuando los propietarios de los terrenos demuestran ante CONAF la realización exitosa de los trabajos correspondientes. Previamente se debe haber obtenido la aprobación por parte de CONAF del estudio técnico con los detalles y justificaciones del plan a ejecutar.

Según información obtenida de CONAF, permite estimar en algo más de 32.000 hectáreas la superficie actual de dunas costeras controladas y estabilizadas mediante los trabajos señalados, unas 8.000 hectáreas en la Región del Maule, unas 24.000 hectáreas en la Región del Biobío (Fotografía 17) y superficies menores en otras regiones del norte. Esto representa más del 60% de la superficie total de dunas costeras de las Regiones del Maule y del Biobío. El Estado ha jugado un rol preponderante en esta labor, primero ejecutando en forma directa trabajos de control, estabilización y forestación de las dunas hasta el año 1973, sobre una superficie cercana a 24.000 hectáreas, y luego, a contar del año 1974, incentivando el accionar de los privados mediante el otorgamiento de bonificaciones. Bajo este sistema el Gobierno de Chile ha pagado US \$ 2,16 millones a propietarios privados y se ha recuperado para la producción una superficie cercana a las 9.000 hectáreas (INFOR, 2005).



**Fotografía 17. Plantaciones forestales.** Bosques de pinos cultivados sobre dunas estabilizadas.

En la actualidad es posible visualizar la reforestación con hectareas de pino en dunas de Pangué (Fotografía 18), lo cual ocupa cerca del 75% del área. Estos bosques se encuentran muy bien consolidados en el sector. Por su parte en dunas de Quidico-lile, las plantaciones forestales proliferan en el sector sur oeste, sin embargo, no tuvieron éxito en toda el área, pues quedaron vestigios de la reforestación en la zona central del área de estudio (Fotografía 19) en donde la duna activa recuperó su territorio y además, existe un límite irregular entre la duna y las plantaciones forestales (Fotografía 20), en donde la arena y los árboles coexisten en el terreno.



**Fotografía 18.** Reforestacion en dunas de Panque.

**Fotografía 19.** Reforestacion en dunas de Quidico-lile.



**Fotografía 20.** Límite de la duna activa con cultivo forestal en Quidico-lile. Fotografía corresponde sector sureste del área de estudio, en donde coexisten los cultivos de pino con la duna activa.

### 5.4.5 Actividades humanas de esparcimiento

#### -Tránsito de personas:

Una huella dejada por el tránsito de personas puede durar marcada en arena por una o dos semanas. Sin embargo, el tránsito reiterado y frecuente de personas forma un pasillo mucho más marcado que altera la forma natural de la duna. Además, es muy común que la persona prefiera pisar encima de la vegetación, pues se le hace más fácil afirmar el pie, pero esto provoca la destrucción de la escasa flora, lo que acarrea la erosión de la duna. Esto daña directamente la morfología de la duna y sin un plan de manejo adecuado, terminará por colapsar.

#### -Vehículos 4x4:

El mayor problema que genera el paso de los vehículos motorizados en la arena, más allá del espesor y profundidad de la huella (Fotografía 21), radica en la destrucción de la escasa flora presente en los campos dunarios y el derrame de combustible. Claro ejemplo es en el sector “Gota de leche” en San Antonio, región de Valparaíso, en donde existe una especie de flora única en el mundo llamada “la hierba del tabo”, la cual se encuentra actualmente en peligro de extinción.



Fotografía 21. Huella dejada por un vehículo 4x4 en la arena.

### **-Sandboard:**

Dadas las características de una tabla de sandboard, cuya cara inferior es lisa y posee una amplia superficie donde distribuir el peso, permite generar una huella muy somera que no supera los 4mm. Sin embargo, el deportista deja su huella en la arena al caminar duna arriba constantemente, estropeando la morfología. Esta situación puede mejorar si se concientiza en caminar solo por rutas identificadas, en donde se produce bajo impacto erosivo.

**Tabla 4. Impacto de actividades humanas en la duna.** Modificado de “Estudio Ambiental de uso de suelo y conservación dinámica del santuario de la naturaleza Cerro Dragón”.

<b>Tipo de huella</b>	<b>Impacto</b>	<b>Permanencia</b>
<b>Tránsito de personas</b>	Dos veces el tamaño del pie hacia sus costados y unas tres veces, cuando la huella se realiza en zona pendiente.	<b>1 a 2 semanas</b>
<b>Vehículos 4x4</b>	Debido a los derrapes y maniobras se produce una considerable superficie de impacto, formando grandes huellas que extienden lateralmente la alteración.	<b>Más de 1 año</b>
<b>Motocicletas de 2 ruedas, tipo en duro.</b>	Debido a la delgadez de los neumáticos y una mala relación peso/unidad de superficie, generan mayor presión y abrasión en una superficie más estrecha, lo que provoca hundimientos de hasta 25 cm, lo que las hace las huellas más profundas y permanentes.	<b>Más de 1 año</b>
<b>Motocicletas de cuatro ruedas</b>	Al tener menos peso y una mejor relación peso/unidad de superficie, la profundidad de las huellas de neumáticos, no supera los 4 cm. Sin embargo, las maniobras que se realizan aumentan la remoción de la capa superficial de arena,	<b>6 meses</b>
<b>Sandboard</b>	Dadas las características de una tabla de sandboard, cuya cara inferior es lisa y posee una amplia superficie donde distribuir el peso, permite generar una huella muy somera que no supera los 4mm.	<b>1 semana</b>

### 5.5 Registro paleontológico

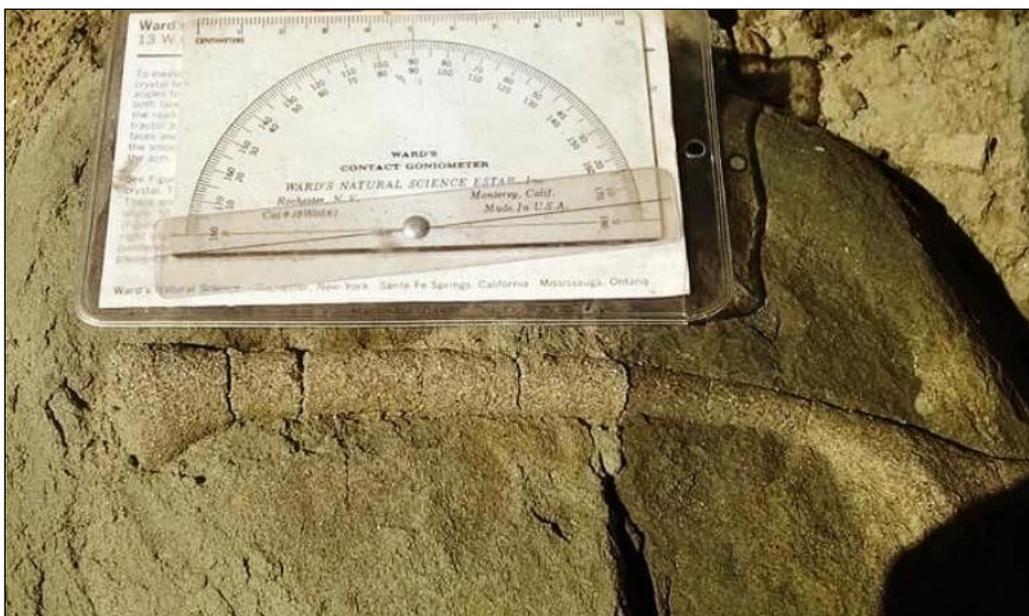
Al norte de área de estudio se encuentra un afloramiento de la Formación Millongue, el cuál mantiene múltiples registros de icnofósiles o también llamadas trazas fósiles. Se identifica como *Ophiomorfa sp.*, (Fotografía 22) con tamaños entre 2 a 20 cm de longitud, los cuales se encuentran en areniscas masivas.

Los icnofósiles corresponden a vestigios fósiles que mantienen en la roca, la morfología de una especie, que da cuenta de sus condiciones de vida, hábitos, ambiente geológico, entre otros. En los hallazgos encontrados se evidencia que la especie vivía en condiciones de enterramiento e indica un ambiente marino somero.



Fotografía 22. Trazas fósiles en formación Millongue.

Pocos kilómetros más al norte del área de estudio, cercano a caleta Rumena, se encontraron más icnofósiles (Fotografía 23). Esta vez con variaciones en la forma, pero manteniendo ciertas semejanzas con las trazas mencionadas, lo que nos permite inferir de que se trata de especies de la misma familia, con hábitos de vida similares.



**Fotografía 23.** *Ophiomorpha* sp. Icnofosil encontrado al norte de Caleta Rumena.

## 5.6 Registro Arqueológico

Los registros arqueológicos de la costa de la región del Biobío y la Araucanía datan de unos 11.700 años atrás y posterior a la última glaciación, a mediados del periodo Holoceno (Quiroz y Sanchez 2004). En ese entonces, la costa de Concepción estaba dominada por un conjunto de islas que permitieron un ambiente de sedimentación y evolución de la llanura deltaica hacia las bahías de Concepción y San Vicente, de estas hoy solo queda la Isla Quiriquina.

La morfología de la costa fue un fuerte incentivo a la navegación, que adquirió un gran desarrollo, al menos desde el Hipsitermal, que fue un periodo de temperaturas más cálidas, que comenzó alrededor del 6000 a.C. y duró hasta aproximadamente el 2500 a.C. En este segmento de la costa de Chile central, entre el río Bío-Bío y el río Imperial, se han identificado latitudinalmente tres grandes unidades: una costa de bahías cerradas entre Coliumo y Laraquete, la plataforma litoral de Arauco-Lebu y la llanura costera al sur de Lebu.

Seguel y Campana en 1970, plantean un periodo arcaico entre el 8.500 y el 1.500 ap., que estaría representado por tres etapas de ocupación, correspondientes a momentos transgresivos en las oscilaciones glacioeustáticas marinas holocénicas regionales (Campana 1973). La primera de estas ocupaciones sucede durante el óptimo climático, entre el 8.500 y el 6.500 ap. y se encuentra definida en el Golfo de Arauco por la presencia en los conchales de un estrato de ostiones, sin referencias culturales. La segunda ocupación, entre el 6.000 y el 4.500 ap., se define por un estrato de ostras que se superpone a los ostiones en los conchales estudiados. Durante este período el mar estaba a unos 5 m sobre el nivel actual del mar y el material cultural. El material rescatado corresponde a pesas de red, puntas de proyectil, cuchillos, raspadores y algunos adornos hechos en huesos y dientes. La tercera ocupación transcurre entre el 4.000 y el 1.500 a.p. y es definida primero por un nivel mixto

de ostras y navajuelas y luego por un nivel de navajuelas (Torres, J., Silva, C., & Lucero, M. 2007).

periféricas de todos estos conchales se encuentran manifestaciones de prácticas mortuorias las que evidencian similitudes para igual período cronológico y variaciones a través del tiempo (Quiroz y Sánchez 2004). De esta manera, mientras en los períodos tempranos (precerámicos) los restos esqueléticos presentan posiciones flectadas (posición fetal) lateral derecha, en los niveles superiores se encuentran en posición de cúbito dorsal e incluso vertical como es el caso de Tubúl 1-A. (Bustos y Vergara 1998).

Algunos sitios arqueológicos de interés para el presente trabajo son los siguientes:

-Sitio arqueológico Le-2, sector Morhuilla, Lebu. Edad Arcaico Medio.

El sitio Le-2, Morhuilla, Lebu contiene múltiples conchales con evidencias que indican que corresponde a un campamento de cazadores de lobos marinos, equipados con unas mortíferas puntas de proyectil pedunculadas con barbas y borde dentado, que están operando frente a Isla Mocha. En ese sitio además se atrapaban pingüinos, se pescaba, se recogían mariscos [moluscos, crustáceos y equinodermos] y se fabricaban artefactos en piedra, principalmente puntas de proyectil, en hueso y conchas, un milenio antes que ésta se poblara. Punta Morhuilla, lugar donde se encuentra el sitio Le2, era hace cinco mil años, con toda seguridad, una isla que se encontraba a unos 500 a 800 m de la orilla.

-El sitio P27-1, sector Isla Mocha, Lebu

El sitio P271 se sitúa en la Parcela 27, en el sector noroccidental de Isla Mocha a unos 500 m al NNE del Faro Mocha Norte. El hallazgo corresponde a un área de depósitos monticulares con una extensión aproximada es de 20 x 80 m, sobre una paleo duna litoral, dispuesta en una terraza marina alta (25 msnm), desde la cual se accede directamente al sistema de microambiente litoral. Las excavaciones de los diversos montículos han demostrado la presencia de una secuencia estratigráfica de buena visibilidad estructurada por tres estratos básicos, el primero de los cuales corresponde a la capa vegetal compuesta por una matriz de arena con humus café oscuro de estructura suelta y abundantes raíces; una segunda capa correspondiente a la ocupación arcaica definida como un depósito compacto de restos faunísticos fundamentalmente marítimos y terrestres, dispuestos en una matriz de arena amarilla de estructura suelta con una persistencia vertical de 3040 cm en ciertos sectores proyectada, a modo de rasgos, hacia el estrato estéril. Esta ocupación se dispone sobre una duna fósil de arena amarilla estéril que constituye el tercer componente estratigráfico del sitio. Se rescataron 10 punzones en hueso de ave (cuatro completos) muy similares a los encontrados en contextos arqueológicos de canoeros, un anzuelo del tipo compuesto elaborado en concha de *Choromytilus chorus*, un raspador en concha de *Ch. chorus*, tres conchas completas de *Ch. chorus* modificadas y una cuenta de collar en concha.

En la actualidad se siguen descubriendo sitios con elevada importancia arqueológica, muchos de los cuales se encuentran bajo las dunas del área de estudio. Como ocurrió en mayo de 2020, en donde se notificó el descubrimiento de osamentas humanas en el campo de dunas, las cuales estaban acompañadas de jarrones de greda (Fotografía 24). Esto da cuenta de la elevada importancia de proteger estos espacios.



**Fotografía 24. Osamentas Humanas en Arauco.** Hallazgo del día 25 de Mayo de 2020. *Un lugareño dio aviso del hallazgo a carabineros de restos humanos en el sector Dunas, comuna de Arauco. El hombre encontró un esqueleto humano y trozos de jarrones de greda. Al lugar concurre la Brigada de homicidios de la Policía de Investigaciones y el Servicio médico legal. (Radio Estación Curanilahue. 25/05/202)*

## 6. CAMPOS DE DUNAS EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO

Dentro de las visitas a terreno, se consideró pertinente contrastar el área de estudio con los sistemas dunarios proximales dentro de la región del Biobío, con la intención de comparar la mineralogía, tamaño de grano, origen y formación, entre otros factores.

Hacia el norte se decidió visitar la isla Santa María y hacia el sur la localidad de Pangué. Estas comparaciones surgen ante la semejanza de color de la arena entre ambos sitios, que contrasta radicalmente con la tonalidad de los sedimentos en dunas de Quidico-lile.

### 6.1. Duna Puerto Norte, Isla Santa María

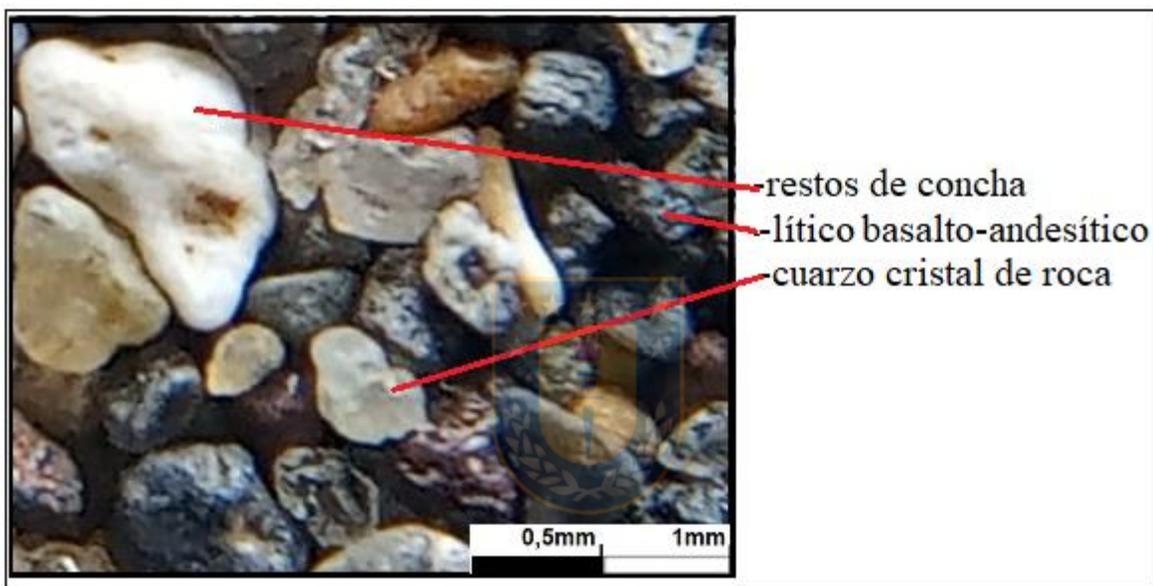
Coordenada: (36°58'43" S y 73°31'58" W)

La isla Santa María en su parte occidental se caracteriza por acantilados de gran pendiente y en su parte oriental predominan terrenos bajos como playas dunas y líneas de costa emergidas. Su litología corresponde a rocas estratificadas de edad Eoceno-Mioceno cubiertas en discordancia angular por las secuencias sedimentarias denominadas “Estratos de Santa María”, los cuales pueden ser divididos en dos unidades, superior e inferior, considerando su porcentaje de fangos, petrografía y ambiente de deposición. La unidad superior presenta abundancia de fangos y está compuesta de litarenitas feldespáticas, con un 50 a 65% de líticos volcánicos y un 20 a 25% de feldespatos, cuyo transporte es principalmente eólico; la unidad inferior está formada de volcarenitas con un 85 a 90% de

líticos volcánicos, con un transporte principalmente en medio líquido (Jara, J. 2006).

### 6.1.1. Mineralogía

El estudio mineralógico se centró en el sector NW de la isla Santa María. Se observa una moderada selección con tamaño de grano entre 0,4 y 1,2 mm, con predominancia de líticos basalto-andesíticos (60%) subprismático y redondeado; cuarzo cristal de roca (10%) subprismático y subredondeado; cuarzo con pátina de óxidos de hierro (10%) subredondeado y esférico; feldespatos (5%) subprismático y redondeado; restos de conchas (5%) subdiscoideal a subprismático y redondeado. (Fotografía 25).



Fotografía 25. Arena de duna al NW de Isla Santa María.

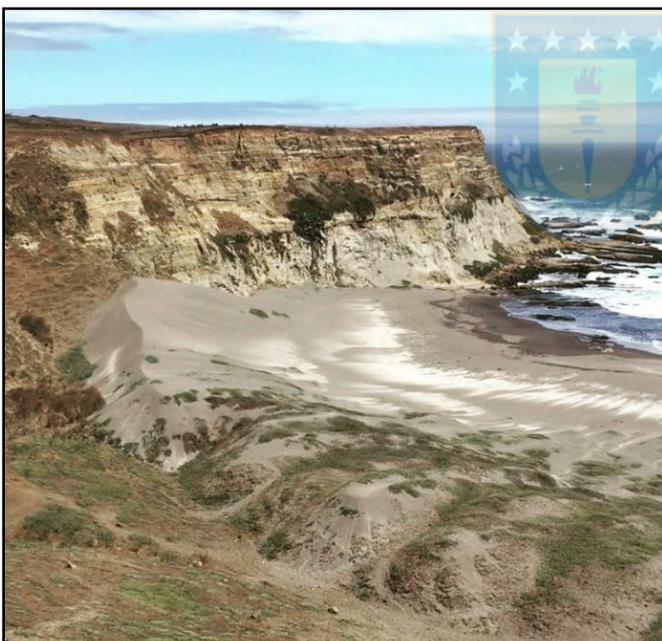
En el área Sur Este de Isla Santa María, y frente al Golfo de Arauco, se encuentra el sector “Punta delgada”, que corresponde a un brazo de arena que sobresale de la isla en dirección Este (Fotografía 26). Destaca la presencia de un sistema de dunas de baja altura, que bordea entre 2 a 3 metros de altitud.

Esta zona no ha sido invadida con especies exóticas para su estabilización, por lo cual resulta ser un buen referente para estudiar una evolución natural del ecosistema de dunas.



**Fotografía 26. Punta delgada en Puerto sur de Isla Santa María.**

Luego del terremoto de 2010 la isla se levantó cerca de 2 metros, emergiendo la plataforma de abrasión marina al norte de Puerto Norte. Específicamente al NW y adosada a los acantilados, se encuentra una duna de mayor altura, superando los 15 metros de altura (Fotografía 27). Esto sumado a las marcas de oleaje registradas en los acantilados aledaños, nos indica un alzamiento del territorio insular producto del sismo.



**Fotografía 27. Duna en sector NW de Isla Santa María**

### **6.1.2. Proveniencia de los sedimentos**

El origen de los estratos que componen la isla Santa María se relaciona con material volcánico arrastrados por avalanchas volcánicas provenientes del volcán Antuco hace 130.000 años A.P. (Jara, J. 2006), transportado por el río Biobío hacia el sector costero y finalmente las corrientes del golfo de Arauco llevan los sedimentos hacia la actual posición de la isla. Sin embargo, también se observan líticos volcánicos muy característicos a los

sedimentos de la Formación Cañete, por lo tanto, es muy probable que también haya aportado a la sedimentación de la isla.

## 6.2 Dunas de Pangué

Coordenadas: (37°50'01" S y 73°30'00" W)

El campo de dunas de la localidad de Pangué abarca una superficie aproximada de 4200 hectáreas, abarcando el borde litoral desde el sur de Lebu, hasta el pueblo de Quidico (Tirúa). Este depósito eólico se encuentra alargado a lo largo del borde costero y en algunos sectores las dunas comienzan a acanalarse y restringirse a través de valles fluviales donde posteriormente tienden a ser invadidas y estabilizadas por la vegetación y por los medios fluviales locales.

El campo de dunas de Pangué presenta una evolución hacia el norte y hacia el interior del continente. Al sur del borde litoral, las dunas de la playa tienen una morfología longitudinal en dirección NE-SW. Sobresale a la superficie un acantilado (Fotografía 29) que separa la terraza Pleistocena de la Holocena durante la transgresión Holocena, la duna cubre todo el acantilado y penetra por su cima tierra adentro al sur del río Pangué, y hacia el norte de la playa, las dunas comienzan a disponerse en forma parabólica (Fotografía 30). En el sector sureste las morfologías parabólicas de las dunas son deformadas por cambios locales de la dirección del viento. El campo de dunas limita al oeste con el océano pacífico y al este con un arroyo, el cual se dispone en forma muy similar al arroyo colindante al campo de dunas de Quidico-lile, pero en este caso presenta mayor caudal y profundidad.



**Fotografía 29. Acantilado en dunas de Pangué**

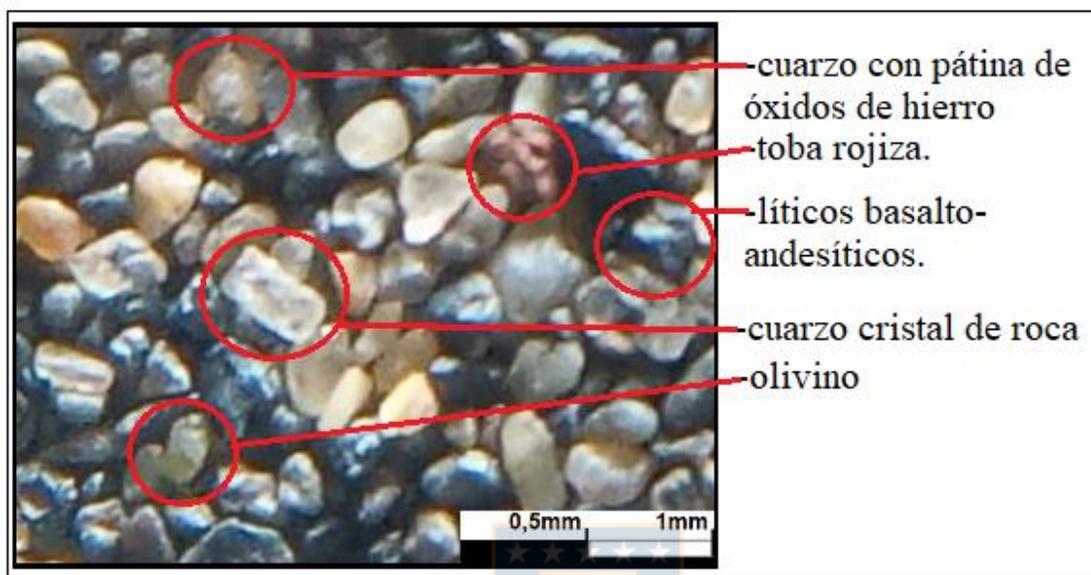


**Fotografía 30. Dunas parabólicas de Pangué**

### 6.2.1. Mineralogía

Los sedimentos pertenecientes a esta localidad presentan una muy buena selección y tamaño de grano entre 0.2 y 0.4 mm (Fotografía 23). Predominan los líticos basalto-andesíticos

(45%) subredondeados y subprismáticos, los cuales le otorgan al campo de dunas un color oscuro; le sigue en abundancia el cuarzo con patina de óxidos de hierro subredondeado subdiscoideal (15%); cuarzo cristal de roca, anguloso y de baja esfericidad (10%); tobas rojizas (8%); feldespatos subangulosos y subredondeados (7%); olivinos subredondeados y subsféricos (5%). (Fotografía 28)



Fotografía 28. Arena de dunas de Pangue.

### 6.2.2. Proveniencia de los sedimentos

Es evidente asociar la proveniencia de sedimentos desde fuentes máficas, debido a la gran presencia de fragmentos de roca volcánicas como las tobas, líticos basalto-andesíticos vesiculares e incluso minerales como el olivino, el cual tiene una muy baja resistencia a la erosión. Es por esto por lo que se atribuye como principal aporte de sedimentos a la erosión in situ de la Fm Cañete, que se encuentra debajo del campo de dunas de Pangue, la cual está compuesta por una unidad de arenisca negra de origen volcánico.

Encinas et al. (2021) concluye que el levantamiento de la cordillera de la costa se produjo en los últimos 2 Ma, un proceso mucho más reciente de lo que se consideraba clásicamente y además el origen de esta cordillera no está relacionado con la evolución tectónica de la cordillera de los Andes, pero el levantamiento del lado occidental de esta cordillera fue un proceso fundamental porque provocó un aumento significativo de la sedimentación de la fosa, lo que desencadenó la acreción. Esto indica que la formación Cañete, o al menos su unidad basal, se depositó antes del alzamiento de la cordillera de la costa, cuando los ríos que drenaban en la península de Arauco venían desde la cordillera de los Andes, aportando con un gran flujo de sedimentos máficos a la costa.

## **7. DIAGNÓSTICO DEL CAMPO DE DUNAS DE QUIDICO-LILE**

### **7.1 Vulnerabilidad del campo de dunas**

Los sistemas dunarios están expuestos a diversos agentes que afectan su conservación. Estos pueden tener un origen natural o antrópico, provocando erosión acelerada, decaimiento del ecosistema y estado avanzado de deterioro con transformación y/o destrucción de las geoformas dunarias.

A continuación, analizaremos la vulnerabilidad del campo de dunas de Quidico-lile bajo variables geomorfológico-sedimentarias, marinas, climáticas y antrópicas con el propósito de obtener el Índice de Vulnerabilidad. Esto basado en la metodología empleada por García Mora (2001), sin embargo, se ha modificado para ajustarse a la zona de estudio.

#### **7.1.1 Índice Geomorfológico-sedimentario del campo de dunas (IGD)**

Este índice reúne diversos factores (Ver Tabla 5), pero en general, cuanto mayor sea el volumen de sedimento acumulado en las dunas costeras mayor será la capacidad de absorción de impactos y más estable será el sistema. Del mismo modo, la deflación eólica de un volumen determinado de sedimento será más importante en sistemas de menor tamaño, ya que los efectos de la deflación aumentan con la fracción de material erosionado.

La superficie de las depresiones húmedas entre dunas se refiere a que, a mayor proximidad del nivel freático a la superficie, aumenta la cohesión entre las partículas y dificulta el transporte eólico del sedimento, a la vez que favorece una mayor cobertura vegetal, disminuyendo la movilidad de las arenas y la pérdida sedimentaria del sistema.

El grado de fragmentación del sistema de dunas: la pérdida de superficie ocupada por elementos morfológicos de acumulación de arena, así como la fragmentación del campo de dunas en pequeñas unidades aisladas y dispersas, modifica las condiciones ecológicas y geomorfológicas y acelera la degradación y eliminación de las estructuras de acumulación eólica.

Se ha considerado que los diámetros de partículas menores aumentarán la fragilidad de la duna costera, ya que los sedimentos finos son más fácilmente transportados por el viento y, por tanto, favorecerán las pérdidas por deflación. Esto se analiza bajo el concepto de granulometría de la ladera barlovento de la duna primaria (lado de la duna donde choca el viento).

**Tabla 5. Índice Geomorfológico-sedimentario del campo de dunas (IGD)**

Variable	Grado de vulnerabilidad				
	0	1	2	3	4
1.-Longitud del sistema de dunas(Km)				<b>X</b>	
	>20	>10	>5	>1	>0.1
2.-Anchura del sistema de dunas (Km)	<b>X</b>				
	>2	>1	>0.5	>0.1	<0.1
3.-Ancho de la duna primaria en % con el sistema de dunas activo			<b>X</b>		
	<5	<25	<50	<75	>75
4.-Altura modal del sistema de dunas (m)	<b>X</b>				
	>25	>10	>5	>1	<1
5.- Altura modal de la duna primaria	<b>X</b>				
	>25	>15	>10	>5	<5
5a: Cordones de dunas paralelos (n°)		<b>X</b>			
	>10	>4	>2	2	1
5b.-Pendiente de la duna rampante	<b>X</b>				
	Suave		Media		Alta
5c.-Altura del acantilado (si es el caso)	<b>X</b>				
	<2		2-5		>5
6.- Superficie de las depresiones húmedas entre dunas	<b>X</b>				
	Media		Escasa		Ausente
7.-Grado de fragmentación del sistema de dunas	<b>X</b>				
	Bajo		Medio		Alto
8.-Granulometría de la ladera barlovento de la duna primaria ( $\Phi$ )			<b>X</b>		
	<=-1	0	1	2	3

### 7.1.2 Índice de Incidencia Marina (IIM)

La incidencia marina sobre las dunas costeras influye directamente en la disponibilidad de sedimento. Dicho esto, es posible identificar diversos factores que interfieren en este análisis (Ver tabla 6), algunos de ellos se describen a continuación:

#### -Recuperación geográfica (Km)

Uno de los factores determinantes de la disponibilidad sedimentaria lo constituye la energía potencial del oleaje, que puede relacionarse directamente con la longitud de superficie marina sobre la que el viento sopla en una misma dirección.

#### -Estado modal de la playa

El desarrollo de la duna primaria es favorecido en aquellas costas donde la mayor parte de la energía del oleaje es disipada antes de llegar a la playa. Estas playas disipativas se caracterizan por presentar pendientes suaves

#### -Ancho de la zona intermareal (Km)

A medida que la zona intermareal es más ancha, mayor será la fuente de sedimentos susceptibles a ser transportados por el viento. Esto favorece la formación de dunas costeras

constituidas por grano fino, como es el caso campo dunario en estudio, que es favorecida su preservación por esta franja intermareal y de playa seca

Caso contrario ocurre en el litoral suratlántico, en donde la playa seca es mucho más estrecha y de grano grueso, produciéndose cortes y escarpes erosión en la duna primaria durante los temporales.

### -Barras arenosas

Las barras longitudinales cumplen una doble función de protección de la playa y de la duna costera. Esta protección se lleva a cabo al actuar como zona de rompiente del oleaje, llegando a disipar entre el 80% y el 95% de la energía del oleaje incidente, y al constituir una reserva de sedimento que garantiza el mantenimiento del equilibrio sedimentario tras los temporales.

**Tabla 6. Índice de Incidencia Marina (IIM)**

Variable	Grado de vulnerabilidad				
	0	1	2	3	4
1.-Recuperación geográfica (Km)	X <25	<100	<250	>500	>1000
2.-Estado modal de la playa	X Disipa.		Interm.		Reflej
3.-Ancho de la zona intermareal (Km)	>0.5	X >0.2	>0.1	>0.05	<0.05
4.-Carrera de marca (m)	<2		X 2-4		>4
5.- Exposición Costera	10-45°		X 0-10°		0°
6.- N° de barras arenosas sumergidas o emergidas	>1		1		X 0
7.-Anchura de la playa seca (m)	X >75	<75	<25	<10	0
8.-Superficie relativa de los cortes en la duna primaria debidos al oleaje	X 0%	<5%	<20%	<50%	>50%
9.-Longitud de la duna primaria con escarpes de erosión por oleaje (%)	X 0%	<5%	<20%	<50%	>50%
10.- Granulometría del sedimento en la playa seca ( $\Phi$ )	X Bajo		Medio		Alto

### 7.1.3 Índice de Incidencia Eólica (IIE)

El viento predominante en el área de estudio proviene del SW y avanza en dirección NE, alcanzando su mayor intensidad en las tardes. Esta energía eólica es la principal responsable, en conjunto con el factor marino, del modelado de dunas. Logrando modificar la costa con procesos de erosión y deposición.

El sedimento disponible para ser transportado por el viento a la duna primaria avanza principalmente mediante saltos, y dependiendo de su abundancia, puede formar estructuras de acumulación eólica, tales como: dunas embrionarias en la playa seca, cubetas de deflación, pasillos de deflación, entre otras geoformas (Ver Tabla 7).

Sin embargo, existen obstáculos en la playa seca, tales como: gravas conchas y ramas, que modifican la dirección del viento e interrumpen el transporte de sedimento. Esto puede dar paso a la formación de dunas embrionarias.

**Tabla 7. Índice de Incidencia Eólica (IIE)**

Variable	Grado de vulnerabilidad				
	0	1	2	3	4
1.-Aporte de sedimento a la duna primaria	<b>X</b> Alto		Moderado		Bajo
2.-Dunas embrionarias en la playa seca (%)	<b>X</b> >50%	<50%	<25%	<5%	0
3.-Cubetas de deflación (%)		<b>X</b> >5%	>10%	>20%	<40%
4.-Pasillos de deflación (%)			<b>X</b> <25%	<50%	>50%
4.1.- Profundidad de los pasillos de deflación respecto a duna primaria		<b>X</b> <10%	<25%	<50%	>50%
5.-Residuos orgánicos en playa seca (%)			<b>X</b> >5%	>25%	>50%
6.-Cobertura de gravas en playa seca (%)	<b>X</b> 0%	<5%	>5%	>25%	>50%
7.-Cobertura de conchas en playa seca (%)			<b>X</b> <25%	<50%	>50%
8.-Cobertura vegetal en duna primaria (%)				<b>X</b> >10%	<10%
9.- Superficie sin vegetación (%)					<b>X</b> >75%
	<10%	<20%	<40%	<75%	>75%

#### 7.1.4: Índice de características de la cubierta vegetal (ICV):

Es común encontrar paralelas la cubierta vegetal y la línea de máximo ascenso del oleaje en mareas vivas equinocciales, donde se produce la acumulación marina de rizomas, semillas y materia orgánica. Los cuales son cubiertos por capas de arena que dan lugar a pequeños montículos, algunos esporádicos que no sobreviven a las tormentas, mientras que otros logran mantenerse y alcanzar entre uno y dos metros.

Para mantener la forma de los montículos en este ambiente es fundamental que se desarrolle una capa de vegetación, y para este estudio se han definido cuatro tipos de especies vegetales:

##### a) Tipo I:

Pequeñas herbáceas anuales de invierno con crecimiento rastrero o en roseta, susceptibles de ser enterradas o descalzadas a partir de pequeñas movilizaciones de sedimento. Este tipo de vegetación incrementa su cobertura en condiciones de alta estabilidad del substrato arenoso debido a una tasa muy baja de deposición/erosión, o por un aumento de compactación provocado por el pisoteo.

##### b) Tipo II:

Herbáceas o leñosas perennes con un sistema radical bien desarrollado y reproducción sexual, que presentan adaptaciones en las estructuras foliares a las condiciones de salinidad, viento, insolación y temperatura de las zonas costeras. No son susceptibles de ser dispersadas por el agua marina y son características de dunas poco estabilizadas. Favorecen la fijación de las arenas, disminuyendo los efectos de la deflación eólica pero no favorecen el crecimiento en potencia de las estructuras de dunas.

##### c) Tipo III:

Representado por especies psammófilas capaces de dispersarse por el agua de mar y de soportar altas tasas de enterramiento. Plantas perennes con capacidad de reproducción vegetativa o plantas anuales de verano, con adaptaciones foliares a las condiciones de salinidad, viento, insolación y temperatura de las zonas costeras. Favorecen la formación y el desarrollo de las estructuras de acumulación.

##### d) Tipo Neófito:

Incluyendo aquellos taxones vegetales introducidos recientemente por el hombre en la zona costera. Generalmente, presentan un comportamiento invasor (por ejemplo, *Carpobrotus edulis*), pudiendo llegar a desplazar a la vegetación natural. En las distintas unidades del sistema de dunas, se ha considerado la proporción relativa de cada tipo de vegetación, siendo ésta la relación entre la cobertura de un determinado tipo funcional y la cobertura total de vegetación.

**Tabla 8. Índice de características de la cubierta vegetal (ICV)**

Variable	Grado de vulnerabilidad				
	0	1	2	3	4
1.-Especies tipo III. Porcentaje en la playa seca.					<b>X</b>
	>50%	>25%	>15%	>5%	<5%
2.- Superficie usada por especies tipo II en barlovento de la duna primaria. (%)				<b>X</b>	
	>90%	>60%	>30%	>15%	<15%
3.- Especies tipo II en barlovento de la duna primaria.			<b>X</b>		
	<5%	<15%	<30%	<60%	>60%
4.- Especies tipo I en barlovento de duna primaria (%)			<b>X</b>		
	<1%	>1%	>5%	>10%	>30%
5.- Especies exóticas en barlovento de duna primaria. (%)				<b>X</b>	
	0	<1%	<5%	<15%	>15%
6.-Tipo I y II en los primeros 100m a sotavento de duna primaria					<b>X</b>
	>75%	>50%	>25%	>10%	<10%
7.-plantas vigorosas en sotavento de la duna primaria					<b>X</b>
	>75%	>50%	>25%	>10%	<10%
8.-Plantas con raíces expuestas en barlovento de la duna primaria	<b>X</b>				
	<5%	>5%	>15%	>25%	>50%
9.-Plantas con evidencias de daños físicos en barlovento de duna primaria		<b>X</b>			
	<5%	>5%	>15%	>25%	>50%
10.-Eliminación antrópica de la cobertura vegetal en barlovento.		<b>X</b>			
	<10%	>10%	>25%	>50%	>75%

### 7.1.5 Índice de Presión de Uso (IPU)

Sin duda el factor antrópico afecta el sistema de dunas de Quidico-lile, considerando el exponencial aumento de interés por parte de los turistas por visitar el sector, con escasa o nula información y advertencia de los impactos producidos sobre la geomorfología y ecología. En esta sección se trabaja en cuantificar el grado de impacto de cada actividad humana en el área de estudio (Ver Tabla 7). Por un lado, los que implican modificación de las características del sistema y por otro, los que implican eliminación parcial o total del mismo.

En el área de estudio se observan pasillos de origen antrópico (Fotografía 31), que solo se mantienen estabilizados por la escasa vegetación en el sector.

Se han incluido en esta sección los impactos antrópicos que afectan directamente al sistema de dunas mediante:

- El incremento en la desestabilización de la arena y eliminación de la vegetación natural.
- La modificación de la textura de la capa de arena mediante el aporte de residuos y materiales ajenos a las playas arenosas.
- La fragmentación y eliminación parcial de dunas activas mediante la creación de infraestructuras, o por sustitución de la vegetación natural por cultivos o repoblaciones.



**Fotografía 31: Presión de visitantes.** En rojo se ha marcado el área que corresponde a un pasillo de origen antrópico, que se ha formado por el constante caminar de las personas.

**Tabla 9. Índice de Presión de Uso (IPU).**

Variable	Grado de vulnerabilidad				
	0	1	2	3	4
1.-Presión de visitantes				X	
	Baja		Moderada		Alta
2.-Frecuencia de visitantes					X
	Baja		Moderada		Alta
3.- Dificultad de acceso					X
	Alta		Moderada		Baja
4.- Tránsito de vehículos sobre sistema de dunas activo				X	
	Ninguno		Alguno		Elevado
5.- Tránsito de vehículos sobre playa seca				X	
	Ninguno		Alguno		Elevado
6.-Paseos a caballo sobre el sistema de dunas			X		
	Ninguno		Alguno		Elevado
7.-Pasillos de deflación de origen antrópico en la duna primaria		X			
	0%	<5%	>25%	>50%	>50%
7.1.-Ancho de los pasillos de deflación de origen antrópico (m)			X		
	<1	<2	<3	<5	>5
7.2.-Profundidad de los pasillos de deflación (porcentaje en relación con duna primaria)	X				
	<5%	<25%	<50%	>50%	>75%
8.-Superficie del sistema de dunas ocupado por residuos sólidos urbanos.		X			
	0%	<5%	<25%	<50%	>50%
9.-Extracción de áridos		X			
	Nula		Moderada		Alta
10.-Frecuencia de limpieza de la playa.		X			
	Nula		Moderada		Alta
11.-Porcentaje de playa seca afectada por limpiezas	X				
	0	<25%	<50%	<75%	>75%
12.-Infraestructuras permanentes en sistema de dunas activo (%)	X				
	0	<25%	<50%	<75%	>75%
13.-Infraestructuras temporales en el sistema de dunas activo (%)	X				
	0	<25%	<50%	<75%	>75%
14.-Línea forestal a 200 m de sotavento de duna primaria (%)					X
	0	<25%	<50%	<75%	>75%
15.- Línea de cultivos a 200 m de sotavento de duna primaria (%)			X		
	0	<25%	<50%	<75%	>75%
16.- Pastoreo en el sistema de dunas activo.			X		
	Nula		Moderada		Alto
17.-Presencia de conejos					X
	Nula		Moderada		Alta

## 7.2 Cálculo del índice de vulnerabilidad

El índice de vulnerabilidad engloba un conjunto de variables biológicas y ambientales seleccionadas en una medida de la capacidad de respuesta del sistema de dunas ante los diversos procesos que interactúan y determinan los ajustes y la evolución del frente costero. A partir de las listas parciales de control anteriormente expuestas, se obtiene un valor parcial de vulnerabilidad correspondiente a cada sección o grupo de variables, lo que permite identificar el tipo de proceso dominante en la pérdida de elasticidad del sistema. El índice de vulnerabilidad parcial (IVp) se calcula como la fracción entre el sumatorio de los valores asignados ( $V_i$ ) y el sumatorio de los valores máximos posibles de cada grupo de variables ( $V_{pmax}$ ):

$$IVp = \sum V_i / \sum V_{p \max} \text{ (Peña, C. 2015)}$$

-IGD: Índice Geomorfológico-sedimentario del sistema de dunas:  $8/44 = 0.182$

-IIM: Índice de Incidencia Marina:  $9/40 = 0.225$

-IIE: Índice de Incidencia Eólica:  $15/40 = 0.375$

-ICV: Índice de características de la cubierta vegetal:  $24/40 = 0.600$

-IPU: Índice de Presión de Uso:  $37/76 = 0.486$

De los cálculos podemos concluir que el valor ICV, correspondiente a las características de la cubierta vegetal, se encuentra en la mayor vulnerabilidad, sumado a que el índice de presión de uso (IPU) seguirá creciendo debido al rápido incremento del turismo que está llegando a visitar el depósito eólico en estudio. Sin un plan de manejo, el incremento de la presión de uso destruirá exponencialmente la cubierta vegetal, afectando directamente a la geomorfología y altura del campo de dunas.

El cálculo de la vulnerabilidad se realiza a partir de la media ponderada de los valores de los cinco índices parciales:

$$IVp = (IGD + IIM + IIE + ICV + IPU) / 5 = 0.3736$$

Finalmente se determina que el Índice de Vulnerabilidad para el campo de dunas de Quidicolle corresponde a 0.3736, el cuál corresponde a un valor de medición para los estudios y monitoreos futuros.

## **8. ALTERNATIVAS DE GEOCONSERVACIÓN**

El objetivo de la geoconservación de las dunas costeras es obtener un aprovechamiento racional y sostenido del territorio. Con el propósito de desarrollar economías sustentables y al mismo tiempo restaurar y conservar estos espacios naturales.

Para lograr los objetivos de este trabajo, se han planteado y puesto en marcha las siguientes propuestas:

- 8.1 Educación ambiental
- 8.2 Reducción de las causas de alteración
- 8.3 Reconstrucción de sistemas dunar
- 8.4 Revegetación

Se realizaran monitoreos periódicos para evaluar avances y resultados, los cuales quedan fuera del alcance de los objetivos de este trabajo.

### **8.1 Educación ambiental**

Es primordial difundir el conocimiento geológico a las comunidades aledañas a los campos de dunas, para fomentar la conciencia y las buenas practicas en los depósitos eólicos.

En el marco de las visitas a terreno el presente trabajo de memoria de título, se realizaron charlas de difusión científica en diversas localidades costeras de la región del Biobío, entre ellas dunas de Pangué, en donde Diego Freire dictó la cátedra (Fotografía 32) a los asistentes al taller educativo (Fotografía 33). Así también se realizaron actividades en dunas de Quidico-lile e isla Santa María. El enfoque de estas actividades de difusión científica, fue la “Geoconservación de los campos de dunas de la región del Biobío”, educando a la comunidad acerca del origen de estos depositos eólicos, las características de cada uno (origen, formación, mineralogía, geomorfología, etc) y las medidas que se deben adoptar para preservar estos sitios de alto valor geológico, antropologico, ecosistemico y cultural.



**Fotografía 32. Educación ambiental.**  
A la derecha Diego Freire dictando charla educativa en dunas de Pangué



**Fotografía 33. Asistentes al taller educativo.**

### **8.1.1 Proyecto Sandboard y Geociencias para niños de sectores rurales**

Este programa educativo financiado por INJUV BIOBIO tiene por misión entregar deporte y ciencia a niños de comunidades aledañas a los campos de dunas de la región del Biobío. De esta forma aportarles con una herramienta educativa y de desarrollo de economía sustentable para su localidad.

Estos talleres son ejecutados entre enero y febrero del año 2021, en un contexto de contingencia sanitaria por COVID-19. Sin duda entregarle a estos menores, conocimientos y habilidades que pueden ejecutar en su propio territorio, conforma una herramienta real y aplicable en su desarrollo personal y proyecciones futuras.

## **8.2 Reducción de las causas de alteración**

### **8.2.1 Manejo de residuos asimilables a domiciliarios**

Los sistemas dunarios no quedan exentos de la contaminación que produce el plástico. Día a día crece el turismo hacia estos lugares antes poco visitados, sin embargo, también aumenta la basura y desperdicios, que terminan siendo arrastrados y acumulados por el viento en determinados sectores del área de estudio.

## **-Equipos deportivos fabricados con desechos plásticos**

Esta iniciativa forma parte del proyecto “Kuyem”, apoyado por CORFO, el cual busca darles un nuevo valor a los residuos plásticos, fabricando equipos deportivos con material de la basura acumulada en la duna, mediante una cadena productiva basada en la economía circular.

Un trabajo colaborativo que irrumpe la industria del turismo y el deporte extremo, generando trabajo, conciencia y cultura ambiental. Además, dentro de los avances en las pruebas técnicas en los prototipos y el constante estudio geológico en la duna, se ha descubierto que la mineralogía de la duna interfiere en el desarrollo del deporte Sandboard.

Los minerales ferromagnesianos (olivino, piroxenos, anfíboles, biotita y granate) tienen un peso específico entre 3,2 y 3,6, mientras que los no ferromagnesianos (feldespatos, cuarzo, moscovita y arcillas) tienen un peso específico cercano a 2,7. Entre mayor peso específico, los granos de arena tenderán a permanecer más estables en su lugar y opondrán mayor resistencia al enterramiento de la tabla de Sandboard. Entonces, podemos afirmar que el peso específico promedio de la arena es directamente proporcional a la velocidad de deslizamiento.

### **8.3 Reconstrucción de sistemas dunar**

Una vez eliminado o reducido los factores que degradan la duna, utilizamos métodos ecológicos y/o de ingeniería para la reconstrucción del sistema dunar. Ambos consisten en la instalación de sistemas de ayuda, con el propósito de proteger un sector de gran valor económico, social, cultural, e incluso natural, situados en primera línea de costa. Como es el caso de los sitios de interés arqueológicos.

#### **8.3.1 Método ingenieril:**

Se utiliza maquinaria para la reconstrucción de la morfología dunar, mediante el movimiento de arena in situ o proveniente de otro sector.

Este método resulta ser muy rápido, sin embargo, produce un impacto ambiental elevado, sobre todo en las zonas en donde se extrae la arena. Además, los resultados suelen ser momentáneos y poco duraderos, pues la naturaleza tarde o temprano recupera su forma natural.

#### **8.3.2 Método ecológico:**

Un método natural y ecológico son los “captadores de arena” (Fotografía 34), los cuales consisten en la instalación de una barrera que intersecte parcialmente la arena transportada por el viento. Pueden estar hechos de ramas secas, redes de plástico, madera, etc. Estos sistemas son utilizados para rellenar huecos o brechas en las dunas, crear cordones

completamente nuevos y/o crear “cordones de sacrificio” para protección de zonas interiores de elevado valor cultural o natural para su conservación.

La mayor ventaja radica en que es un método muy económico que genera morfologías naturales, por lo tanto no genera impacto ambiental. Por otra parte, su desventaja sería que los resultados tardan más en manifestarse y depender de diversos factores, como la climatología, dinámica dunaria y que tan efectivo fue el método que empleamos.



**Fotografía 34. Captadores de mimbre.** Demarcación de Costas de Andalucía Atlántica (Cádiz).

#### 8.4 Revegetación

Una vez conseguida la forma natural del sistema de dunas, es necesario revegetar el sector, para que se estabilice.

Los métodos antiguos de revegetación dunar consistían en plantar grama marina (*Elymus farctus*) y el barrón (*Ammophila arenaria*), también llamadas “estructurales” (García Mora, 2000) o constructoras de dunas (Ranwell y Boar, 1986). La primera se desarrolla especialmente en las dunas embrionarias y la segunda, sobre el primer cordón dunar. Ambas especies son gramíneas perennes, con un sistema radicular muy desarrollado, adaptadas a las condiciones ambientales del litoral, capaces de dispersarse a través del viento y del agua de mar y resistentes al enterramiento en la arena. Una vez que las especies antes mencionadas

logran estabilizarse en la arena, se introduce la especie *Lupinus arboreus*, más conocida como “chocho”.

Sin embargo estas medidas han dado paso a especies que estas se han vuelto muy invasivas en la costa, convirtiendo el paisaje dunar en monocultivos de *Lupinus arboreus* (Fotografía 35), correspondiente a las dunas de Moncul, en Nehuentue, comuna de Carahue.



**Fotografía 35. Playa invadida por *Lupinus arboreus*.** Derecha: Vista al norte desde Dunas de Moncul, Nehuentue, región de la Araucanía, Chile. El área está completamente cubierta con *Lupinus arboreus*. 13 de diciembre 2020

Es por esta razón que se plantea revegetar las dunas del sur de Chile con especies nativas como una alternativa para la geoconservación de estos espacios naturales. De esta forma prosperarán especies animales que nidificarán en el sector, enriqueciendo el ecosistema, la flora y la fauna. Una especie autoctona de América del Sur es la planta “Doca” o “frutilla de mar” (*Carpobrotus aequiliterus*) (Fotografía 36), la cuál además produce un fruto apto incluso para el consumo humano. Es muy reconocible por sus hojas y flor (Fotografía 37).



**Fotografía 36. Planta Doca o frutilla de mar sobre suelo dunar.**  
*Carpobrotus aequiliterus*



**Fotografía 37. Flor de la planta Doca.**

## 9. CONCLUSIONES

En la localidad de Quidico-lile existe un área aproximada de 600 hectáreas correspondiente a duna activa, que se emplazan desde el borde costero en dirección NE. La geomorfología de este depósito consiste en dunas transversales al sur, dunas barjanes y parabólicas al norte. El color corresponde a un amarillo claro, contrastando con la tonalidad de otras dunas de la región. Esto se debe a su mineralogía, ya que en el área de estudio predominan minerales como el sílice y feldespato, evidenciando que la proveniencia de los sedimentos es principalmente de erosión continental, específicamente del basamento ígneo presente en la cordillera de la costa y además erosión de la formación Ranquil que contiene bancos de areniscas cuarzo-feldespáticas, esto producto de la intensa erosión ocasionada por las malas prácticas agrícolas e intensa reforestación en los últimos 200 años aproximadamente. En contraste con la arena de Pangué e Isla Santa María, con una evidente tonalidad oscura, ambas con alto contenido de material volcánico. Se concluye que el aporte de arena en dunas de Pangué proviene principalmente de material in situ perteneciente a la Formación Cañete, la cual contiene una unidad de areniscas volcánicas que fueron depositadas antes del levantamiento de la cordillera de la costa, es decir, en un momento en que las erupciones de la cordillera de los Andes tenían acceso directo hacia la costa. Esta formación también aporta sedimentos volcánicos al campo de dunas de Quidico-lile. Por otra parte, los sedimentos de isla Santa María también presenta sedimentos característicos de la Formación Cañete, sin embargo, el aporte principal proviene de avalanchas volcánicas del volcán Antuco hace 130.000 años A.P., que siguen el curso del río Biobío hacia el sector costero y finalmente las corrientes del golfo de Arauco llevan los sedimentos hacia la actual posición de la isla.

Del análisis de factores de vulnerabilidad, se concluye que el índice de características de la cubierta vegetal se encuentra con la mayor alteración, lo cual corresponde a un peligro para

la estabilidad del sistema de dunas. Por esto se considera primordial proteger las zonas con vegetación existente mediante señaléticas que indiquen las áreas más propensas al deterioro y revegetar con especies nativas como “la planta Doca” (*Carpobrotus aequiliterus*), método que también es óptimo para proteger los sitios con registro arqueológico. Por otra parte, el índice de presión de uso muestra valores altos que tenderán a aumentar si crece el interés turístico y tránsito de vehículos en el sector, pues de la misma forma incrementa la acumulación de basura y formación de senderos en la duna que aumentan constantemente su extensión debido a la erosión. Así también se ha evidenciado un alarmante deterioro del registro paleontológico presente en la costa.

Ante la situación expuesta, se hace indispensable seguir avanzando en la valorización y protección de los sistemas de dunas en Chile, difundir el conocimiento geológico a la comunidad y la puesta en marcha de un plan de manejo de residuos en las zonas costeras.

## 10. REFERENCIAS

BARAHONA, J., & LILLO, F. 1966. Inventario de dunas en Chile (29° 48´-41° 50´ Lat. Sur).

BARRAGÁN MUÑOZ, J. M., & CHICA RUIZ, J. A. 2013. Evaluación de los ecosistemas litorales del milenio de España: una herramienta para la sostenibilidad de la zona costera. *Eubacteria*, n° 31, 2013.

BARROS ASENJO, S., & GUTIERREZ, M. 2011. Control y forestación de dunas costeras en Chile.

BUSTOS, V., SEGUEL, Z., & VERGARA, N. 1998. Los conchales antrópicos de ostras en la micro área Raqui-Tubul, Extremo Sur del golfo de Arauco; Octava Región. Primer Seminario de Arqueología Zona Centro Sur de Chile, 41-64.

CASTRO, C. 1992. Alteración antrópica sobre las dunas chilenas y su estado de conservación. *Bosque*, 13(1), 53-58.

CASTRO, C; ZÚÑIGA, Á; PATTILLO, C. 2012. Geomorfología y geopatrimonio del Mar de Dunas de Atacama, Copiapó (27° S), Chile.

ENCINAS, A., SAGRIPANTI, L., RODRIGUEZ, M. P., ORTS, D., ANAVALÓN, A., GIROUX, P. & VALENCIA, V. (2020). Tectonosedimentary evolution of the Coastal Cordillera and Central Depression of south-Central Chile (36° 30'-42° S). *Earth-Science Reviews*, 103465.

FINGER, K. L. (2013). *Miocene foraminifera from the south-central coast of Chile*. Micropaleontology Project Incorporated.

GARCÍA, F. 1968. Estratigrafía de Chile Central. El Terciario de Chile, Zona Central. Sociedad Geológica de Chile: 25-57. Santiago.

GARCÍA-MORA, M. R., GALLEGO-FERNÁNDEZ, J. B., & GARCÍA-NOVO, F. 2000. *Plant diversity as a suitable tool for coastal dune vulnerability assessment*. Journal of Coastal Research, 990-995.

GARCÍA-MORA, M. R., GALLEGO-FERNÁNDEZ, J. B., WILLIAMS, A. T., & GARCÍA-NOVO, F. 2001. *A coastal dune vulnerability classification. A case study of the SW Iberian Peninsula*. Journal of coastal research, 802-811.

GORMAZ, M. 1974. Las dunas. Informe de la Corporación Nacional

HERVÉ, F.; FAÚNDEZ, V.; CALDERÓN, M.; MASSONE, H. & WILLNER, A. 2007. Metamorphic and plutonic basement complexes. The Geology of Chile.

JARA, J., PINEDA, V., MELNICK, D., ECHTLER, H. 2006. Evidencias sedimentológicas-ambientales del proceso de alzamiento tectónico en isla Santa María, VIII región, Chile.

KAIZUKA, S. (1973). Quaternary tectonics and recent seismic crustal movements in the Arauco Peninsula and its environs, central Chile. *Geogr. Rep. Tokyo Metropol. Univ.*, 8, 1-49.

MANRÍQUEZ-TIRADO, H. 2020. Degradación de dunas litorales de Chile central: una visión biogeomorfológica.

MARTÍNEZ, R. 1968. Edad y paleoecología del «Piso de Millongue». *Sociedad Geologica de Chile El Terciario de Chile Zona Central Coordinador; Giovanni Cecioni 1968*, 125.

MASCAYANO, M. V. P. 1983. Evolución paleográfica de la Península de Arauco durante el Cretácico Sup.-Terciario (Doctoral dissertation, Universidad de Chile).

MELNICK, D., BOOKHAGEN, B., STRECKER, M. R., & ECHTLER, H. P. (2009). Segmentation of megathrust rupture zones from fore-arc deformation patterns over hundreds to millions of years, Arauco peninsula, Chile. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(B1).

MUÑOZ-CRISTI, J. 1956. Chile. In Handbook of South American Geology. Jenks, W. (ed.). Memoirs Geological Society of America. Vol. 65: 187-214. Cincinnati.

PEÑA ALONSO, C. (2015). Diseño y aplicación de indicadores de vulnerabilidad y calidad para playas y dunas de Canarias: una propuesta metodológica (Doctoral dissertation).

QUIROZ, D., & SÁNCHEZ, M. 2004. Poblamientos iniciales en la costa septentrional de la Araucanía (6.500-2.000 ap). *Chungara (Arica)*, 36, 289-302.

RAMIREZ, C. 1992. Las dunas chilenas como hábitat humano, florístico y faunístico. Instituto de Botánica, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

RANWELL, D. S., & BOAR, R. 1986. Coast dune management guide. Institute of Terrestrial Ecology. HMSO, London, 105, 35.

ROJAS, C. 2000. Edad y Paleoecología de la Secuencia Basal de la Formación Tubul: Plioceno de Arauco, Mediante el Análisis de Foraminíferos. Memoria para optar al Título de Biólogo Marino. Universidad de Concepción, Departamento de Oceanografía (Inédito): 109 pp. Concepción.

ROJAS, M; DÍAZ, Y; NÚÑEZ, F; TAPIA, L. 2018. Análisis de proveniencia de las arenas negras de las dunas de Pangué, Provincia de Arauco, Chile. Congreso Geológico Chileno N°15, 2018, Concepción.

SALAZAR, C.; STINNESBECK, W. & QUINZIO-SINN, L. 2010. Ammonites from Maastrichtian (Upper Cretaceous) Quiriquina Formation in Central Chile. Neus Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen. Vol. 253: 181-236. Stuttgart.

TAVERA, J. 1942. Contribución al estudio de la estratigrafía y paleontología del Terciario de Arauco. In Anales del Primer Congreso Panamericano de Ingeniería de Minas y Geología (Vol. 2, pp. 580-632).

THIZNAU, A. 2020. Salvemos al Campo Dunar Gota De Leche, El Tabo. <https://chilesurf.cl/2020/06/05/salvemos-gota-de-leche/>

TORRES, J., SILVA, C., & LUCERO, M. 2007. El rol de la pesca en la intensificación de las ocupaciones costeras durante el Holoceno Medio-Tardío (Bahía de Concepción, Región del Bío-Bío, Chile). *Magallania (Punta Arenas)*, 35(1).

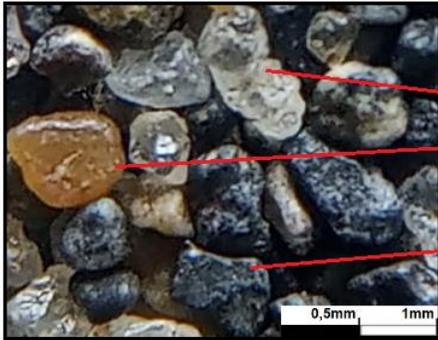
VÁSQUEZ, P. 2001. Petrología y geotermobarometría del basamento metamórfico de la Cordillera de La Costa de Chile entre los 36° 30' y 38° 00' S. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 170 pp. Concepción.

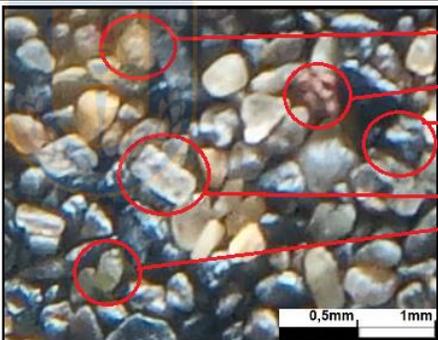
## ANEXOS

## Anexo N°1: Fichas de descripción de muestras de arena

MUESTRA Q-01				
Coordenadas				
Localidad	Quidíco-lile			
Selección	Muy bien seleccionado			
Composición	Porcentaje (%)	Moda (mm)	Redondez	Esfericidad
- cuarzo cristal de roca	60	0,5	Subredondeado	Subdiscoideal
- cuarzo con pátina de óxidos de hierro	20	0,6	Subredondeado	Esférico
- líticos basalto-and.	15	0,5	Subredondeado	Subprismático
- feldespato	5	0,4	Redondeado	Subprismático

MUESTRA I-01				
Coordenadas	36°58'41" S y 73°31'59" W			
Localidad	Isla Santa María			
Selección	Moderadamente seleccionado			
Composición	Porcentaje	Moda (mm)	Redondez	Esfericidad
- cuarzo	20	0,4	Subredondeado	subprismático
- líticos volcánicos rojizos	10	0,5		
- líticos basalto-andesíticos	60	0,5	Redondeado	Subprismático
- restos de conchas	10	1,2	Subanguloso	Subprismático

MUESTRA I-02				
Coordenadas	36°58'43" S y 73°31'58" W			
Localidad	Isla Santa María			
Selección	bien seleccionado			
Composición	Porcentaje			
- cuarzo cristal de roca	20	0,5	subredondeado	subdiscoideal
-cuarzo con pátina de óxidos de hierro	10	0,5	subredondeado	subdiscoideal
- líticos volcánicos	65	0,6	Subredondeado	subprimático
- restos de conchas	5	0,4	subredondeado	subelicoideal

MUESTRA P-01				
Coordenadas	37°50'01" S y 73°30'00" W			
Localidad	Pangue			
Selección	Muy bien seleccionado			
Composición	Porcentaje			
- cuarzo cristal de roca	15	0,4	redondeado	subdiscoideal
-cuarzo con pátina de óxidos de hierro	17	0,4	subredondeado	esférico
- olivino	5	0,2	subredondeado	subesférico
- líticos basalto-andesíticos	45	0,4	redondeado	subprismático
- restos de conchas	10	0,4	subredondeado	subelicoideal
-tobas rojizas	8	0,4	redondeado	subesférico

