



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

VALORACIÓN E INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA, DE LAS DISTINTAS RUTAS  
TURÍSTICAS DEL PARQUE NACIONAL PAN DE AZÚCAR, REGIÓN DE  
ATACAMA Y ANTOFAGASTA, CHILE.

PAULETTE CATALINA OSSES ARIAS

Copiapó, Chile 2022



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

VALORACIÓN E INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA, DE LAS DISTINTAS RUTAS  
TURÍSTICAS DEL PARQUE NACIONAL PAN DE AZÚCAR, REGIÓN DE  
ATACAMA Y ANTOFAGASTA, CHILE.

“Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para  
Obtener el título de geólogo”

Profesora guía. Dr. Paulina Fuentes Molina

PAULETTE CATALINA OSSES ARIAS

Copiapó, Chile 2022

## RESUMEN

El área estudiada es el Parque Nacional Pan de Azúcar, ubicado entre las regiones de Atacama y Antofagasta, abarcando un área de 43.754 ha de desierto costero y comunidades marinas a lo largo de la costa del norte de Chile (CONAF, 2018).

El propósito principal de este trabajo es el reconocimiento del potencial geológico del parque, con el objetivo de aumentar el valor patrimonial y entregar información geológica actualizada del área.

El Parque Nacional Pan de Azúcar está conformado por unidades geológicas que van desde el Devónico al Cuaternario. Se realizó el reconocimiento y definición de las distintas unidades geológicas presentes en el área. Posterior a la recopilación de información, se contrastaron los resultados obtenidos, con la información geológica recopilada, para posteriormente realizar un levantamiento geológico del Parque nacional Pan de Azúcar. Toda esta información se utilizó en primera instancia para generar un mapa geológico del área en una escala 1:50.000.

Posterior al levantamiento geológico, se seleccionaron tres rutas diferentes del Parque Nacional Pan de Azúcar, las cuales fueron seleccionadas por la gran concurrencia de turistas que estas tienen. En cada ruta, se realizó un afiche informativo destacando distintos aspectos geológicos. La primera ruta seleccionada, fue Quebrada del Castillo, enfocándose en los procesos de formación del Plutón Quebrada del Castillo; la segunda ruta seleccionada fue, Agua Los Sapos, explicando cómo influye la tectónica de placas en la exhumación del Complejo Epimetamórfico de Chañaral, y la última ruta, seleccionada fue Las Lomitas, siendo uno de los lugares más concurridos por los visitantes del parque. En este sector el enfoque principal es explicar los procesos de formación del acantilado costero, siendo esta la geoforma característica del Parque Nacional Pan de Azúcar. Al ser uno de los parques más visitados, es apropiado tener una mayor información del sitio, teniendo como enfoque principal el educar a la comunidad y divulgar información geológica del Parque Nacional Pan de Azúcar.

**Palabras claves:** Levantamiento geológico; potencial geológico; rutas geológicas.

## **ABSTRACT**

The studied area is the Pan de Azúcar National Park, located between the Atacama and Antofagasta regions, encompassing an area of 43,754 ha of coastal desert and marine communities along the coast of northern Chile (CONAF, 2018).

The main purpose of this work is the recognition of the geological potential of the park, with the objective of increasing the heritage value and delivering updated geological information of the area.

Pan de Azúcar National Park is made up of geological units ranging from the Devonian to the Quaternary. The different geological units present in the area were recognized and defined. After compiling the information, the results obtained were contrasted with the geological information compiled in order to subsequently carry out a geological survey of Pan de Azúcar National Park. All this information was used in the first instance to generate a geological map of the area at a scale of 1:50.000.

After the geological survey, three different routes were selected in Pan de Azúcar National Park, which were chosen because of the large number of tourists that visit them. On each route, an informative poster was made highlighting different geological aspects. The first route selected was Quebrada del Castillo, focusing on the formation processes of the Quebrada del Castillo Pluton; the second route selected was Agua Los Sapos, explaining how plate tectonics influences the exhumation of the Chañaral Epimetamorphic Complex, and the last route selected was Las Lomitas, one of the most popular places for visitors to the park.

In this sector, the main focus is to explain the formation processes of the coastal cliff, being this the characteristic geoform of the Pan de Azúcar National Park. Being one of the most visited parks, it is appropriate to have more information about the site, with the main focus being to educate the community and disseminate geological information about the Pan de Azúcar National Park.

**Keywords:** Geological survey; geological potential; geological routes.

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Contexto y problema de investigación.....	1
1.2 Hipótesis.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Ubicación y accesos.....	3
1.5 Trabajos anteriores.....	5
1.6 Metodología de trabajo.....	7
1.6.1 Etapa de gabinete I.....	7
1.6.3 Etapa de gabinete II.....	9
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 Geología del Parque Nacional Pan de Azúcar.....	11
2.2 Geomorfología del Parque Nacional Pan de Azúcar.....	16
2.3 Flora y fauna del Parque Nacional Pan de Azúcar.....	21
2.4 Arqueología del Parque Nacional Pan de Azúcar.....	22
2.5 Potencial turístico del Parque Nacional Pan de Azúcar.....	23
CAPÍTULO 3 RESULTADOS.....	26
3.1 Geología del Parque Nacional Pan de Azúcar.....	26
3.1.1 Unidades Metamórficas.....	26
3.1.2 Unidades Sedimentarias.....	29
3.1.3 Unidades Intrusivas.....	36
3.2 Geología estructural.....	46
3.3 Mapa Geológico del Parque Nacional Pan de Azúcar.....	50
3.4 Rutas geológicas del Parque Nacional Pan de Azúcar.....	51
3.5.1 Ruta sector Quebrada del Castillo.....	51
3.5.2 Ruta sector Aguada Los Sapos.....	58
3.5.3 Ruta sector Las Lomitas.....	66
CAPÍTULO 4: DISCUSIONES.....	71
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.....	74
REFERENCIAS.....	75
ANEXOS.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de ubicación y accesos. Ubicación del Parque Nacional Pan de Azúcar, con sus respectivas vías de acceso (Extraída y modificada de SASPlanet). .....	4
Figura 1.2: Mapa de división y subdivisiones de áreas de terreno (Extraída y modificada de SASPlanet). .....	8
Figura 2.2: Cartografía geomorfológica del borde costero del Parque Nacional Pan de Azúcar (Tomada de Izquierdo <i>et al.</i> , 2020). .....	20
Figura 2.3: Mapa de zonificación potencialidad turística Parque Nacional Pan de Azúcar (Tomada de Solís <i>et al.</i> , 2013). .....	25
Figura 3.1: Complejo Epimetamórfico de Chañaral. A: Primera franja aproximadamente N-S, en el margen occidental del Parque. B: Segunda franja en el oriente, alineada NW-SE. C: Tercera franja en el SW-NE del área de estudio, distribuido paralelamente a la línea de costa. Elaboracion propia. ....	28
Figura 3.2: Complejo Epimetamórfico de Chañaral. A: Sucesión de filitas y cuarcitas, con buena estratificación. ....	29
Figura 3.3: Formación Agua Chica. A: Formación Agua Chica, al N de la Quebrada Pan de Azúcar. B: Afloramiento al NNE del parque. (Elaboracion propia) .....	30
Figura 3.4: Molde observado en terreno de ammonite ( <i>Arnioceras</i> sp.) .....	31
Figura 3.5: Depósitos no consolidados de abanico aluvial, sobreyaciendo en disconformidad al basamento metamorfo. ....	33
Figura 3.6: Depósitos no consolidados coluviales en la ladera del acantilado costero. ....	35
Figura 3.7: Plutón Cifuncho. A: Contacto por intrusión con el Complejo Epimetamorfico de Chañaral (DCce). B: Dominio tonalítico, con textura pegmatítica. Destaca enclave microtonalítico al centro. C: Dominio monzonítico con textura pegmatítica, en el extremo sureste de la zona de estudio. Destacan fenocristales maclados de feldespatos potásico de tamaño grueso. ....	37
Figura 3.8: Plutón Pan de Azúcar. A: Cuerpo intrusivo elongado con dirección N-S. B: Contacto por falla con el Complejo Epimetamórfico de Chañaral. ....	40
Figura 3.9: Plutón Bufadero. Afloramiento en el extremo occidental, adyacente al acantilado costero. ....	42
Figura 3.10: Mapa de reconocimiento de lineamientos regionales. ....	47
Figura 3.11: Lineamiento NNW-SSE, que limita la Formación Agua Chica con el Complejo Epimetamórfico Chañaral. ....	49

.....	50
.....	50
Figura 3.12: Mapa Geológico Parque Nacional Pan de Azúcar (Elaboración propia). .....	50
Figura 3.13: Quebrada del Castillo. A: Justo al frente de playa Blanca está el desvío que lleva a la quebrada El Castillo. B: Punto en que se deben estacionar los vehículos y se inicia el sendero. C: Se debe seguir por la izquierda, ya que hacia el Este es una zona de protección y estudio. D: Casi al finalizar aparece un letrero con información del sendero, no lo indica pero es el final del recorrido (imágenes tomadas y modificadas de Arias, 2015). .....	52
Figura 3.14: Quebrada del Castillo. Imagen satelital, Google Earth Pro. Sendero Quebrada del castillo (Elaboración propia). .....	53
Figura 3.15: Quebrada del Castillo. Imagen satelital, Google Earth Pro. En el sendero de Quebrada del Castillo, se identifican cuatro unidades litológicas distintas: A. Depósitos litorales. B. Depósitos coluviales y aluviales modernos. C. Complejo Epimetamórfico de Chañaral. D. Plutón Quebrada del Castillo (Elaboracion propia). .....	54
Figura 3.16: Plutón Quebrada del Castillo, roca de composición monzogranito (Elaboracion propia). .....	56
Figura 3.17: Afiche informativo Quebrada del Castillo. ....	57
Figura 3.18: Aguada Los Sapos. A. Sendero delimitado por piedras. B. Desvío señalado con un cartel con una flecha. C. Sendero se conecta con un camino vehicular. D. Barrera con un cartel informativo que indica el inicio del sendero hacia la Aguada Los Sapos. E. Punto final de este sendero en que se llega a un lugar de frondosa vegetación (Imágenes tomadas y modificadas de Arias, 2015). .....	59
Figura 3.19: Quebrada Aguada Los Sapos. Imagen satelital, Google Earth Pro. Sendero Quebrada Aguada Los Sapos (Elaboración propia). .....	60
Figura 3.20: Aguada Los Sapos. Fragmento de Mapa Geológico del Parque Nacional Pan de Azúcar. A. Depósitos coluviales y aluviales modernos. B. Complejo Epimetamórfico de Chañaral (Elaboración propia). .....	61
Figura 3.21: Corrientes de Turbidez. A. Flujos turbidíticos abisales. B. Depositos turbidítico (Elaboracion propia). .....	62
Figura 3.22: Distribución de facies turbidíticas (Abanico submarino) (Elaboración propia).....	62
Figura 3.23: Prisma de acreción, el cual se originan en la zona de subducción. ....	64
Fugura 3.24: Afiche informativo Aguada Los Sapos. ....	65

Figura 3.25: Las Lomitas. A. Barrera que no permite continuar en vehículo. B. El sendero se comienza a ondular. C. Primer descanso con sombra. D. Variedad de flora nativa. E. Mirador sobre el farellón de 800 m s.n.m. Vista panorámica, desde el farellón. (Imágenes tomadas y modificadas de Arias, 2015)..... 67

Figura 3.26: Farellón costero. A: Alzamiento de un promontorio rocoso que, al elevarse sobre el nivel del mar, cerca de la línea de costa, comienza la erosión litoral del macizo. B. Las olas van erosionando la roca por baja hasta producir derrumbes. C. Choque de las olas con las paredes, creando una zona de abrasión que irá destruyendo la base que sostiene la pared. Está terminará destruyéndose y formará una plataforma de abrasión. Línea segmentada, indica la posición anterior de la roca (Elaboración propia). ..... 68

Figura 3.27: Afiche informativo Las Lomitas. .... 70

## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.**

### **1.1 Contexto y problema de investigación.**

El 07 de octubre de 1985 fue creado el Parque Nacional Pan de Azúcar, abarcando un área de 43.754 ha de desierto costero y comunidades marinas a lo largo de la costa del norte de Chile, entre la región de Antofagasta y la región de Atacama (CONAF, 2018). Este parque cuenta con una flora y fauna diversa, que incluye a lo menos 207 especies de plantas vasculares, así como también poblaciones animales, dentro de la cuales encontramos poblaciones de guanacos, zorros, mamíferos marinos y diversidad de aves, con al menos 27 especies residentes (Rundel *et al.*, 1996).

En el área se han realizados diversos estudios geológicos, siendo Mercado (1978), la primera en realizar un levantamiento geológico del Parque Nacional Pan de Azúcar, definiendo varias unidades litológicas. Entre ellas se encuentra el basamento metasedimentario de periodo Paleozoico, conformado por unidades de cuarcitas, filitas con intercalaciones de metacalizas y filitas-cuarcitas que abarca gran parte del parque, también identifica depósitos de lava correspondientes a la Formación Agua Chica del Triásico y depósitos marinos de periodo Jurásico que son parte de la Formación Pan de Azúcar. Posterior a este trabajo, Godoy y Lara (1998) realizaron el levantamiento geológico del área Chañaral y Diego de Almagro, donde incluyen un área regional, entregando información de las edades, distribución, y mayor descripción de algunas unidades del parque, también Contreras *et al.*, (2013), realizaron el levantamiento geológico de Cifuncho, el cual abarca el área norte del parque, siendo esta la información geológica más actualizada.

Desde la creación del Parque Nacional Pan de Azúcar, se han realizado diversos estudios, enfocándose principalmente en la flora y fauna del sector. Según lo dispuesto en el Decreto N° 527 de 1986 en cuanto a los antecedentes que afectan y declaran al Parque Nacional Pan de Azúcar, se establece:

“En las regiones de Antofagasta y Atacama, no existen áreas silvestres protegidas y que el área propuesta sólo representa un 0,2% de la superficie total de ambas regiones; Que, el área propuesta corresponde a la Región Ecológica denominada "Región del Desierto", siendo la única de las ocho Regiones

Ecológicas existentes en el país que está insuficientemente protegida y muy mal representada dentro del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (CONAF, 2018)”.

Tomando esto en consideración, es de suma importancia tener mayor información del área silvestre protegida. En primera instancia se debe obtener información de la geología del Parque Nacional Pan de Azúcar, se realizará un levantamiento geológico en el área, describiendo las distintas unidades geológicas, tomando datos estructurales e identificando las geoformas presentes en el parque. Una vez obtenida la información, se realizará un mapa geológico actualizado del área, con esta información se pretende determinar la implicancia que tiene la geología en la conservación y preservación de la flora y fauna del sector. Asimismo, con la información geológica recopilada, se realizarán tres afiches informativos de tres rutas diferentes, con el objetivo de entregar un contexto geológico de las principales rutas turísticas que posee el parque.

Teniendo todos estos antecedentes, será posible divulgar información geológica a los visitantes del parque, considerando que es de suma importancia cuidar y proteger la Región Ecológica denominada "Región del Desierto", y de igual forma que puedan entender el origen y los procesos de formación de los diversos e increíbles paisajes que nos entrega el Parque Nacional Pan de Azúcar.

## **1.2 Hipótesis**

Se hipotiza que el Parque Nacional Pan de Azúcar, cuenta con una geología privilegia y completa, teniendo una gran valoración patrimonial. Además, se postula que la geología del área es el pilar fundamental para la preservación de la Región Ecológica denominada "Región del Desierto".

### **1.3 Objetivos**

#### 1.3.1 Objetivo general

- Determinar el potencial geológico de las rutas turísticas del Parque Nacional Pan de Azúcar.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Reconocer y definir unidades geológicas del área.
- Relacionar los resultados geológicos obtenidos, con la información previamente recopilada, para realizar un levantamiento geológico actualizado.
- Generar afiches geológicos, de tres rutas turísticas del Parque Nacional Pan de Azúcar.
- Difundir la información obtenida, de las tres rutas turísticas del Parque Nacional Pan de Azúcar.

### **1.4 Ubicación y accesos**

El área de estudio está ubicada en la costa de las regiones de Antofagasta y Atacama, específicamente entre la comuna de Taltal y Chañaral. En las coordenadas UTM norte de la localidad de Chañaral y al sur de Taltal entre las coordenadas UTM 7.093.000 – 7.133.000 N y 350.000 – 331.000 E (Datum WGS 84, 19S), aproximadamente a 80 km al N de la ciudad de Chañaral.

Desde la comuna de Copiapó, se recorren un total de 164 kilómetros a través de la ruta-5 (Panamericana norte). Al llegar a Chañaral se toma la ruta C-120, recorriendo alrededor de 27.6 kilómetros hacia la entrada del Parque Nacional Pan de Azúcar (Figura 1.1).



Figura 1.1: Mapa de ubicación y accesos. Ubicación del Parque Nacional Pan de Azúcar, con sus respectivas vías de acceso (Extraída y modificada de SASPlanet).

## 1.5 Trabajos anteriores

**Arabasz, (1971).** Realizó el estudio geofísico y geológico de la zona de la falla de Atacama en el norte de Chile, este estudio describe con bastante detalle con un mapa de 1:100.000 la franja de la Falla de Atacama. Además de describir su geometría a lo largo del territorio y descripción de la geomorfología presente.

**Mercado, M. (1978).** Realizó la geología del área de Pan de Azúcar, región de Atacama.

**Rundel *et al.* (1996).** Estudiaron la flora y vegetación del Parque Nacional Pan de Azúcar en el desierto de Atacama. Se realizó un estudio en el parque, con el objetivo de comprender la diversificación de la flora, en relación con el clima del sector.

**Godoy, y Lara. (1998).** Realizaron el levantamiento geológico de Chañaral y Diego de Almagro, abarcando la parte sur del Parque Nacional Pan de Azúcar.

**CONAF (2002).** Realizaron un plan de manejo del Parque Nacional Pan de Azúcar busca dar a conocer sus objetivos y planes de trabajos en función a la conservación del parque.

**Thompson *et al.* (2003).** Estudiaron el clima plurianual en el Parque Nacional Pan de Azúcar, desierto de Atacama, Chile. Donde indican la reducción o el aumento en la elevación máxima de la camanchaca o un cambio en el régimen de lluvias en Parque Nacional Pan de Azúcar.

**Suarez *et al.* (2010).** Realizaron la estratigrafía de la cordillera de la costa, al sur de Taltal, Chile; etapas iniciales de la evolución andina, esta investigación se centró en la descripción de las zonas donde quedó registro de las primeras etapas del ciclo andino.

**Contreras *et al.* (2013).** Describieron litologías, estructuras geológicas, edades de las respectivas unidades geológicas definidas, recursos minerales, entre otras, en un mapa geológico de escala 1:100.000 (Carta geológica Cifuncho). Este trabajo se localiza entre las regiones de Antofagasta y Atacama, entre los 25°30'-25°00'S y 70°30'- 70°45'O.

**Solís *et al.* (2013)** Realizaron una evaluación multicriterio de la potencialidad turística de un territorio. Caso de estudio Parque Nacional Pan de Azúcar, región de Atacama. Chile.

**Espinoza et al. (2014)** Realizaron el levantamiento geológico de Cerro del Pingo, describe litologías, estructuras geológicas, edades de las respectivas unidades geológicas definidas, recursos minerales, entre otras, en un mapa geológico de escala 1:100.000. Este trabajo se localiza entre las regiones de Antofagasta y Atacama, entre los 25°30′-26°00′S y 70°00′- 70°30′O.

**Ramírez et al. (2015)** Realizaron un levantamiento estratigráfico y litofacies de las formaciones Pan de Azúcar, Posada de los Hidalgo y La Negra, al sur de Taltal. El volcanismo jurásico en la zona sur de Taltal está representado por las formaciones Posada de los Hidalgos y La Negra, depositadas sobre sedimentos marinos de la Formación Pan de Azúcar.

**CONAF (2018)**. Realizaron un plan de manejo del Parque Nacional Pan de Azúcar, busca dar a conocer sus objetivos y planes de trabajos en función a la conservación del patrimonio silvestre del parque.

**Arróspide, C. (2019)**. Estudio el origen y evolución del gran acantilado costero en el Parque Nacional Pan de Azúcar, Norte de Chile (~ 26° S). Realizo la reconstrucción del relieve pretérito y modelamiento de la erosión marina.

**Izquierdo et al. (2020)**. Es uno de los estudios más recientes del parque, enfocándose en la evolución de las distintas geoformas presentes en el parque controladas por el clima, las variaciones del nivel del mar y el alzamiento de la Cordillera de la Costa.

## **1.6 Metodología de trabajo**

### **1.6.1 Etapa de gabinete I**

Esta primera etapa consistió en la recopilación bibliográfica general sobre las diferentes litologías y estructuras del área de estudio. Simultáneamente se realizó la base de mapeo a escala 1:200.000 utilizando una imagen satelital, obtenida mediante el software SASPlanet. Esta imagen se referenció bajo el sistema de coordenadas WGS84- UTM, zona 19S con el software Arcgis 10.5. Una vez tratada la imagen e interpretada fue posible trazar áreas de interés dentro de ésta, con el fin de hacer óptimo el tiempo en terreno.

### **1.6.2 Etapa de terreno**

Esta etapa consistió en 10 días de terreno en el Parque Pan de Azúcar. El terreno se llevó a cabo en el periodo de diciembre del año 2018, durante este periodo se realizó un levantamiento geológico del área de estudio.

El área de estudio se dividió en dos sectores: sector norte (SN) y sector sur (SS). Adicionalmente cada sector fue subdividido; en 6 áreas para el sector norte y 8 áreas para el sector sur (Figura 1.2).

El mapeo de cada área se realizó a una escala 1:10.000, enfocándose en los lugares de mayor interés geológicos. El levantamiento de información, se centró principalmente en el reconocimiento y descripción de unidades geológicas, contactos litológicos y geoformas predominantes. También se identifican las estructuras presentes en las rocas, midiendo con brújula, ya sean fallas o actitud de diques. Por último, se realizó una toma de datos estructurales, con el objetivo de realizar un análisis estructural del Parque Nacional Pan de Azúcar. Simultáneamente, se extrae muestra de mano, registrando las coordenadas mediante GPS, para así referenciar la información recolectada en terreno.

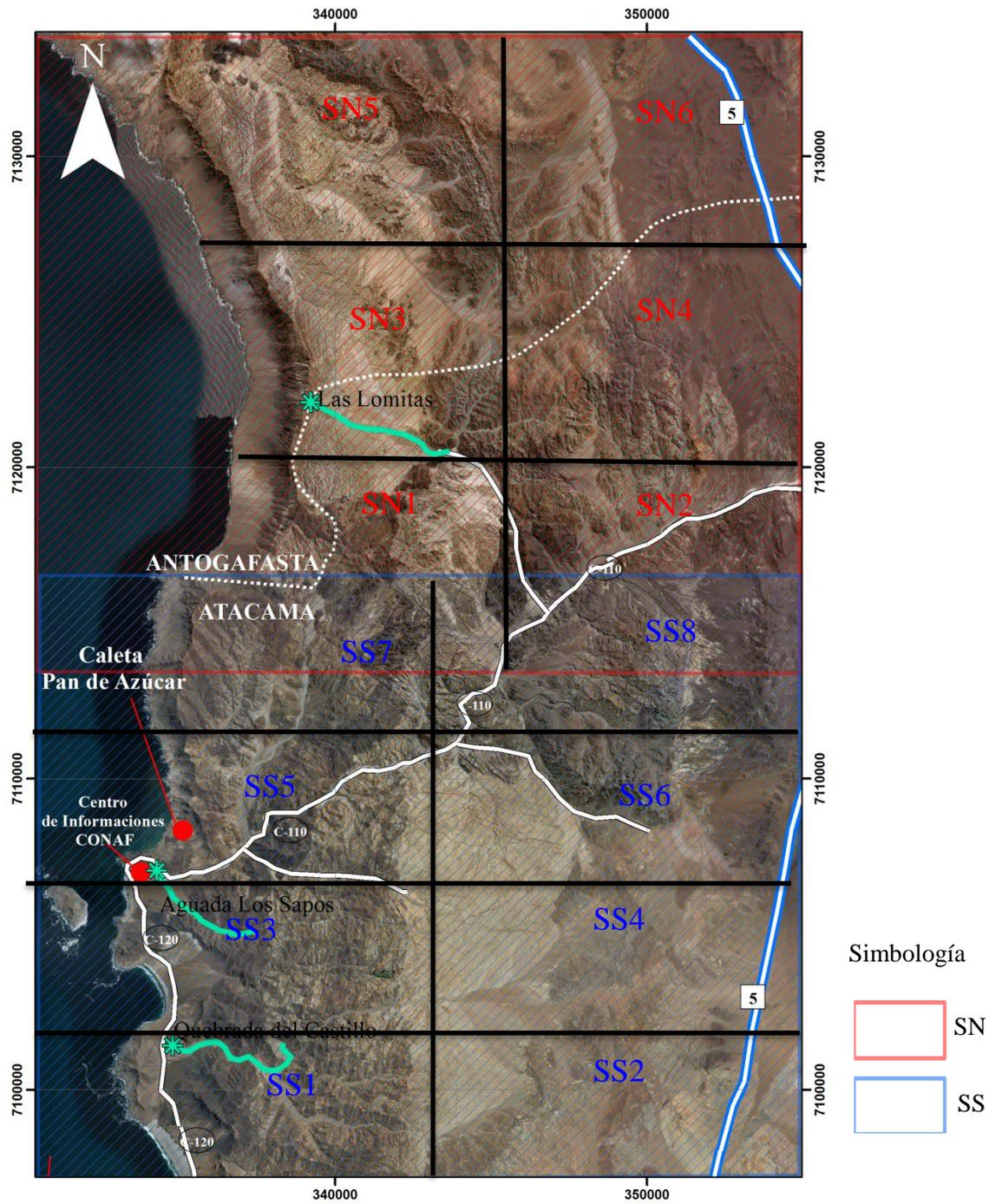


Figura 1.2: Mapa de división y subdivisiones de áreas de terreno (Extraída y modificada de SASPlanet).

### 1.6.3 Etapa de gabinete II

Esta etapa se dividirá en dos sub etapas:

Sub etapa 1: En esta etapa se recopiló toda la información y datos, obtenidos en el terreno para ser interpretada y poder comprender la geología presente en el área de estudio.

Con el apoyo de la bibliografía recopilada en la etapa de gabinete I, se procede a realizar la descripción de las unidades. Paralelo a la definición de unidades, se realizó una unificación de los mapas realizados en terreno, para generar un mapa completo del Parque Nacional Pan de Azúcar. Al unificar los mapas de terreno, se pudo identificar algunos sectores que no fue posible ingresar, por motivos logísticos, es por esta razón que se utilizaron imágenes satelitales, realizando foto interpretación, con el objetivo de complementar la falta de información.

Finalmente se realizará un mapa escala 1:50.000 enfatizando la geología del parque, generando un mapa actualizado del Parque Nacional Pan de Azúcar.

Sub etapa 2: En la segunda etapa, se utilizará la información recopilada en la primera sub etapa, para generar 3 afiches informativos, con un enfoque geológico del Parque Nacional Pan de Azúcar.

Se utilizarán tres rutas, considerando que son las más visitadas por los turistas del parque, esto se llevara a cabo con la finalidad de entregar un contexto geológico, de manera didáctica y simplificada, a los visitantes del parque. La finalidad, de los afiches, es entregar información y un contexto geológico de las distintas de las distintas rutas, considerando que esta información, es de suma importancia para poder cuidar y valorar la geología existente en el Parque Nacional Pan de Azúcar.

La selección de las rutas, es basándonos en la concurrencia de los turistas en estas áreas, y también en los aspectos geológicos y unidades geológicas que podemos enfatizar.

Las rutas generadas, abarcan los siguientes sectores:

- **Quebrada del Castillo:** Este afiche, se enfoca en los procesos geológicos, que actúan para la formación del Plutón Quebrada del Castillo.
- **Aguada Los Sapos:** Específicamente se explicará cómo actúa la tectónica de placas, enfocándose en la exhumación del Complejo Epimetamórfico de Chañaral, a través de distintos esquemas explicaremos, como una secuencia turbidítica distal caóticamente deformada, se encuentra en el continente.
- **Las Lomitas:** El afiche se enfocará en la geofoma característica del Parque Nacional Pan de Azúcar, explicando los procesos de formación del acantilado costero.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Geología del Parque Nacional Pan de Azúcar

El margen continental de Chile Central (26°-35°) ha estado controlado por el sistema de subducción de corteza oceánica bajo corteza continental al menos desde el Jurásico temprano hasta la actualidad, condicionando así la evolución tectónica, magmática, volcánica y geográfica del territorio (Coira *et al.*, 1982; Charrier *et al.*, 2007).

El área de estudio se encuentra inmersa en la parte norte del segmento de subducción plana o *flatslab* (26°-33°S) (Pardo *et al.*, 2002) asociado a la subducción del dorsal de Juan Fernández bajo la Placa Sudamericana desde los 12 Ma, esta condición determina en algún grado los rasgos morfológicos observados a estas latitudes.

Desde el punto de vista regional, las rocas que afloran en el entorno del parque comprenden edades desde el Paleozoico hasta el Cenozoico. El Parque Nacional Pan de Azúcar, se caracteriza por poseer una serie de formaciones geológicas conformadas por rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias. Mercado (1978), definió ocho unidades geológicas, las cuales van desde el Paleozoico al Cuaternario. La geología de este dominio andino se caracteriza por la presencia de un basamento metamórfico de edad paleozoica intruido por cuerpos plutónicos de edad Pérmico-Jurásico (Godoy y Lara, 1998).

El Paleozoico en el área de estudio se manifiesta en una franja aproximadamente N-S en la cordillera de la Costa, constituida por rocas metasedimentarias pertenecientes a la Formación Las Tórtolas, con un rango de edad Devónico - Carbonífero (Ulriksen, 1979 en Naranjo y Puig, 1984), o su equivalente deformado el Complejo Epimetamórfico Chañaral (Godoy y Lara, 1998), descrito como una “asociación petrotectónica principalmente metaturbidítica, que incluye facies de mélange, con escasa proporción de metabasitas y metacalizas”. Se asignó una edad Ordovícica - Devónica con base a la fauna fósil identificada en las quebradas del Gritón y Cachina (Covacevich, 1982; Bell, 1982; Naranjo y Puig, 1984). Posteriormente, mediante dataciones radiométricas en circones se obtienen edades mínimas de 284 Ma (Carta Cifuncho, Contreras *et al.*, 2013) y máximas de 358 Ma (Carta Cerro del Pingo, Espinoza *et al.*, 2014).

Carreño (2012), describió con mayor detalle el basamento del área, relacionando la subducción existente entre la placa protopacífica y el margen occidental activo de Gondwana, desarrollando un prisma de acreción Paleozoico que originó el Complejo Epimetamórfico Chañaral con un rango de edad Devónico - Carbonífero. El prisma de acreción asociado a un ambiente de plataforma abisal y talud continental con potentes depósitos de secuencias turbidíticas, provocadas por el deslizamiento de sedimentos submarinos a través del talud, esto generado por el acomodamiento del arco volcánico en el margen occidental del *terrane* Chilenia (Mpodozis y Kay, 1992). En los prismas de acreción el transporte de sedimentos provenientes desde el continente es controlado por deslizamientos submarinos, flujos de detritos y corrientes de turbidez. Estructuralmente, los prismas de acreción son esencialmente fajas plegadas y corridas compresionales, donde estas fallas y pliegues, en general, presentan una vergencia hacia la placa oceánica subductante (Underwood y Moore, 1995). La subducción prolongada, en las regiones donde los sedimentos abundan, puede engrosar el prisma de acreción bastante como para que sobresalga por encima del nivel del mar (Cloos y Shreve, 1988).

Posterior al ciclo Gondwánico, existen distintas teorías de la configuración geotectónica durante el Pérmico superior y el Jurásico inferior, y como tuvo lugar la acreción de bloques corticales en el margen oriental del supercontinente Gondwana y la consolidación de Pangea, genero la interrupción total o una extrema lentitud en la subducción durante el Pérmico Superior y Jurásico inferior (ciclo pre-andrino) Charrier *et al.*, (2007). Según Berg y Breitskreutz, (1983) y Berg *et al.*, (1983), las condiciones del ciclo pre-andino favorecieron a la acumulación de calor en el manto superior, la fusión de la corteza inferior y la generación de enormes volúmenes de magma a lo largo de la costa de Chile.

En el Parque Nacional Pan de Azúcar, el ciclo pre-andino, se encuentra representado, por granitoides del Grupo Plutónico Cifuncho del Pérmico que afloran principalmente en la Cordillera de la Costa, al sur de los 25°30'S, el cual se encuentra intuyendo al Complejo Epimetamórfico de Chañaral (Naranjo y Puig, 1984). En la ladera sur del Cerro del Soldado, aflora, el Plutón Quebrada del Castillo (265-250 Ma?), son monzo a sienogranitos de biotita y muscovita, grano grueso y color ocre claro, con abundantes filones aplíticos. Constituyen un mega enclaves, elongados en dirección NNE, de 2 x 10 km en los

monzogranitos triásicos del Plutón Pan de Azúcar. Para este intrusivo, Berg y Baumann (1985) obtuvieron una edad Rb-Sr en sianogranitos al sur del Cerro Soldado de  $264 \pm 9$ Ma.

Como consecuencia del ciclo pre-andino, se produjo condiciones extensiones que provocaron el colapso del orógeno, desarrollándose cuencas tipo rift donde se acumularon potentes secuencias continentales y marinas con orientación NNW-SSE asociadas a líneas de debilidad del basamento (Charrier *et al.*, 2007). En el área de estudio está representado por la Formación Agua Chica descrita por Mercado (1978) como una secuencia integrada principalmente de rocas volcánicas. Contreras *et al.*, (2013) en términos cronológicos la correlaciona con la Formación Cifuncho, por lo que se asume una edad Triásico tardío. Durante el Jurásico se depositan sedimentitas de la Formación Pan de Azúcar. Ramírez *et al.*, (2015) definieron la Formación Pan de Azúcar, como sedimentitas marinas de edad Hettangiano-Sinemuriano, las cuales incluyen sedimentitas calcáreas, lavas porfíricas almohadilladas, hialoclastitas, peperitas y brechas hialoclásticas, litofacies que indican un ambiente marino, sobre las cuales yace concordantemente un importante volumen de andesitas y brechas pertenecientes a la Formación La Negra (García, 1967), la cual corresponde a una franja continua de 8 a 18 km de ancho de lavas, con intercalaciones de brechas y rocas sedimentarias, dispuestas al oeste de la traza principal del SFA. El material fosilífero sugiere una edad máxima sinemuriana – pliensbachiana inferior para la base de la Formación La Negra (Covacevich, 1982; Naranjo y Puig, 1984). Godoy y Lara (1998), identifican una secuencia de lavas de composición andesítica-basáltica e intercalaciones sedimentarias marinas carbonatadas, identificada como Formación La Negra, de edad Jurásico medio- Jurásico superior, la formación sobreyace concordantemente la Formación Pan de Azúcar y en discordancia con el Complejo Epimetamórfico Chañaral.

Durante el Triásico temprano se produce el cese de la subducción producto del ensamblaje del supercontinente Pangea a fines del Paleozoico, en donde las condiciones magmáticas y volcánicas se volvieron estables, hasta que, en el Triásico tardío, producto de la desintegración de Pangea, se reactiva la subducción y junto con ello, nuevos cuerpos intrusivos en el arco volcánico del margen occidental de Gondwana (Charrier, 1979; Kay *et al.*, 1989; Jaillard *et al.*, 1990). Estos cambios fueron acompañados por el cambio de compresión dominante (Carbonífero - Pérmico temprano) a tensiones transtensionales (Pérmico medio - Jurásico) en la corteza superior, lo que sugiere que el margen pasó de

avanzar a retirarse debido a la reorganización y ruptura de Pangea. Después de un posible evento de losa plana, el retroceso puede haber inducido la extensión en la corteza superior y la pérdida litosférica como consecuencia de la laminación o erosión térmica (Oliveros *et al.*, 2020). La información geocronológica de Oliveros *et al.*, (2020) muestra una calma magmática significativa cerca del límite Triásico-Jurásico, asociada con la retracción del arco a la actual Cordillera de la Costa.

La Cordillera de la Costa consiste en un remanente de arco magmático del Jurásico inferior – Cretácico inferior, formado al comienzo de los Andes modernos (Coira *et al.*, 1982; Mpodozis y Ramos, 1989), con grandes complejos plutónicos dioríticos y granodioríticos y secuencias volcánicas Jurásicas de lavas andesíticas a basálticas (García, 1967; Godoy y Lara 1998). Este arco fue emplazado sobre rocas metamórficas Precámbricas y sedimentarias Paleozoicas durante un periodo de rifting (García, 1967; Godoy y Lara, 1998; Pankhurst *et al.*, 1988).

Desde el Jurásico inferior hasta el presente se desarrolla el ciclo Andino. El inicio del ciclo Andino comienza cuando finaliza el periodo de estabilidad en el margen continental, produciendo la reactivación de la subducción como resultado se genera el arco magmático paralelo al margen oeste de Gondwana y una cuenca de trasarco al este (Charrier *et al.*, 2007). El inicio del ciclo andino en el parque está representado por la Formación La Negra, es una unidad volcano-sedimentaria. A partir de la segunda subetapa de la primera etapa del ciclo Andino, el arco magmático de La Negra se desplaza hacia el este y disminuido volumétricamente, depositándose las rocas volcánicas y volcanoclasticas de la Formación Punta del Cobre, denotando una actividad volcánica continua durante el Jurásico superior al Cretácico inferior (Godoy y Lara, 1998).

A partir de la reactivación tectónica se comenzó a producir un continuo alzamiento tectónico producto de la subducción tipo mariana, y una elevada actividad volcánica, lo que trajo consigo el emplazamiento de una serie de plutones. El Grupo Plutónico Cerro del Pingo es descrito como un gran batolito cretácico que incluye dioritas, granodioritas y adamelitas (Ulriksen, 1979). Intruyen a las formaciones Las Tórtolas, y a granitoides del Grupo Plutónico Cifuncho. Las edades radiométricas restringen su edad al Cretácico temprano (Naranjo y Puig, 1984).

Todas estas unidades se encuentran afectadas por el Sistema de Falla de Atacama, el cual posee una componente transcurrenente sinestral (Amand y Allen, 1960 en Naranjo y Puig, 1984). La erosión de estas rocas ha dado origen a un gran volumen de sedimentos semiconsolidados y no consolidados correspondientes a las Gravas de Atacama (Mortimer, 1973) y, en menor proporción, a gravas y arenas que conforman el relleno actual de quebradas y planicies.

El registro Neógeno – Cuaternario en la Cordillera de la Costa da cuenta de las condiciones continentales hiperáridas predominantes, donde varias cuencas internas que se componen de depósitos aluviales están cubiertas localmente por depósitos evaporíticos (Chong *et al.*, 1999; Hartley y Chong, 2002).

En el área del Parque Nacional Pan de Azúcar se observan depósitos de terrazas aluviales, donde se distinguen dos unidades que yacen concordantemente entre sí. La unidad inferior corresponde a depósitos polimícticos de gravas, arenas y limos moderadamente consolidados, que conforman terrazas “colgadas” en los sectores altos de valles y quebradas principales (Mercado, 1980; Contreras *et al.*, 2013). Se le asigna una edad miocena media a superior, depositándose en un ambiente fluvial, probablemente bajo un clima de altas precipitaciones (Mercad, 1980). La unidad superior está constituida por gravas de clastos angulosos y arena gruesa, no litificados, y cementados, localmente, por carbonato de calcio (Mercado, 1980; Contreras *et al.*, 2013). Forman grandes planicies de baja pendiente cortadas por la red de drenaje actual de carácter torrencial y ocasional (Contreras *et al.*, 2013). La edad asignada es post-miocena, acotándose al Mioceno tardío y Pleistoceno (Mercado, 1980; Contreras *et al.*, 2013). Esta unidad se habría depositado en un ambiente climático árido, similar al actual, y continental.

En el Plioceno-Pleistoceno, se depositan los depósitos coluviales modernos, están distribuidos en toda el área de estudio y corresponden a un conjunto heterogéneo de gravas, arenas y limos. Su origen se debe a procesos gravitacionales, productos de la denudación e incisión del paisaje preexistente y responden al desmoronamiento producido por la inestabilidad que generan corrientes o cursos de aguas esporádicos que remueven abundante material (Contreras *et al.*, 2013), en el mismo periodo, se depositan los Deposito aluviales (activos), incluyen niveles de origen fluvial, llanuras aluviales y depósitos torrenciales asociado a corrientes de barro; estos están compuestos por gravas, arenas y limos, de una

selección variable. Hacia la costa se engranan lateralmente con Depósitos litorales y Depósitos coluviales (Godoy y Lara, 1998). Las gravas son matriz soportadas y corresponden a depósitos originados por diferentes tipos de remociones en masa, como flujos hiperconcentrados, flujos de detritos y flujos de barro de ocurrencia esporádica (Contreras *et al.*, 2013); además de cursos de aguas esporádicas de lluvias ocasionales (Mercado, 1980). También, se forman como abanicos coalescentes, ocupando extensas planicies y llanuras (Naranjo y Puig, 1984).

Por último, los depósitos sedimentarios más nuevos, que serían depósitos litorales, corresponden a depósitos marinos de ~2 m de espesor, compuestos por arenas, limos, coquinas, todas estas intercaladas en lentes de hasta ~30 cm y conglomerados clastos soportados, polimícticos con bolones y gravas redondeadas a subredondeadas (Godoy y Lara, 1998). En el trabajo de Contreras *et al.*, (2013), define los depósitos litorales del sector norte del parque, definiéndolos como depósitos sedimentarios clásticos de carácter terrígeno y bioclástico; los fragmentos terrígenos son bien redondeados, constituido por escasas gravas y abundante arena desde gruesa a media, que han sido acumulados en el borde costero y la zona intermareal. Los fragmentos bioclásticos son restos de conchas de bivalvos, equinoideos y gasterópodos. Debido a que son depósitos activos, se les asigna una edad holocena.

## **2.2 Geomorfología del Parque Nacional Pan de Azúcar**

Los estudios geomorfológicos en el área se enfocan principalmente en el acantilado costero, el cual conforma un elemento geomorfológico sobresaliente e imponente de la zona de estudio y la región. Allmendinger y González, (2010), definen el acantilado costero, como un rasgo morfoestructural inactivo en el Parque Nacional Pan de Azúcar con altitudes promedio de 800 m s.n.m., pero que alcanza hasta 1.000 m s.n.m en algunos sectores del Norte Grande de Chile.

El margen litoral a lo largo del norte de Chile se exhibe un imponente acantilado costero, que se extiende prácticamente de manera continua por más de 1.000 km entre Arica y Chañaral (Figura. 2.1A; Paskoff, 1978). El acantilado costero está limitado hacia el oeste por la rasa costera, en gran parte sumergida bajo el Océano Pacífico, y hacia el este por la Cordillera de la Costa (Figura. 2.1B).

Los acantilados corresponden a un rasgo geomorfológico de gran envergadura del margen litoral, presentándose en un 80% de las costas del mundo (Emery y Kuhn, 1982). Son forjados típicamente por procesos de erosión marina, particularmente como el movimiento progresivo de las líneas de costa tierra adentro debido al alza del nivel del mar (Hampton y Griggs, 1963).

Por otra parte, el acantilado costero, no es el único rasgo geomorfológico del área de estudio. Izquierdo *et al.*, (2020) identifica adicionalmente terrazas marinas y el desarrollo de formas activas, con predominio del modelado eólico y fluvial-aluvial sobre el litoral.

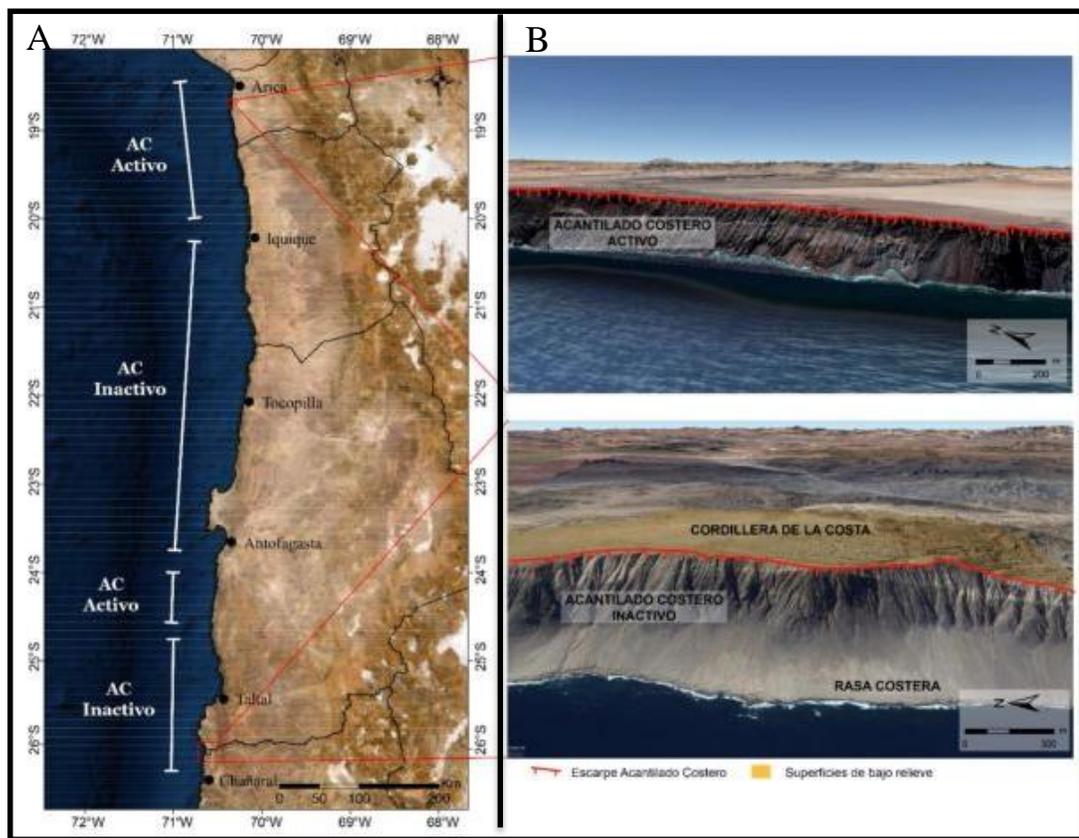


Figura 2.1: A: Segmentación del acantilado costero a lo largo del norte de Chile. B: Imagen satelital de Google Earth con los elementos morfológicos litorales característicos del Norte Grande de Chile; Superior: Acantilado costero activo al norte de la Quebrada Vitor, Inferior: Acantilado costero inactivo al norte de la Quebrada Pan de Azúcar (Tomada y modificada de Arróspide, 2019).

Rundel *et al.*, (1996), describen que el margen occidental del Parque Nacional Pan de Azúcar se caracteriza por un farellón costero, con una altura promedio de 850 m s.n.m. que puede o no tener antepuestas terrazas marinas. Específicamente al interior del farellón costero CONAF (2002), identifica cuatro unidades topográficas, las cuales guardan relación con diferentes especies de flora y fauna (aguadas, asociaciones de cactáceas, laderas pedregosas y quebradas interiores); siendo estas unidades topográficas de suma importancia para la flora y fauna. Otros hábitats que se generan son los acantilados y zonas rocosas, bahías, ensenadas, playas, dunas y marismas, las cuales desempeñan un papel importante en el ciclo de vida de una diversidad de peces, moluscos y aves migratorias (Lara-Lara *et al.*, 2008).

La cordillera de la costa se presenta como un rasgo discontinuo e impreciso del terreno, con elevaciones promedio de 800 m s.n.m. Producto de la erosión del sector costero se ha conformado una isla, denominada Pan de Azúcar, ubicada a escasa distancia de la costa (GoChile, 2011). La isla Pan de Azúcar, presenta un largo de 2 km y 1 km de ancho aproximadamente y un perímetro de 4.8 km, con una morfología subtriangular, y una elevación promedio de 160 metros (CONAF, 2018).

Los estudios realizados por CONAF (2018), indicaron que a partir del límite este de la Cordillera de la Costa del Parque Nacional Pan de Azúcar, hacia el mar se forman serranías dando lugar a extensas planicies litorales. Las sierras o serranías se caracterizan por ser un conjunto de cumbres formadas por quebradas bastante pronunciadas y, por ser el refugio de la vegetación a zonal que se encuentra presente en las aguadas que surgen en los fondos de sus quebradas. Su geomorfología permite la penetración de la camanchaca hacia el interior de la unidad a través de corredores de niebla formados por sus quebradas transversales. La presencia de camanchaca en estos sectores produce hábitats muy particulares, permitiendo el desarrollo de una vegetación característica y en gran parte ajena a los efectos de las lluvias esporádicas (Grau y Zizka, 1992).

Los estudios recientes de Izquierdo *et al.*, (2020) analizaron la geomorfología del borde costero del Parque Nacional de Pan de Azúcar (Figura.2.2), permiten describir varias etapas en su evolución geológica reciente, principalmente controladas por el clima, las variaciones del nivel del mar y el alzamiento de la Cordillera de la Costa. Inferieron 4 etapas en la evolución geológica reciente del Parque Nacional Pan de Azúcar: (1) Pleistoceno

medio: representada por la terraza marina alta (~ 60 m s.n.m.), asignada por autores previos al MIS-7 (200 ka); (2) Pleistoceno superior (MIS-5): caracterizada por la aparición de la terraza marina media (~30 m s.n.m) y un periodo de estabilidad tectónica o subsidencia hasta el inicio de la Alta Parada Marina del MIS-3; (3) Pleistoceno superior (MIS-3 a MIS-2): Aceleración de la tasa de alzamiento tectónico, que se estima en ~1 m/ka y formación de la terraza marina baja durante la Alta Parada Marina asociada al MIS-3. Se produce la progradación de sistemas litorales sobre facies marinas hace 44 ka y un marcado descenso del nivel del mar asociado a la Última Glaciación (20 ka); y (4) Pleistoceno terminal-Presente (MIS-1): Transgresión holocena y establecimiento del nivel del mar actual, acompañada de la formación del acantilado marino holoceno.

Las primeras fases se refieren a los episodios de formación de tres generaciones de terrazas marinas, mientras que la última etapa involucra el presente interglaciar, el establecimiento del nivel del mar actual, la formación del acantilado marino Holoceno y el desarrollo de formas activas, con predominio del modelado eólico y fluvial-aluvial sobre el litoral del sur del desierto de Atacama.

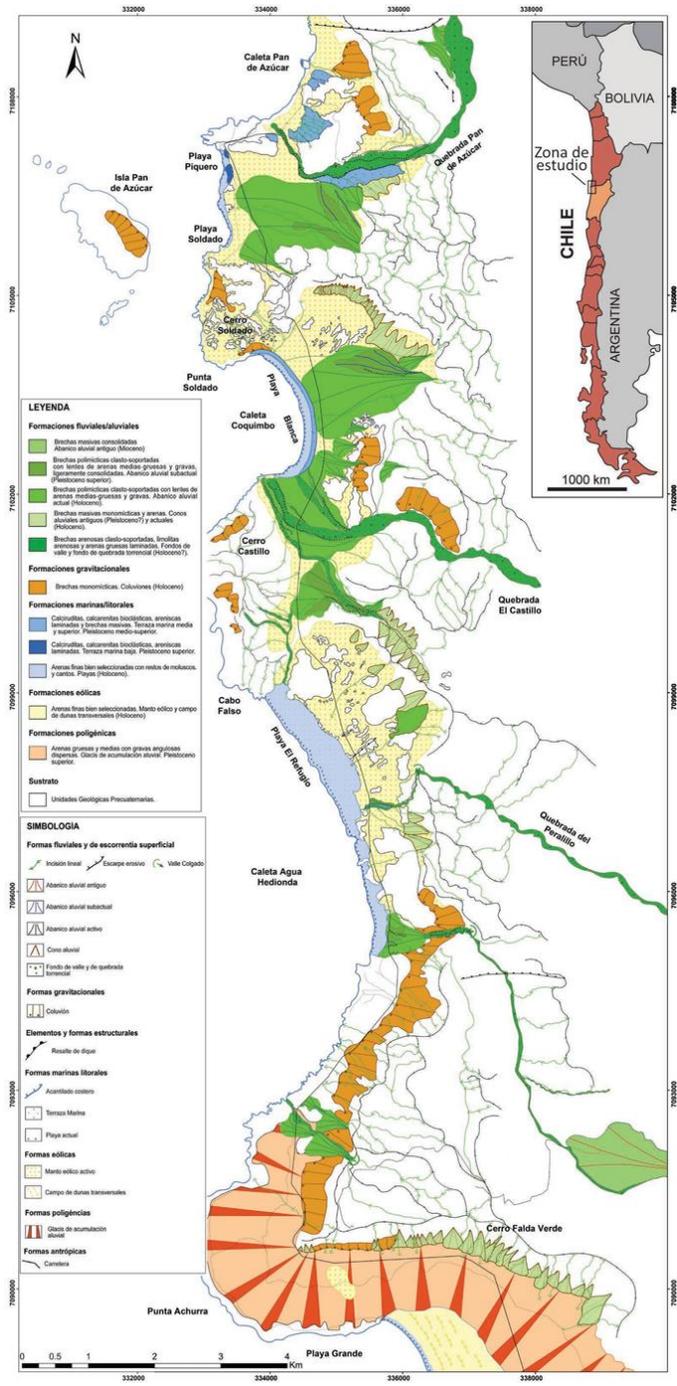


Figura 2.2: Cartografía geomorfológica del borde costero del Parque Nacional Pan de Azúcar (Tomada de Izquierdo *et al.*, 2020).

### 2.3 Flora y fauna del Parque Nacional Pan de Azúcar

El Parque Nacional Pan de Azúcar, abarca un área de 43.754 hectáreas, de desierto costero y comunidades marinas a lo largo de la costa del norte de Chile (CONAF, 2018). Su denominación se basa en una flora y fauna, que incluye diversas especies de plantas vasculares y las poblaciones animales del parque también son abundantes, dentro de la cuales se encuentran poblaciones de guanacos, zorros, mamíferos marinos y diversidad de aves, con por lo menos 27 especies residentes (Rundel *et al.*, 1996). Según lo dispuesto en el decreto N° 527 de 1986, que afectan y declaran al Parque Nacional Pan de Azúcar, se establece que en las regiones de Antofagasta y Atacama no existen áreas silvestres protegidas y que el área propuesta solo representaría un 0,2% de la superficie total de ambas regiones (CONAF, 2018).

En Chile existen 83 formaciones vegetacionales, en el Parque Nacional Pan de Azúcar se presentan dos de ellas y que son las denominadas Desierto Estepario de la Sierra Vicuña Mackenna y Desierto Interior de Taltal (Veloso, y Nuñez, 1998). Ambos recursos vegetacionales tienen la mejor representación, con un buen estado de conservación, es por esto que tiene un indudable valor científico y educativo (CONAF, 2018). Una particularidad de este parque es que posee ambientes marinos y terrestres, por lo que la fauna es diversa y abundante. En el ambiente costero, existe además gran cantidad de aves, tales como gaviotas, gaviotines, pelícanos, cormoranes, chorlitos, playeros, pilpilenes y el notable pingüino de Humboldt (Rundel *et al.*, 1996).

La especie más importante del área es el Guanaco (*Lama guanicoe*), cuya población se estima en 50 individuos que viven asociados en verdaderas “islas de vegetación” producto de la humedad proveniente del mar en forma de neblina costera, y en el área continental del Parque alberga especies nativas como, Zorro Chilla (*Lycalopex gymnocercus*) y Zorro Culpeo (*Lycalopex culpaeus*) (CONAF, 2018). Entre las aves destacan las águilas, aguiluchos, cóndores, cernícalos, dormilonas, chercanes, golondrinas, cometocinos, turcas y muchas otras, las aves son los elementos más importantes dentro del ecosistema terrestre y marino; su presencia depende de diversas circunstancias ecológicas, relacionadas con migraciones o eventos catastróficos naturales, como la corriente del niño o prolongadas sequías (GoChile, 2011).

El Parque Nacional Pan de Azúcar se caracteriza por poseer una comunidad vegetacional y florística única dentro de los climas áridos del norte de Chile, alberga un total de 192 especies nativas, de ese total, 146 son endémicas de Chile y 6 son endémicas de la región de Atacama (Squeo *et al.*, 2008). La extrema aridez presente en la región de Antofagasta impone fuertes restricciones al desarrollo de especies vegetales (Squeo *et al.*, 1998). Las condiciones climáticas, principalmente la presencia de densas neblinas (camanchacas), han permitido condiciones bióticas favorables para el desarrollo de la flora (base de la cadena alimenticia del guanaco), manteniendo así una biodiversidad importante en una zona desértica (Thompson *et al.*, 2003). La flora del Parque Nacional Pan de Azúcar cuenta con la familia de las Asteraceae, Nolanaceae y Cactaceae siendo las más representativas. Solo un 26% de la flora del parque se encuentra restringida a la zona de neblina, las cuales se disponen en lomas, mientras que en las partes rocosas que se encuentra por debajo de las zonas de neblina, sustenta un 66% de la flora de plantas vasculares, el 8% restante se ubica en pozos salobres y de agua dulce (Rundel *et al.*, 1996).

## **2.4 Arqueología del Parque Nacional Pan de Azúcar**

Gran parte del litoral del Parque Nacional Pan de Azúcar posee evidencias arqueológicas de asentamientos dispersos de grupos de cazadores, recolectores y pescadores nómadas (CONAF, 2002).

Según observaciones de Monroy *et al.* (2000), La ocupación del sector por parte de culturas ancestrales se remonta incluso hasta 11.000 años atrás, en la cual se destacan culturas como la de Huentelauquén, los Camanchacos y los Changos, esta edad contrasta con la descrita por la CONAF (2002).

De acuerdo con los estudios realizados por CONAF (2018), el Parque Nacional Pan de Azúcar, fue habitada hace más de 8.000 años (cultura Huentelauquén) por grupos nómades de cazadores recolectores que dependían exclusivamente de lo que el mar pudiera entregarles. Eran hombres que deambulaban por la franja litoral con establecimientos de campamentos temporales ya sea en las terrazas costeras, como así también internados tierra adentro y más aún sobre el farellón costero.

El científico alemán Rodolfo Amando Phillipi, realizó los primeros estudios en el parque, a mediados del siglo XIX. Rodolfo Phillipi, quien a pesar de no recorrer el sector costero que actualmente corresponde a la Caleta Pan de Azúcar; decide adentrarse más aún y explorar los territorios que conforman hoy en día el parque, internándose por la Quebrada de Agua Chica, alojando en la Aguada de Cachinal de la Costa y pasando luego por el sector de Las Lomitas, para luego adentrarse plenamente al desierto de Atacama y continuar su exploración (CONAF, 2018).

Luego para la década del 70 durante el siglo XIX, comienza el auge de la minería del cobre, donde gracias al descubrimiento de la mina de Carrizalillo al interior de Pan de Azúcar, se da inicio a una actividad industrial portuaria, fundándose en el año 1870 el Puerto de Pan de Azúcar, el cual alcanzó tal desarrollo que llegó a tener un muelle de embarque, fundición, bodegas, casas dormitorios e incluso una aduana, que en aquel entonces sería la primera aduana del país de Norte a Sur (CONAF, 2018).

Ya en pleno siglo XX, a fines de la década de los 70, un grupo de funcionarios de la Corporación Nacional Forestal comienzan a realizar las primeras prospecciones ecológicas y geográficas del lugar, dichos estudios arrojaron que este territorio era un refugio ecológico de alta jerarquía y por ende, necesario de proteger y conservar para las generaciones presentes y futuras, es así que el 7 de Octubre de 1985 mediante el Decreto Supremo N°527, se crea el Parque Nacional Pan de Azúcar como Área Silvestre Protegida del Estado de Chile (Praus, *et al.*, 2011).

## **2.5 Potencial turístico del Parque Nacional Pan de Azúcar**

La fuerte relación del paisaje y el turismo se da por la motivación de romper con la rutina. Dos Santos (2011), señala que el “turista encontrará en el paisaje el elemento que mejor le indicará esa tan deseada ruptura con la percepción visual de lo nuevo y lo diferente en el transcurso de su experiencia de viaje”, es por esto que durante el último tiempo el termino ecoturismos ha llevado a que sea usado para defender el uso rentable de áreas protegidas y como cliché por parte de agencias de turismo tradicional para promocionar paquetes turísticos en sitios naturales o silvestres, en donde mínimamente se toman en cuenta los aspectos ecológicos de conservación y los principios básicos del ecoturismo (Jefte, 2011). Es por esto que es de suma importancia tener en cuenta la indisociable relación entre paisaje

y turismo, el estudio integrado de ambos factores es escaso. Tal como menciona Calandra (2002) “a pesar de la relación evidente entre la percepción del paisaje y la actividad turística, el paisaje no ha sido un tema muy abordado en los estudios tradicionales sobre turismo y se ha tratado como un recurso recreativo más”. Asimismo, se puede observar el aparente desinterés por realizar estudios que traten el tema del paisaje y el turismo en conjunto, y remarca la tendencia a realizarlos por separado, como si no estuvieran unidos por ningún tipo de relación (Solís *et al.*, 2013). En Chile, esta relación cobra especial importancia al considerarse que la principal razón para elegir el país como destino turístico, está directamente relacionada a la naturaleza y diversidad del paisaje.

Solís *et al.*, (2013), realizaron un trabajo de evaluación multicriterio de la potencialidad turística de un territorio; caso de estudio Parque Nacional Pan de Azúcar. En este estudio utilizó una metodología de cuatro etapas: 1era etapa, está referida a la construcción del índice de potencialidad turística, para lo que se comenzó con una revisión sistémica de experiencias nacionales e internacionales sobre metodologías y variables a utilizar en evaluaciones del potencial turístico de un territorio (Tabla 2.1, Anexo A). 2da etapa, una vez revisada las metodologías y en conocimiento de que no existe un modelo estandarizado para determinar el potencial turístico. Para esta etapa se utilizó el método de OEA –CICATUR, acompañado de una ficha de levantamiento de información por recurso turístico, completada con información secundaria y la recopilada en terreno (Tabla 2.2, Anexo A). 3era etapa, construcción de una matriz para la evaluación de los múltiples criterios correspondientes a recursos turísticos y unidad territorial, apoyados por las herramientas que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para graficar territorialmente cada criterio (Tabla 2.3, Anexo A). 4ta etapa, zonificación de las áreas con mayor potencial turístico a través del SIG.

La aplicación de la metodología propuesta en el caso piloto, en esta ocasión el Parque Nacional Pan de Azúcar, permitió realizar una zonificación de las áreas que presentan mayor potencial turístico de acuerdo a los criterios definidos en esta investigación, además de reducir la subjetividad en las evaluaciones. El mapa que indica la potencialidad turística de cada unidad de análisis constituye por lo tanto una potencial herramienta en el proceso de planificación de usos y manejo de recursos (Solís *et al.*, 2013). Como resultado, en el Parque Nacional Pan de Azúcar se catastraron 24 recursos y atractivos turísticos (Figura. 2.3).

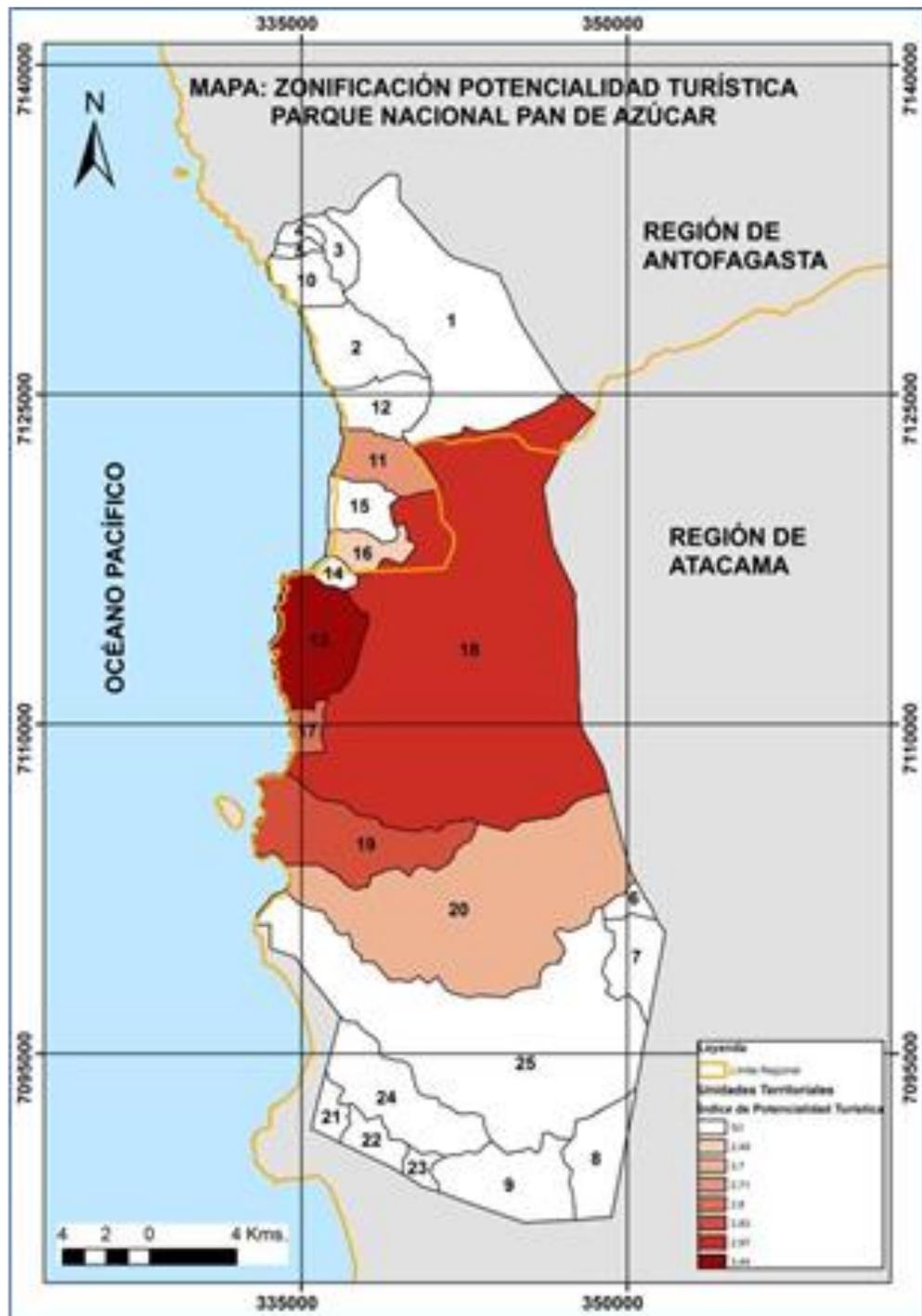


Figura 2.3: Mapa de zonificación potencialidad turística Parque Nacional Pan de Azúcar (Tomada de Solís *et al.*, 2013).

## **CAPÍTULO 3 RESULTADOS**

### **3.1 Geología del Parque Nacional Pan de Azúcar.**

Las unidades definidas a continuación, fueron caracterizadas de acuerdo con los resultados de terreno. Sin embargo, se mantuvieron los nombres formales para no generar confusiones.

#### 3.1.1 Unidades Metamórficas.

##### **Complejo Epimetamórfico de Chañaral (DCce)**

###### Denominación, distribución y relación de contacto

Unidad metamórfica distribuida en tres franjas principales; La primera aproximadamente N-S, en el margen occidental del parque, bordeando el acantilado costero (Figura 3.1A); la segunda en el oriente, alineada NW-SE, de mayor extensión (Figura 3.1B); y la tercera en el SW-NE del área de estudio, distribuido paralelamente a la línea de costa (Figura 3.1C). El complejo Epimetamórfico de Chañaral se encuentra en contacto por intrusión con el Plutón Pan de Azúcar, Quebrada del Castillo, Peralillo, Bufadero, Cerro del Vetado, Cifuncho. Mientras que con las unidades aluviales, coluviales y litorales se encuentran en contacto por inconformidad. Por otra parte, se encuentra localmente con contacto por falla y discordancia angular con la Formación Agua Chica y Formación La Negra.

###### Litología

Litológicamente, en el área de estudio se reconoce una sucesión rítmica y monótona de filitas y cuarcitas (Figura 3.2A). En algunos sectores es posible reconocer meta-areniscas cuarcíferas de grano fino a medio y metapelitas, las últimas de grano fino con abundantes laminación e incipientes micro-plegamientos, de coloración negra-grisácea a amarillentas. Mientras que, en sectores adyacentes a los cuerpos intrusivos es posible reconocer esquistos asociados al metamorfismo regional.

### Edad y correlación

De acuerdo con las características litológicas, esta unidad puede ser interpretada como una secuencia turbidítica de plataforma abisal (Godoy y Lara, 1998). Esta unidad fue definida por Ulriksen (1979) como Formación Las Tórtolas. Con posterioridad, Godoy y Lara (1998), la denominan como Complejo Epimetamórfico de Chañaral, el cual corresponde a una asociación petrotectónica principalmente metaturbidítica, que incluye facies de mélangé, con escasa proporción de metabasitas y metacalizas.

La edad asignada por Bell (1984), es Devónico- Pérmico a partir de trazas fósiles, mientras que, las dataciones de circones detríticos obtenidas por Bahlburg *et al.*, (2009) permiten asignarle una edad máxima del protolito de ca. 300 Ma, por lo cual su acumulación habría ocurrido durante el Pérmico, lo cual permite indicar que su edad es Devónico-Carbonífero (Contreras *et al.*, 2013).

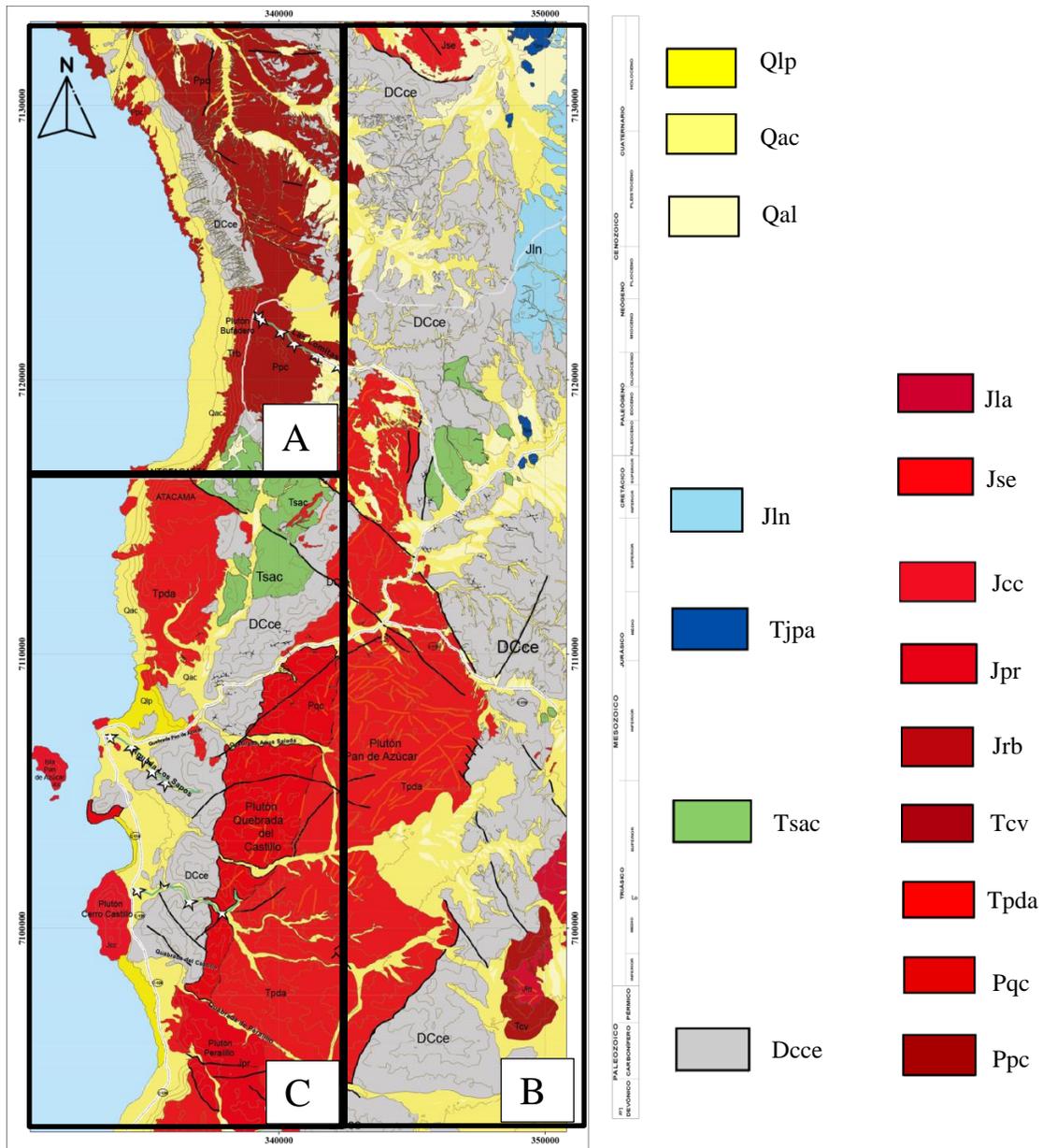


Figura 3.1: Complejo Epimetamórfico de Chañaral. A: Primera franja aproximadamente N-S, en el margen occidental del Parque. B: Segunda franja en el oriente, alineada NW-SE. C: Tercera franja en el SW-NE del área de estudio, distribuido paralelamente a la línea de costa. Elaboración propia.



Figura 3.2: Complejo Epimetamórfico de Chañaral. A: Sucesión de filitas y cuarcitas, con buena estratificación.

### 3.1.2 Unidades Sedimentarias.

#### **Formación Agua Chica (Tsac)**

##### Denominación, distribución y relación de contacto

Unidad volcano-sedimentaria, distribuida al norte de la Quebrada Pan de Azúcar (Figura 3.3A) y un pequeño afloramiento al NNE del parque (Figura 3.3B). Se encuentra localmente en contacto por falla y discordancia angular con el Complejo Epimetamórfico de Chañaral, en contacto intrusivo con el Putón Pan de Azúcar, Plutón Bufadero y el Plutón Cifuncho, por último subyace a los depósitos aluviales antiguos, generando un contacto erosivo.

##### Litología

Se compone de brecha volcánica, con clastos subangulosos a angulosos, con tamaños que varían de 5-20 cm aprox., se constituye de una matriz andesítica, de matriz soportada y pobremente clasificada, los clastos en su mayoría son de andesita y en menos cantidad líticos. Se le atribuye un ambiente deposicional volcánico continental, donde la fuente alimentadora de esta brecha se encuentra muy cerca.

### Edad y correlación

Por su posición estratigráfica y sus características litológicas, esta unidad es correlacionable con la Formación Agua Chica descrita por Contreras *et al.*, (2013) como una unidad constituida por rocas volcánicas a volcano-sedimentarias, asignándole una edad triásica superior.

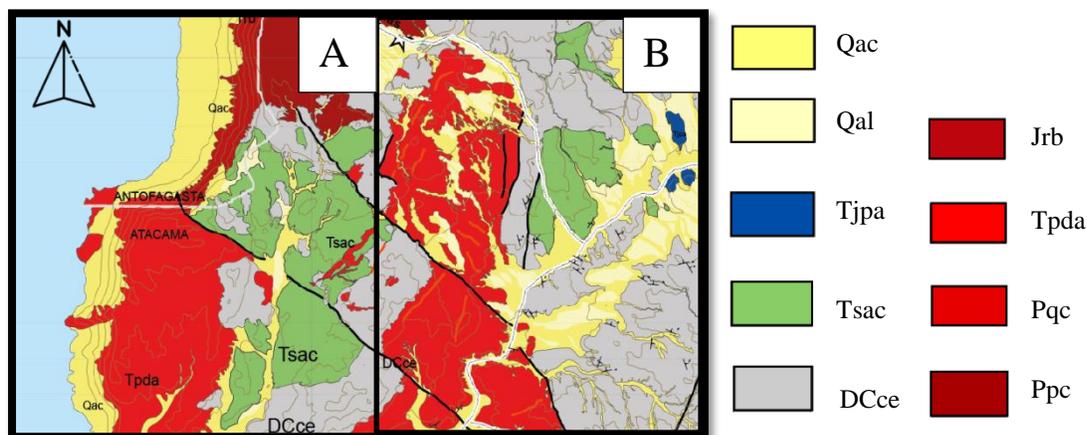


Figura 3.3: Formación Agua Chica. A: Formación Agua Chica, al N de la Quebrada Pan de Azúcar. B: Afloramiento al NNE del parque. (Elaboración propia)

### **Formación Pan de Azúcar (Tjpa)**

#### Denominación, distribución y relación de contacto

Unidad sedimentaria marina, correspondiente a facies marinas y litorales, que se compone de secuencias de calizas, litarenitas, calcilutitas, y conglomerados, con estratos fosilíferos de ammonoideos, braquiópodos y corales; con afloramientos de orientación NW – SE fuera de los límites orientales del parque. Presenta un contacto concordante y localmente por falla con la Formación La Negra, también un contacto discordante con el Complejo Epimetamórfico de Chañaral, y subyace en discordancia erosiva con los depósitos Aluviales Antiguos.

#### Litología

Correspondiente a facies marinas y litorales, que se compone de secuencias de rocas carbonáticas, predominadas por calizas *mudstone* con intercalaciones decimétricas a

centimétricas de lutitas calcáreas pardo verdosas y areniscas pardo-rojizas de grano fino con cemento carbonático. Además, se presentan nódulos de sílice y estratos silicificados, asociados a formación de *chert*.

La composición calcárea de la unidad y los fósiles observados, permiten identificar un ambiente marino de plataforma de baja energía (Ramírez *et al.*, 2015).

#### Edad y correlación

Debido a las características composicionales, su distribución espacial y la identificación de moldes de ammonites (*Arnioceras sp.*) (figura 3.4), siendo este último correlacionado con lo descrito por Rubilar (2012) de edad Sinemuriana, por ende, se correlaciona la unidad con la Formación Pan de Azúcar de edad Triásico superior – Jurásico inferior.



Figura 3.4: Molde observado en terreno de ammonite (*Arnioceras sp.*)

### **Formación La Negra (Jln)**

#### Denominación, distribución y relación de contacto

Unidad volcano-sedimentaria relacionada a una secuencia monótona de rocas volcánicas andesíticas y sedimentarias clásticas, constituida principalmente por intercalaciones de andesitas, areniscas, brechas volcánicas, distribuidas en el borde oriente del parque. Presenta un contacto concordante y localmente por falla con la Formación Pan de Azúcar. Al NE del área de estudio estas rocas se apoyan en discordancia angular sobre el

Complejo Epimetamórfico de Chañaral y subyace en discordancia erosiva con los depósitos Aluviales antiguos y los depósitos aluviales y coluviales modernos.

#### Litología

Esta unidad se encuentra principalmente constituida por paquetes métricos de andesitas de color violeta. Composicionalmente está compuesta por fenocristales de un 5% a un 20% y masa fundamental afanítica. Presenta una textura porfídica y hacia techo amigdaloidal. Las amígdalas presentan un relleno principalmente de sílice. También se reconocen fragmentos líticos con tamaño de 2 a 15 cm. Hacia la base se pueden apreciar algunos niveles de areniscas calcáreas y calizas. Las brechas volcánicas presentan en algunos lugares matriz y clastos de composición andesítica, y en otros brechas con matriz tamaño arena y clastos de andesíticos. El ambiente depositacional de estas unidades se interpreta como volcánico de margen continental Godoy y Lara (1998).

#### Edad y correlación

Debido a la distribución espacial conformando una franja N-S de lavas andesíticas, se correlacionan con la Formación La Negra de edad Pliensbachiano–Titaniano (García, 1967). El material fosilífero sugiere una edad máxima sinemuriana – pliensbachiana inferior para la base de la Formación La Negra (Covacevich, 1982; Naranjo y Puig, 1984).

### **Depósitos aluviales antiguos (Qal)**

#### Denominación, distribución y relación de contacto

Depósitos no consolidados de gravas y bloques, mal clasificados y con una mala estratificación, de granulometría variable, que forman extensas planicies de baja pendiente, interrumpida por redes de drenaje modernas. Depósitos de extensa distribución en el área de estudio, principalmente se observan en extremo oriental del parque. Afloran como cono y abanicos aluviales (Figura 3.5). Estos depósitos están en constante erosión por los causes actualmente jóvenes y activos. Esta unidad se deposita en quebradas principales y afluentes mediante contacto erosivo con las unidades coluviales y aluviales modernos, se encuentra en discordancia erosiva con las formaciones, Agua Chica, Pan de Azúcar y La Negra; también se encuentra en discordancia angular con el Complejo Epimetamórfico de Chañaral e inconformidad con los cuerpos intrusivos.

### Litología

Esta unidad está compuesta por secuencias de gravas y arenas, moderadamente consolidadas, siendo desde la base gravas clasto soportadas mal seleccionadas con clastos angulosos a subangulosos de hasta 3 cm de diámetro y composición polimíctica, matriz de arena fina a arena gruesa, con gradación inversa y con presencia de estratificación en algunos tramos. Mientras que, hacia techo se observan gravas matriz soportada mal seleccionadas con clastos subangulosos a subredondeados de hasta 1,5 cm de diámetro y composición oligomíctica (andesita y arenisca), matriz de arenas finas a limos, con gradación normal y laminación paralela. Se observan en capas centimétricas que conforman paquetes de entre 30 cm a 1,5 m de potencia, se depositan en planicies con baja pendiente. Se asocian a flujos aluviales esporádicos y de gran intensidad.

### Edad y correlación

Según la relación composicional y la distribución espacial de la unidad aluvial, es correlacionada con los depósitos aluviales del Mioceno superior -Plioceno descrito en la carta de Cifuncho (Contreras *et al.*, 2013).



Figura 3.5: Depósitos no consolidados de abanico aluvial, sobreyaciendo en disconformidad al basamento metamórfico.

## **Depósitos coluviales y aluviales modernos (Qac)**

Para la representación de las unidades, depósitos aluviales modernos y depósitos coluviales; en el mapa, se representarán como una única unidad, ya que a la escala trabajada será difícil hacer la diferenciación.

### Denominación, distribución y relación de contacto

Corresponde a sedimentos no consolidados se distribuyen ampliamente en toda el área del parque, y se encuentran en la base de las actuales quebradas. Se distribuyen principalmente junto a las laderas de fuerte pendiente, como rípios sueltos mal clasificados, generalmente compuestos por clastos angulosos sin matriz, de composición monomítica u oligomítica dependiendo de la naturaleza de su área fuente. En la zona de estudio, están bien representados en el extremo occidental, junto al acantilado costero (Figura 3.6).

Están en discordancia erosiva sobre unidades aluviales antiguas, depositándose sobre la misma. En cuanto a las unidades estratigráficas, presentan contacto discordante del tipo angular a diferencia de los cuerpos intrusivos, que se deposita sobre ellos en inconformidad.

### Litología

Litológicamente, esta unidad está compuesta por gravas clasto soportadas con clastos angulosos mal seleccionados de composición polimítica y matriz de arena fina a arena gruesa con potencias de entre 30 cm a 1,2 m, alternada con capas de gravas matriz soportada con clastos angulosos de hasta 1cm de diámetro y matriz que grada de arena fina a limos, no consolidadas. Se relaciona a flujos aluviales esporádicos y de gran intensidad, en el caso de los depósitos aluviales.

Los depósitos coluviales, tienen un origen gravitacional, que se disponen en las laderas y valles de alta pendiente, son bloques angulosos a subangulosos, monomíticos, que gradan lateralmente de depósitos aluviales, se depositan por el desmoronamiento, producido por la inestabilidad que generan las corrientes esporádicas que remueven abundante material.

### Edad y correlación

Debido a su distribución geográfica, se le asigna una edad cuaternaria (Pleistoceno-Holoceno) (Contreras *et al.*, 2013).

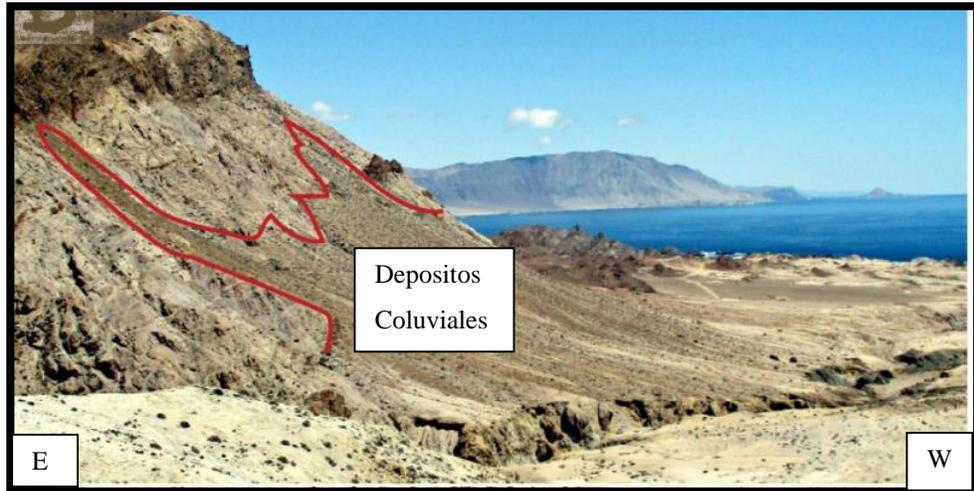


Figura 3.6: Depósitos no consolidados coluviales en la ladera del acantilado costero.

### **Depósitos Litorales (Qlp)**

#### Denominación, distribución y relación de contacto

Corresponde a depósitos marino, constituidos por hasta ~ 2 metros de espesor de arenas, limos, coquinas, intercaladas en lentes de hasta 30 cm, y conglomerados. Se interdigitan con niveles inferiores de depósitos Aluviales en las desembocaduras de la quebrada Pan de Azúcar.

#### Litología

Son depósitos sedimentario clásticos terrígenos y bioclásticos. Los fragmentos clásticos terrígenos, bien redondeados, presenta algunas gravas y abundante arena de distintos tamaños, desde gruesa a media, que han sido acumulados en el borde costero y los fragmentos bioclásticos son restos de conchas.

### Edad y correlación

Debido a su distribución geográfica, y debido a que son depósitos activos, se les asigna una edad holocena (Contreras *et al.*, 2013).

### 3.1.3 Unidades Intrusivas

#### **Plutón Cifuncho (Ppc)**

##### Denominación, distribución y relación de contacto

Corresponde a un cuerpo intrusivo distribuido al oeste de la zona de estudio, en una franja aproximadamente NW-SE que se acuña progresivamente hacia el NW. Está en contacto por intrusión con el Complejo Epimetamórfico de Chañaral, tanto al oriente como al occidente (Figura 3.7A). En el margen oriental se encuentra cubierto en inconformidad por las unidades de sedimentos no consolidados del Cenozoico. Entre estas unidades se puede mencionar a los Depósitos aluviales antiguos, los Depósitos Aluviales y Coluviales modernos.

##### Litología.

Petrográficamente, se observan dos variedades para el mismo intrusivo: La primera, corresponde a una tonalita de textura holocristalina, fanerítica, equigranular de grano fino a medio (Figura 3.7B) con 50 % cuarzo, 40 % plagioclasas 1% feldespato potásico y 9 % biotita. Por otro lado, la segunda litología que corresponde a un monzogranito de textura holocristalina, fanerítica, equigranular de grano grueso (Figura 3.7C), con 40 % cuarzo, 20 % plagioclasa 30% feldespato potásico y 10 % biotita. Textura holocristalina inequigranular de grano medio a grueso con fenocristales de feldespato 7 cm. El intrusivo posee abundantes enclaves de composición tonalítica, subangulosos a subredondeados, de grano fino y con bordes de reacción (Figura 3.7B).

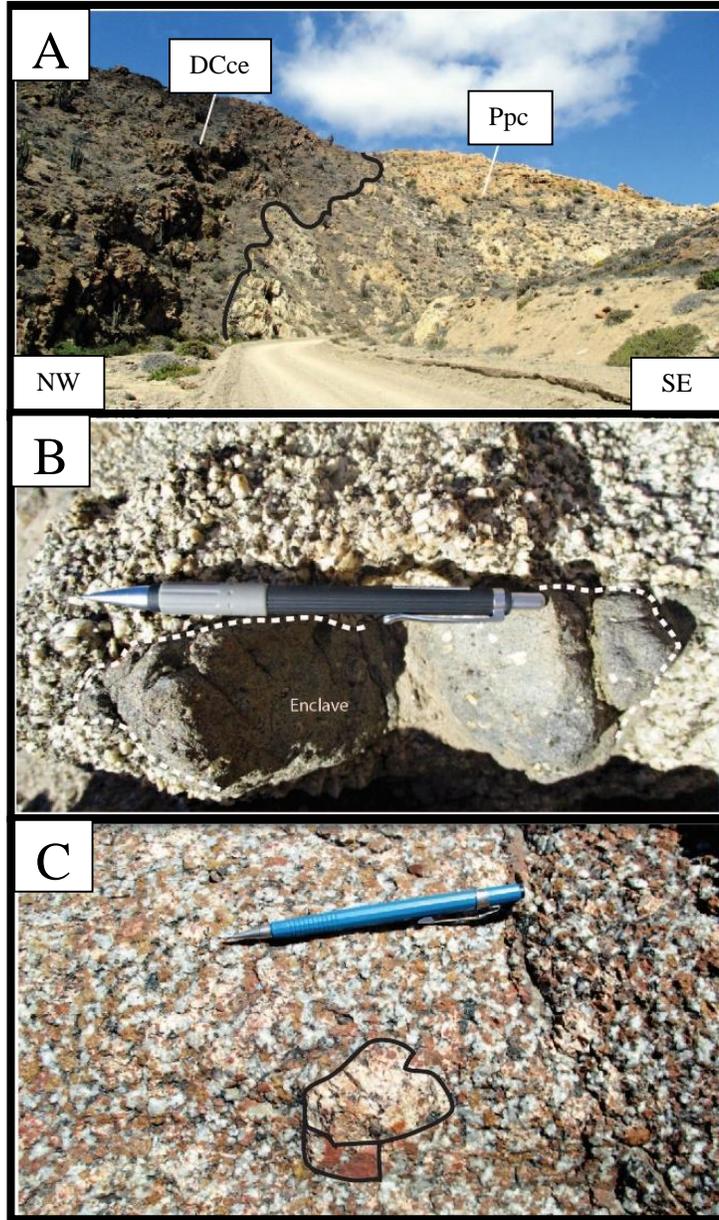


Figura 3.7: Plutón Cifuncho. A: Contacto por intrusión con el Complejo Epimetamorfico de Chañaral (DCce). B: Dominio tonalítico, con textura pegmatítica. Destaca enclave microtonalítico al centro. C: Dominio monzonítico con textura pegmatítica, en el extremo sureste de la zona de estudio. Destacan fenocristales maclados de feldespato potásico de tamaño grueso.

### Edad y correlación

Las relaciones de contacto y la litologías observadas en terreno, son relacionadas con la descripción de Contreras *et al.*, (2013), del Plutón Cifuncho, el cual lo describe como un conjunto de rocas plutónicas de grano grueso, leucocráticas, tipo sien y monzogranito, que afloran principalmente en la Cordillera de la Costa, al sur de los 25°30'S (Naranjo y Puig, 1984). Las edades para estos cuerpos han sido restringidas entre 255 y 284 Ma (Contreras *et al.*, 2013).

### **Plutón Quebrada del Castillo (Pqc)**

#### Denominación, distribución y relación de contacto

Corresponde a un cuerpo intrusivo que se encuentra emplazado en la costa al norte de Chañaral, en dirección NE-SW, de forma elongada, hacia el oeste, la unidad se encuentra en contacto intrusivo con el Pluton Pan de Azúcar y el Complejo Epimetamórfico de Chañaral. Sin embargo, el contacto con el Pluton Pan de Azucar es difuso. Este contacto es reconocido en terreno por la disminución y luego ausencia de moscovita, y el aumento en el tamaño de los cristales de cuarzo. El contacto con el Complejo Epimetamórfico de Chañaral, presenta filitas con cordieritas, representativo de un metamorfismo de contacto

#### Litología.

Roca color ocre, holocristalina, fanerítica de grano medio, textura equigranular, compuesto mineralógicamente por cristales homogéneo de grano grueso, donde sus composiciones son: 45% plagioclasa, 25% cuarzo 17% feldespatos potásico, 10% de biotita y hornblenda y 3% moscovita, categorizada como un monzogranito.

#### Edad y correlación

Por su posición estratigráfica y sus características litológicas es posible asignarle una edad de  $284 \pm 3$  Ma., debido a que ha sido correlacionado con el Plutón Quebrada del Castillo de acuerdo a la Hoja y de Chañaral y Diego de Almagro por Godoy y Lara (1998).

## **Plutón Pan de Azúcar (Tpda)**

### Denominación, distribución y relación de contacto

Cuerpo intrusivo alargado con dirección N-S (Figura.3.8A), aflorando en la zona intermedia del área de estudio. Hacia el oeste se encuentra en contacto por intrusión con el Plutón Quebrada del Castillo, y el Plutón Peralillo. Hacia el este del área, se encuentra en contacto por intrusión y localmente en contacto por falla con el Complejo Epimetamórfico de Chañaral (Figura 3.8B), generando una aureola de contacto en el Complejo Epimetamórfico de Chañaral y por último el contacto por falla con la Formación Agua Chica. Los depósitos aluviales y coluviales modernos se encuentran en inconformidad con el Plutón pan de Azúcar. Este cuerpo ígneo está cortado posteriormente por diques microdioríticos en dirección NE-SW, muy similar a los diques que se observan en el Plutón Cerro del Vetado.

### Litología

Roca con textura holocristalina, fanerítica y equigranular de cristales gruesos a muy gruesos, de color ocre, con presencia de micas. Se compone de 40% cuarzo, 10% de plagioclasas, 30% feldespato potásico y 20% biotitas y hornblenda; siendo clasificado como sianogranito.

### Edad y correlación

Por su posición estratigráfica y sus características litológicas se le asigna una edad de 230 Ma., ya que es correlacionado con el Plutón Pan de Azúcar descrito en la Hoja de Chañaral y Diego de Almagro por Godoy y Lara (1998).

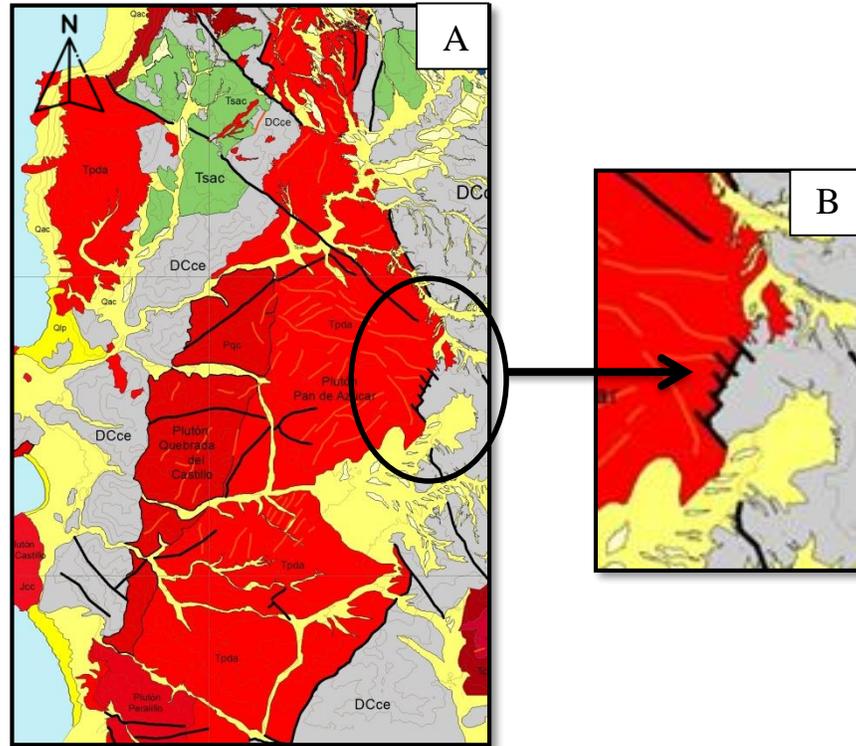


Figura 3.8: Plutón Pan de Azúcar. A: Cuerpo intrusivo elongado con dirección N-S. B: Contacto por falla con el Complejo Epimetamórfico de Chañaral.

### **Plutón Cerro del Vetado (Tcv)**

#### Denominación, distribución y relación de contacto

Corresponde a un cuerpo intrusivo que aflora en el límite SE del Parque Nacional Pan de Azúcar, esta unidad se encuentra en contacto intrusivo con el Complejo Epimetamórfico de Chañaral, mientras que hacia el este, se encuentra en contacto por intrusión con el Plutón Las Animas. Los depósitos Aluviales y Coluviales modernos se encuentran en inconformidad con el Plutón Cerro del Vetado. Este cuerpo ígneo está cortado posteriormente por diques microdioríticos en dirección NE-SW, muy similares a los diques que cortan el Plutón Pan de Azúcar.

### Litología.

Unidad intrusiva de color ocre claro, de textura fanerítica, inequiangular, de granos gruesos con disminución de tamaño en sus cristales de cuarzo hacia el NE. Su composición consta de un 30% de cuarzo, 40% plagioclasas 15% de feldespato potásico, y 15% biotita y anfíboles; esta unidad litológica se clasifica como monzogranito.

### Edad y correlación

Según las relaciones de contacto y de temporalidad de eventos se identifica con el Plutón Cerro del Vetado, con una edad de 217 Ma descrito en la Hoja de Chañaral y Diego de Almagro (Godoy y Lara, 1998).

## **Plutón Bufadero (Jrb)**

### Denominación, distribución y relación de contacto

Es un cuerpo intrusivo que, en la zona de estudio, aflora exclusivamente en el extremo occidental, adyacente al acantilado costero (Figura 3.9). La unidad intrusiva se encuentra en contacto intrusiva, hacia el norte con el Complejo Epimetamórfico de Chañaral, hacia el sur en contacto intrusivo con el Plutón Pan de Azúcar, hacia el este en contacto intrusivo con el Plutón Cifuncho, también se encuentran en contacto intrusivo hacia el SE con la Formación Agua Chica, y en inconformidad con los depósitos aluviales y coluviales modernos.

### Litología.

De acuerdo a los afloramientos de terreno, se puede observar una textura de roca metamórfica con protolito ígneo. El Plutón, en tanto, posee composición diorítica, con grano más grueso y textura porfírica. Se encuentra frecuentemente foliado con orientación preferencial NE. Sin embargo, con las muestras de terreno, no es posible realizar una descripción más detallada tanto microscópica como macroscópicamente.

### Edad y correlación

No hay edades para este intrusivo. Sin embargo, Se ha correlacionado, por Godoy y Lara (1998), agrupan los Plutones, Bufadero Peralillo, Cerro Castillo y Barquito, los cuales poseen edades de 204 – 193 Ma (Farrar *et al.*, 1970; Berg y Baumann, 1985). Rodríguez *et*

al., (2018) ha obtenido un rango similar de edades para el Plutón Flamenco, al sur de Chañaral, dando cuenta de un complejo proceso de intrusiones sucesivas durante 40 Ma.

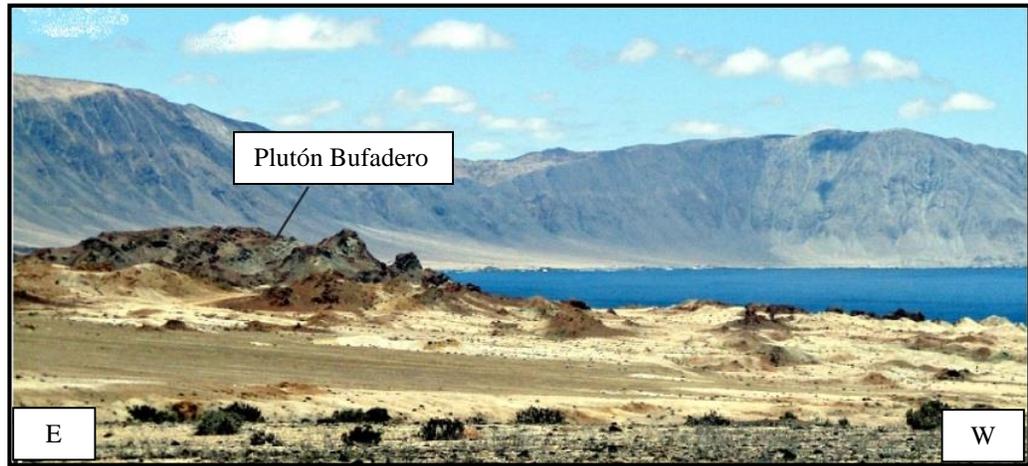


Figura 3.9: Plutón Bufadero. Afloramiento en el extremo occidental, adyacente al acantilado costero.

### **Plutón Peralillo (Jpr)**

#### Denominación, distribución y relación de contacto

Corresponde a un cuerpo intrusivo que se encuentra al SW del área de estudio, esta unidad intrusiva se encuentra emplazada en el sector de Quebrada del Peralillo, hacia el norte se encuentra en contacto por intrusión con el Plutón Quebrada del Castillo, hacia el NW, se encuentra en contacto por intrusión con el Plutón Pan de Azúcar y hacia el SE en contacto intrusivo con el Complejo Epimetamórfico de Chañaral. El Plutón se encuentra en inconformidad con los depósitos aluviales y coluviales modernos.

#### Litología.

Su composición es una roca ígnea de color grisácea, de textura fanerítica, holocristalina y equigranular, con una composición de 22% cuarzo, 35% plagioclasa, 3% feldespato alcalino y 40% biotita y hornblenda; esta unidad litológica se clasifica como granodiorita.

### Edad y correlación

Por su posición estratigráfica y sus características litológicas se le asignan una edad entre 204-193 Ma (Jurásico inferior), siendo correlacionada con el Plutón Peralillo, descrito en la Hoja de Chañaral y Diego de Almagro (Godoy y Lara, 1998).

## **Plutón Cerro Castillo (Jcc)**

### Denominación, distribución y relación de contacto

Corresponde a un cuerpo intrusivo que aflora al SW del parque. Esta unidad intrusiva se encuentra emplazada en el sector de Quebrada del Castillo y en la Isla Pan de Azúcar. En el margen occidental se encuentra cubierto en inconformidad por las unidades de sedimentos no consolidados del Cenozoico. Entre estas unidades se puede mencionar a los depósitos litorales, depósitos aluviales antiguos, los depósitos aluviales y coluviales modernos.

### Litología

Roca intrusiva de color gris claro, textura holocristalina, fanerítica y equigranular de grano medio, con una composición de 28% cuarzo, 48% plagioclasa, 4% feldespato potásico y 20% hornblenda y biotita; esta unidad litológica se clasifica como tonalita.

### Edad y correlación

No hay edades para este intrusivo. Sin embargo, Godoy y Lara (1998), agrupan los plutones, Bufadero Peralillo, Cerro Castillo y Barquito, los cuales poseen edades de 204 – 193 Ma.

## **Complejo Plutónico Sierra Esmeralda (Jse)**

### Denominación, distribución y relación de contacto

Está conformado por una serie de cuerpos intrusivos dispuestos en el margen oriental del parque. Se encuentra hacia el sur en contacto por falla con el Complejo Epimetamórfico de Chañaral mientras que, en el margen oriental se encuentra en inconformidad con los depósitos no consolidados. Entre estas unidades se puede mencionar a los depósitos aluviales antiguos, los depósitos aluviales y coluviales modernos. Como dato,

fuera del área de estudio, este intrusivo se encuentra en contacto intrusivo con las rocas de la Formación Pan de Azúcar.

### Litología

Cuerpos plutónicos leucocráticos de grano grueso a muy grueso equigranulares con composición mineral, con 1% de cuarzo, 56% de plagioclasa, 3% de feldespato potásico y 40% de biotita; esta unidad litológica se clasifica como diorita.

### Edad y correlación

Este plutón ha sido denominado Sierra Esmeralda por Contreras *et al.*, (2013), quienes señalan que el contacto intrusivo con las calcilitas y calizas de la Formación Pan de Azúcar genera un moderado metamorfismo de contacto y una alteración hidrotermal que da lugar a mineralización aurífera y argentífera en el Distrito Minero Esmeralda. Esta unidad también intruye a las rocas del Complejo Epimetamórfico Chañaral, produciéndose escasa mineralización de Cu. La edad, a partir de U-Pb en circones, sería de 193 Ma (Jurásico inferior). Naranjo *et al.*, (1986) interpreta la distribución y edad de estos cuerpos como las raíces de la cadena volcánica del Jurásico inferior, y que por lo tanto se relacionarían genéticamente con las rocas volcánicas-volcanoclásticas de las formaciones Posada los Hidalgos y Pan de Azúcar.

## **Plutón Las Ánimas (Jla)**

### Denominación, distribución y relación de contacto

Esta unidad intrusiva aflora a lo largo de un eje NNE-SSW, en el límite del Parque Nacional Pan de Azúcar. En el margen occidental se encuentra en contacto intrusivo con el Complejo Epimetamórfico de Chañaral. También se observa un contacto intrusivo con el Plutón Cerro del Vetado. Este cuerpo ígneo está cortado posteriormente por diques riolíticos y dacíticos. Se encuentra cubierto en inconformidad por las unidades de sedimentos no consolidados del Cenozoico; entre estas unidades se puede mencionar a los depósitos aluviales antiguos, depósitos aluviales y coluviales modernos.

### Litología

Corresponde a una roca plutónica de textura fanerítica, equigranular, holocristalina, de grano medio a grueso. Su composición consta un, 15% de cuarzo, 30% de plagioclasa, y un 55% de biotita y anfíboles; esta unidad litológica se clasifica como diorita.

### Edad y correlación

La relación de contacto y la temporalidad de eventos entre las unidades, este intrusivo corresponde al plutón más joven dentro del área, Dallmeyer *et al.*, (1996) Obtuvieron una edad  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en anfíbola de  $164,1 \pm 3,8$  Ma. Diaz (1986), obtuvo las edades K-Ar, en biotita, de  $161 \pm 4$  y  $148 \pm 7$  Ma., también compatibles con las anteriores. Por esta razón, se le atribuye una edad jurásico superior, correspondiente a la unidad intrusiva Plutón Las Animas, descrita en la Hoja de Chañaral y Diego de Almagro (Godoy y Lara, 1998).

## **Diques**

### Denominación, distribución y relación de contacto

Corresponden a cuerpos hipabisales, en forma de diques y pequeños apófisis de plutones. Los diques tienen una dirección predominante NE-SW, y se encuentran cortando las unidades (Plutón Quebrada del Castillo, Plutón Pan de Azúcar, Plutón Las Animas y Plutón Cifuncho).

### Litología

Se han identificado distintas variedades composicionales: a) Diques microdioríticos, de textura porfírica, con fenocristales de plagioclasa de grano fino a medio, en una matriz afanítica; b) Diques microtonalíticos, de textura inequigranular (porfírica); c) Diques riolíticos y dacíticos, inequigranulares, de textura porfírica, con abundante cuarzo.

### Edad y correlación

Contreras *et al.*, (2013) indican que las rocas de esta unidad no han sido datadas, pero se infieren del Cretácico inferior a partir de sus relaciones de intrusión.

## **3.2 Geología estructural**

### Deformación frágil

Estratificaciones: De acuerdo con las unidades definidas en el área de estudio se midieron planos de estratificaciones, presentan en el área este del parque un rumbo preferencial NW, dirección de inclinación preferencial NE, y manteos variables entre subhorizontal y 45°.

Fallas mayores: En primera instancia se reconocieron lineamientos regionales a partir de la foto interpretación (Figura 3.10).

La presencia de fallas geológicas suele ser evidenciadas en su mayoría mediante la relación de corte existente entre los diques que se intersectan entre sí mismos, esto es claramente observable en el área del Plutón Pan de Azúcar.

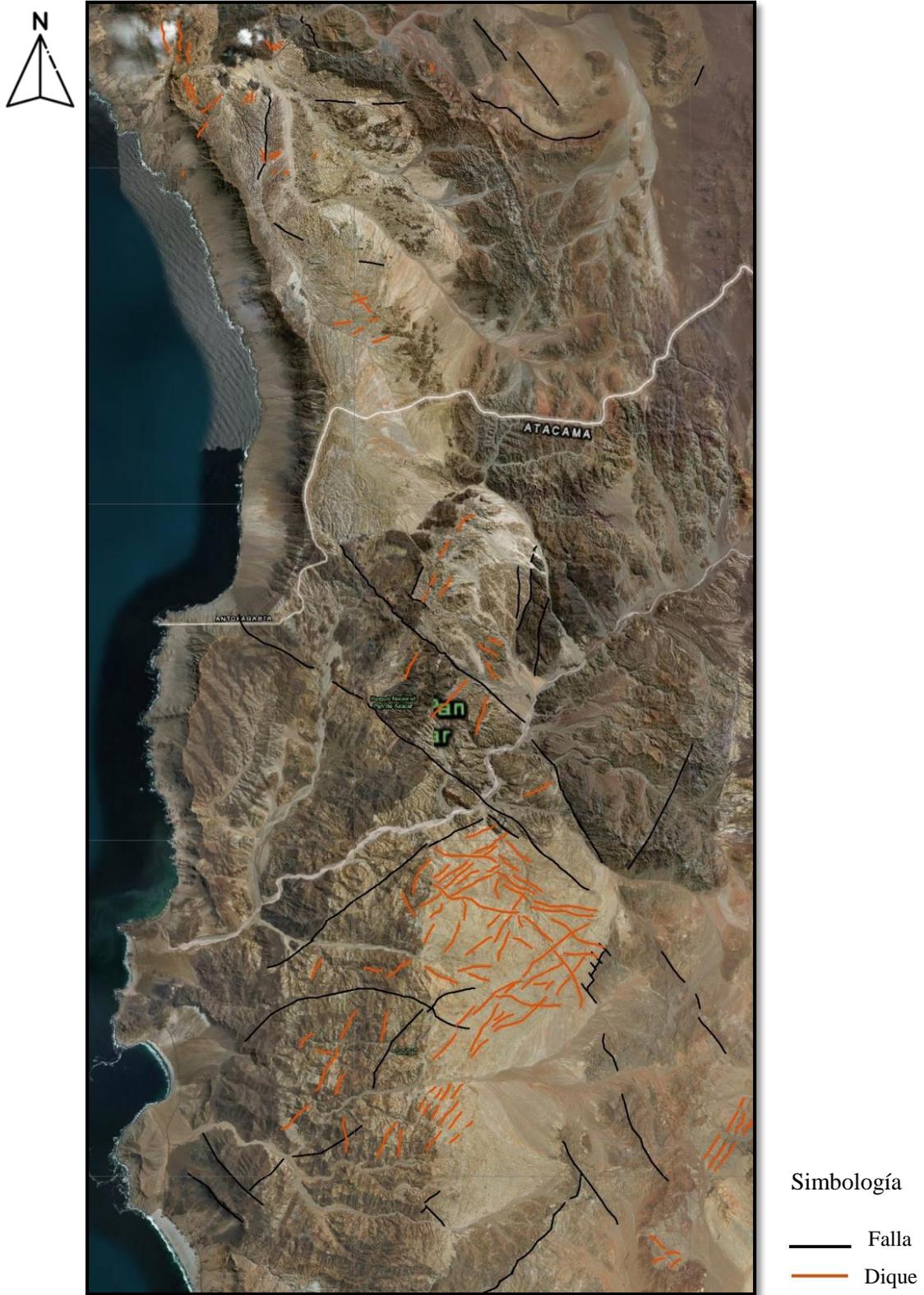


Figura 3.10: Mapa de reconocimiento de lineamientos regionales.

En el sector hay evidencia de deformación frágil, por el abundante control de falla de gran extensión y presencia de diques. Los lineamientos en color negro, corresponden a fallas, las cuales presentan dos direcciones predominantes: NE-SW y NW-SE.

A partir de la fotointerpretación es posible reconocer el sentido de movimiento de los lineamientos NW-SE. Estas estructuras son fallas de rumbo con movimientos dextral.

En el centro del área de estudio, se reconoce un lineamiento NNW-SSE que limita la Formación Agua Chica con el Complejo Epimetamórfico Chañaral. No se reconoce sentido de movimiento (Figura 3.11)

Los lineamientos de color naranja, corresponden a diques, los cuales se distribuyen en las unidades (Plutón Quebrada del Castillo, Plutón Pan de Azúcar, Plutón Las Animas y Plutón Cifuncho).

Se observa un enjambre de diques, que afloran mayoritariamente en el área sur del parque, con dos familias principales, las tendencias de las familias son NE-SW y NNW-SSE, los diques son de composición microdiorítica. Principalmente en el sector norte del Plutón Pan de Azúcar, los diques son cortados por fallas de rumbo dextrales de orientación NW-SE.

De acuerdo a lo observado en terreno, las fallas que cortan la formación Agua Chica, tienen una extensión aproximada de 10 km. Sin embargo, es muy difícil encontrar indicadores cinemáticos, ya que la zona de falla se encuentra altamente erosionada y alterada.

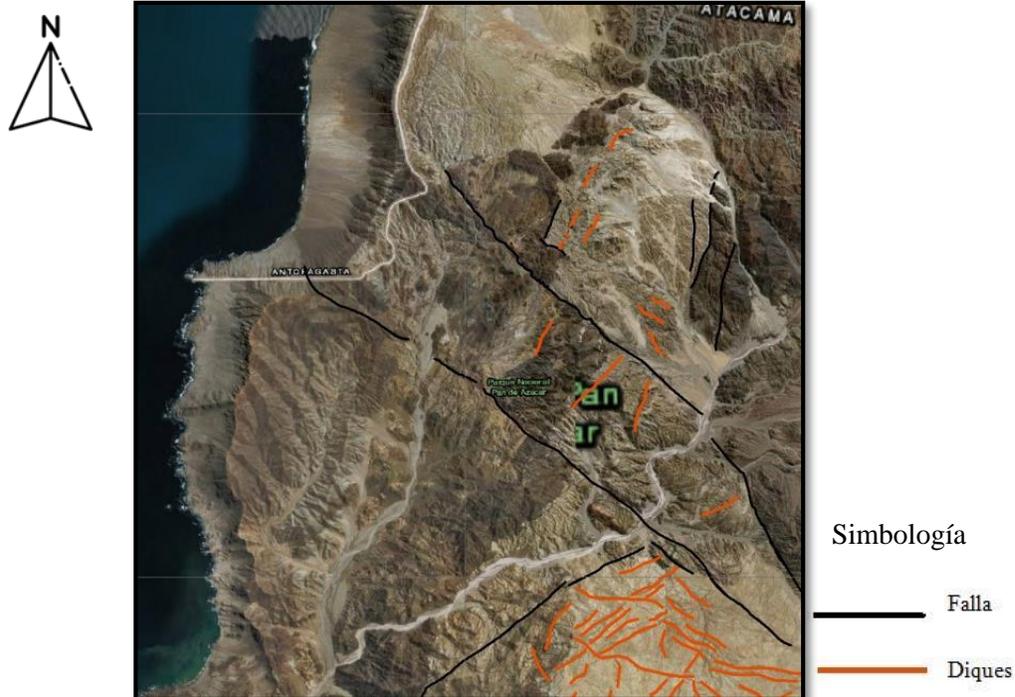


Figura 3.11: Lineamiento NNW-SSE, que limita la Formación Agua Chica con el Complejo Epimetamórfico Chañaral.

### Deformación dúctil

En el área de estudio esta deformación está representada por el basamento, es decir, el Complejo Epimetamórfico de Chañaral. La deformación de esta secuencia está relacionada con el plegamiento de la fábrica primaria y secundaria. Se reconocen foliaciones con tendencias preferencial NW las cuales, en conjunto con las estratificaciones, se pueden reconocer pliegues tumbados. En el sector oeste, las estratificaciones tienen un rumbo preferencial NE dirección de inclinación NW, y manteos variables entre subhorizontal y  $45^\circ$ . Mientras que en el área este del parque, las estratificaciones, presentan un rumbo preferencial NW dirección de inclinación preferencial NE, y manteos variables entre subhorizontal y  $45^\circ$ .

### 3.3 Mapa Geológico del Parque Nacional Pan de Azúcar



Figura 3.12: Mapa Geológico Parque Nacional Pan de Azúcar (Elaboración propia)

### **3.4 Rutas geológicas del Parque Nacional Pan de Azúcar**

A partir de la información geológica obtenida. Se confeccionaron tres afiches informativos. Realizando un afiche para cada una de las rutas turísticas seleccionadas del Parque Nacional Pan de Azúcar.

#### **3.5.1 Ruta sector Quebrada del Castillo**

Para acceder al sendero de Quebrada del Castillo, desde el Centro de Información Ambiental CONAF, se debe recorrer 6km por la ruta C-120 hacia el sur. Casi al llegar a playa Blanca, se encontrará con un desvío hacia el este (Figura 3.13A). Desde ese punto, se debe avanzar por un camino de tierra en mal estado en dirección al este, por ~2 km hasta alcanzar la entrada al sendero, acá se encuentra una barrera que permite el ingreso solo de peatones (Figura 3.13B).

Una vez en el inicio del sendero, se continúa, internándose por la quebrada en dirección SE. Luego de recorrer ~2 km, se llega a una bifurcación (Figura 3.13C), donde se debe continuar hacia el NE, siempre avanzando por el centro de la quebrada. Desde este desvío el sendero avanza hacia el N, tras avanzar ~1.2 km desde la bifurcación, se llega a un cartel informativo de la ruta (Figura 3.13D). Marcando el final del sendero.

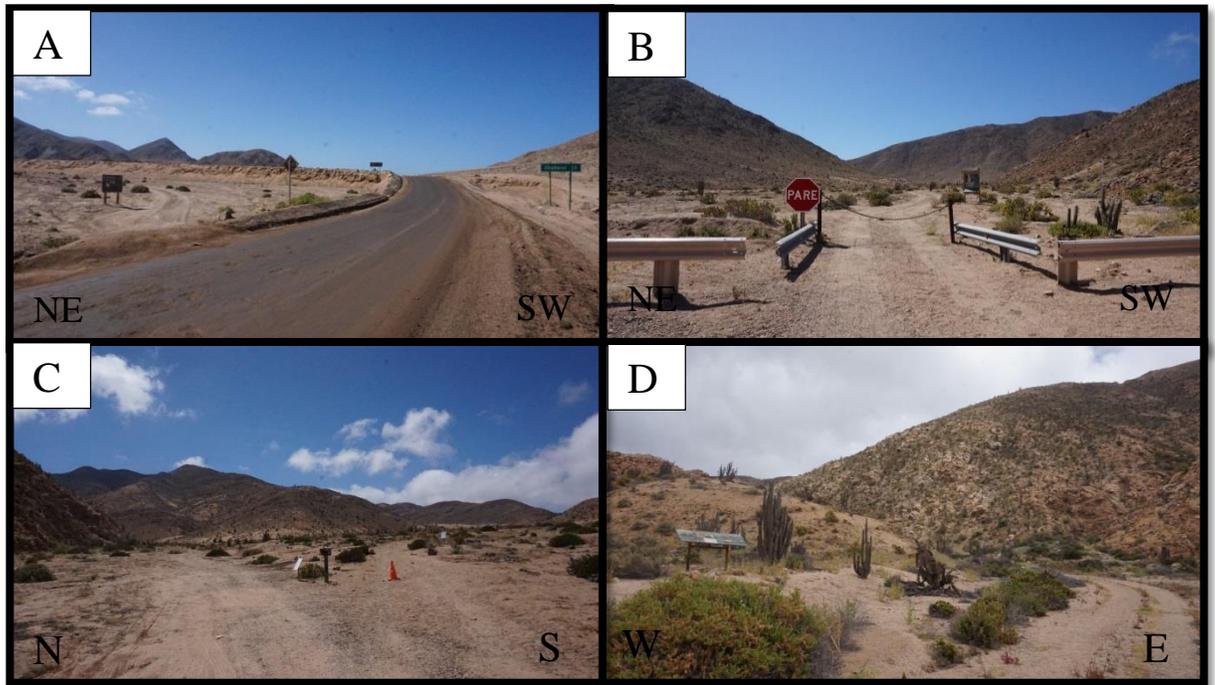


Figura 3.13: Quebrada del Castillo. A: Justo al frente de playa Blanca está el desvío que lleva a la quebrada El Castillo. B: Punto en que se deben estacionar los vehículos y se inicia el sendero. C: Se debe seguir por la izquierda, ya que hacia el Este es una zona de protección y estudio. D: Casi al finalizar aparece un letrero con información del sendero, no lo indica pero es el final del recorrido (imágenes tomadas y modificadas de Arias, 2015).

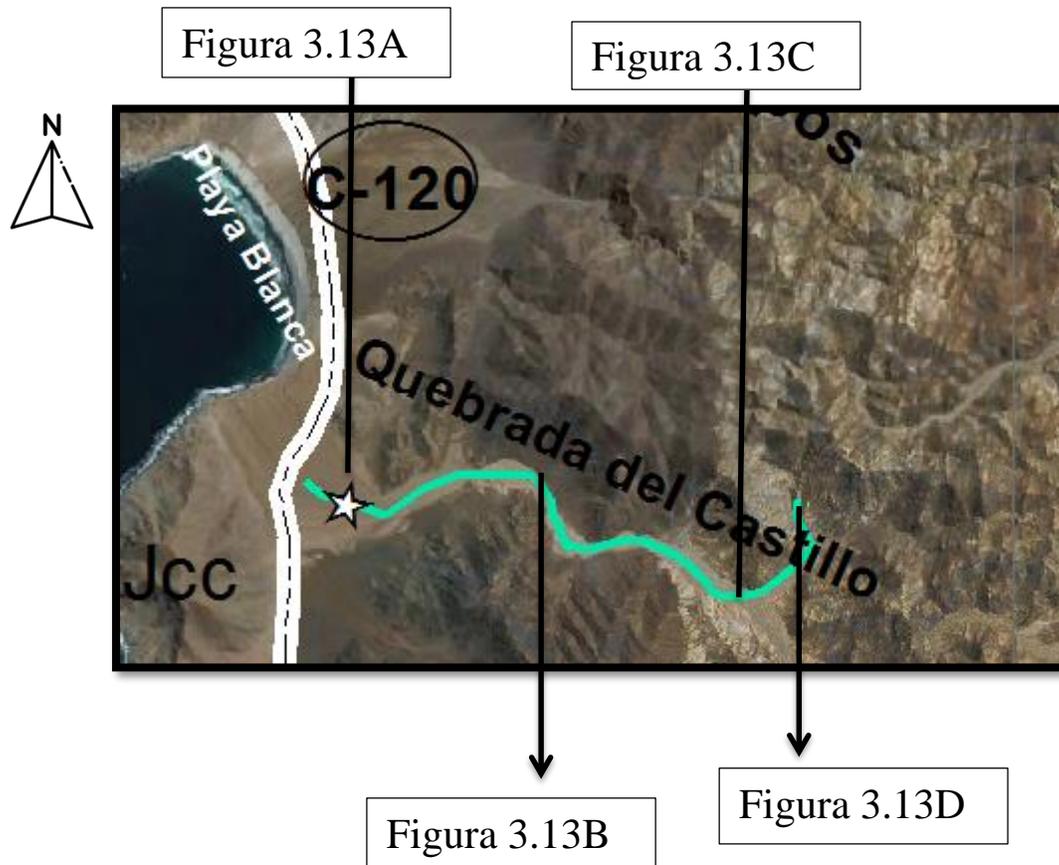


Figura 3.14: Quebrada del Castillo. Imagen satelital, Google Earth Pro. Sendero Quebrada del castillo (Elaboración propia).

Este afiche, se enfoca en los procesos geológicos, que actúan para la formación del Plutón Quebrada del Castillo.

En el sendero, se pudieron identificar cuatro unidades distintas (depósitos litorales, depósitos coluviales y aluviales modernos, Complejo Epimetamórfico de Chañaral, Plutón Quebrada del Castillo) (Figura 3.15).

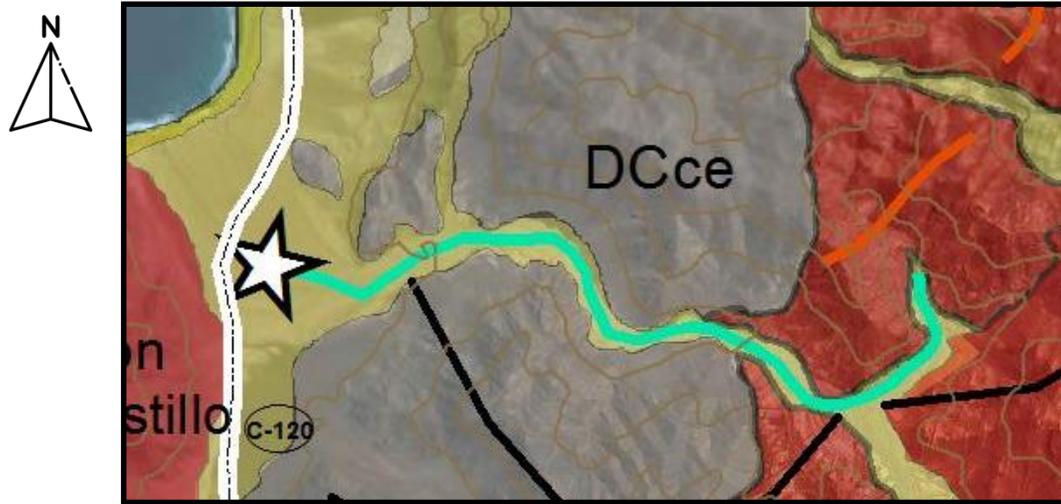


Figura 3.15: Quebrada del Castillo. Imagen satelital, Google Earth Pro. En el sendero de Quebrada del Castillo, se identifican cuatro unidades litológicas distintas: A. Depósitos litorales. B. Depósitos coluviales y aluviales modernos. C. Complejo Epimetamórfico de Chañaral. D. Plutón Quebrada del Castillo (Elaboración propia).

En particular, en el sendero Quebrada del castillo, se explica de forma simplificada, la formación del cuerpo ígneo intrusivo, el cual lleva el mismo nombre del sendero, Plutón Quebrada del Castillo.

Las rocas ígneas se generan a partir de la solidificación de un magma. La composición química del magma y la forma en la que viaja por la corteza terrestre, junto con la velocidad de enfriamiento, determinan la composición y características finales de la roca. Estas características incluyen tamaños de grano, forma de los cristales, el contenido relativo de los minerales y por ende el color. En el área de estudio las rocas plutónicas se forman en zonas de subducción.

Posterior al ciclo Gondwánico, existen distintas teorías de la configuración geotectónica durante el Pérmico superior y el Jurásico inferior, y como tuvo lugar la acreción de bloques corticales en el margen oriental del supercontinente Gondwana y la consolidación de Pangea, generó la interrupción total o una extrema lentitud en la subducción durante el Pérmico Superior y Jurásico inferior (ciclo pre-andino) Charrier *et al.*, (2007). Según Berg y Breikreutz, (1983) y Berg *et al.*, (1983), las condiciones del ciclo pre-andino favorecieron

a la acumulación de calor en el manto superior, la fusión de la corteza inferior y la generación de enormes volúmenes de magma a lo largo de la costa de Chile (ver Capítulo 3.1).

Del mismo modo que las placas se separan, en algunas zonas de la Tierra las placas se aproximan. Cuando dos placas tectónicas convergen, aquella de mayor densidad subduce debajo la más ligera. Las placas oceánicas, al ser más densas que las continentales, descienden hacia el manto. Durante este descenso el aumento de temperatura y presión favorecen la deshidratación de la corteza subducida. El agua liberada tiende a escaparse hacia el manto adyacente y favorece la disminución del punto de fusión de las rocas que lo forman. Los magmas generados ascienden a través de la litosfera y dan lugar a la formación de las rocas ígneas (López *et al.*, 2012).

Cuando un magma solidifica en una cámara magmática da lugar a la formación de las rocas plutónicas. En estas condiciones el enfriamiento es suficientemente lento como para permitir que los distintos minerales crezcan hasta alcanzar tamaños visibles a simple vista y similares entre ellos (López *et al.*, 2012). A medida que va subiendo el magma se va enfriando progresivamente hasta que adquiere una viscosidad que impide seguir su ascenso y se emplaza a una determinada profundidad generándose así una roca plutónica.

En el caso de El Plutón Quebrada del Castillo, se identifica una roca de composición monzogranito, los minerales que se pueden observar en la roca son cuarzo, feldespato, plagioclasas y micas. En el monzogranito, los cristales grises son cuarzo, los cristales negros son minerales máficos (principalmente biotita), los cristales claros son de feldespato y plagioclasas (Figura 3.16).

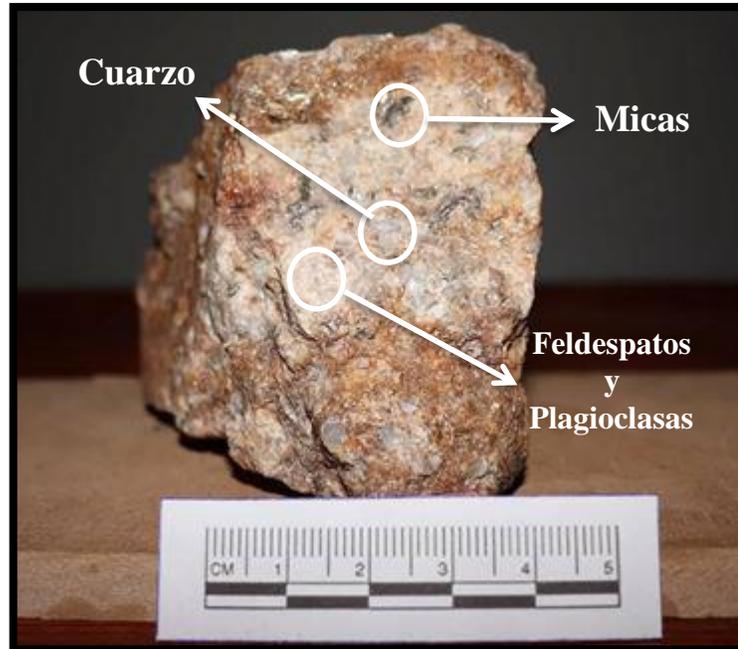


Figura 3.16: Plutón Quebrada del Castillo, roca de composición monzogranito (Elaboración propia).

Con la información obtenida de la ruta Quebrada del Castillo, se realizó un afiche informativo, explicando los procesos geológicos que actúan en la formación del Plutón Quebrada del Castillo (Figura 3.17).

# Quebrada Del Castillo

Las rocas plutónicas se forman cuando la placa litosférica que subduce por debajo del continente alcanza una cierta temperatura, comienza a fundir, generando un magma que asciende entre las rocas que forman la placa litosférica continental, durante el ascenso el magma funde parte del material continental incorporándolo en su interior, a medida que va subiendo el magma se va enfriando progresivamente hasta que adquiere una viscosidad que impide seguir su ascenso y se emplaza a una determinada profundidad generándose así una roca plutónica (López et al., 2012).

Las rocas ígneas (rocas plutónicas) se generan a partir de la solidificación de un magma. La composición química del magma y la forma en la que viaja por la corteza terrestre, junto con la velocidad de enfriamiento, determinan la composición y características finales de la roca. Estas características incluyen tamaños de grano, forma de los cristales, el contenido relativo de los minerales y por ende el color.

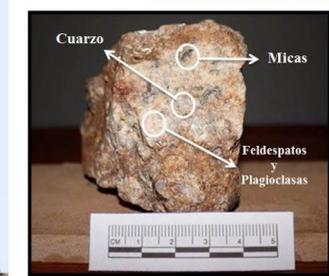
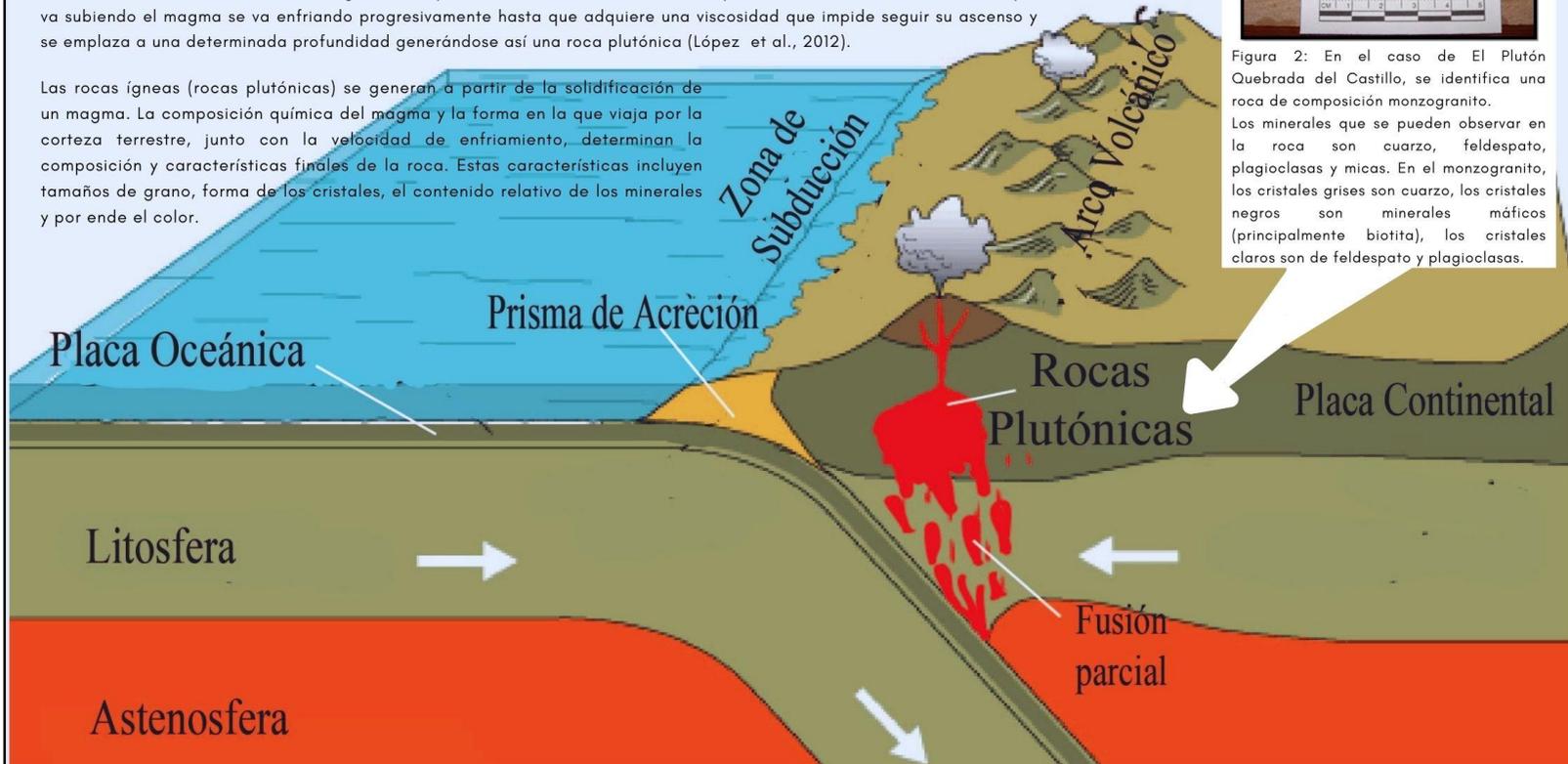


Figura 2: En el caso de El Plutón Quebrada del Castillo, se identifica una roca de composición monzogranito. Los minerales que se pueden observar en la roca son cuarzo, feldespato, plagioclasas y micas. En el monzogranito, los cristales grises son cuarzo, los cristales negros son minerales máficos (principalmente biotita), los cristales claros son de feldespato y plagioclasas.

Figura 1: Esquema de formación de rocas plutónicas.

Referencia bibliográfica : López, G., Juanca, M., Gómez, M. (2012). La formación de las rocas ígneas. Un audiovisual didáctico para su aprendizaje. In Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología (pp. 405-411). Universidad de Huelva.

Figura 3.17: Afiche informativo Quebrada del Castillo.

### 3.5.2 Ruta sector Aguada Los Sapos

Para acceder al sendero Aguada Los Sapos, desde el Centro de Información Ambiental CONAF, se debe continuar hacia el S por un camino vehicular. Al SE, se encuentra un sendero delimitado por montículos de rocas, el cual se debe seguir hacia el E (Figura 3.18A). Se continúa avanzar por ~1 km, hasta un desvío señalizado, hacia el SE (Figura 3.18B). Se continúa por el sendero ~360 m hasta encontrarse con una huella vehicular, encontrando un cartel alusivo al sendero, indicando una señalización hacia el SE (Figura 3.18C), desde este punto se sigue avanzando por ~650 m, hasta llegar a una barrera que indica el inicio del sendero Aguada Los Sapos (Figura 3.18D). Desde este punto se continúa hacia el SE, avanzando ~2 km llegara a la Aguada Los Sapos (Figura 3.18E), lugar con abundante vegetación y un cartel informativo.

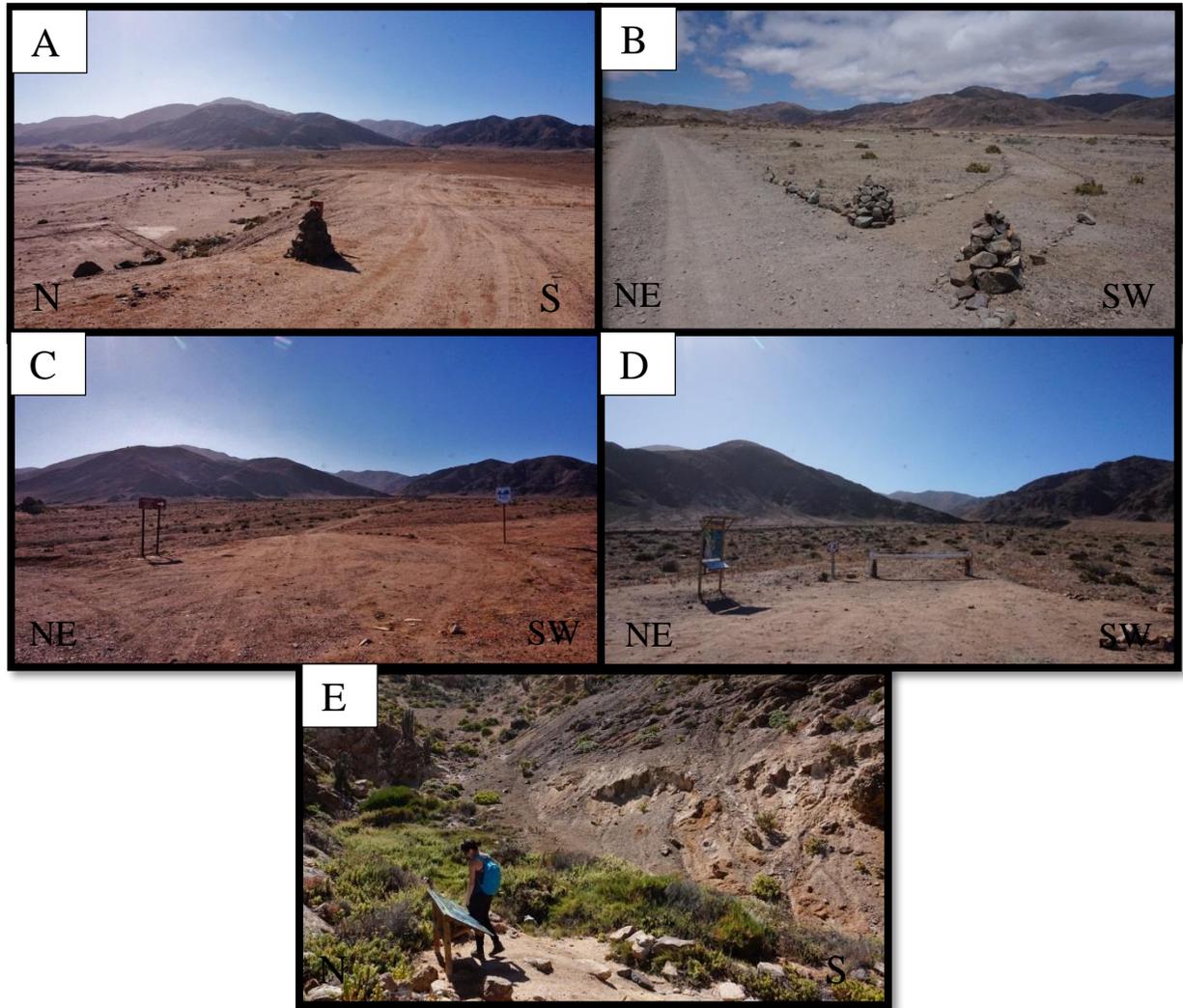


Figura 3.18: Aguada Los Sapos. A. Sendero delimitado por piedras. B. Desvío señalado con un cartel con una flecha. C. Sendero se conecta con un camino vehicular. D. Barrera con un cartel informativo que indica el inicio del sendero hacia la Aguada Los Sapos. E. Punto final de este sendero en que se llega a un lugar de frondosa vegetación (Imágenes tomadas y modificadas de Arias, 2015).

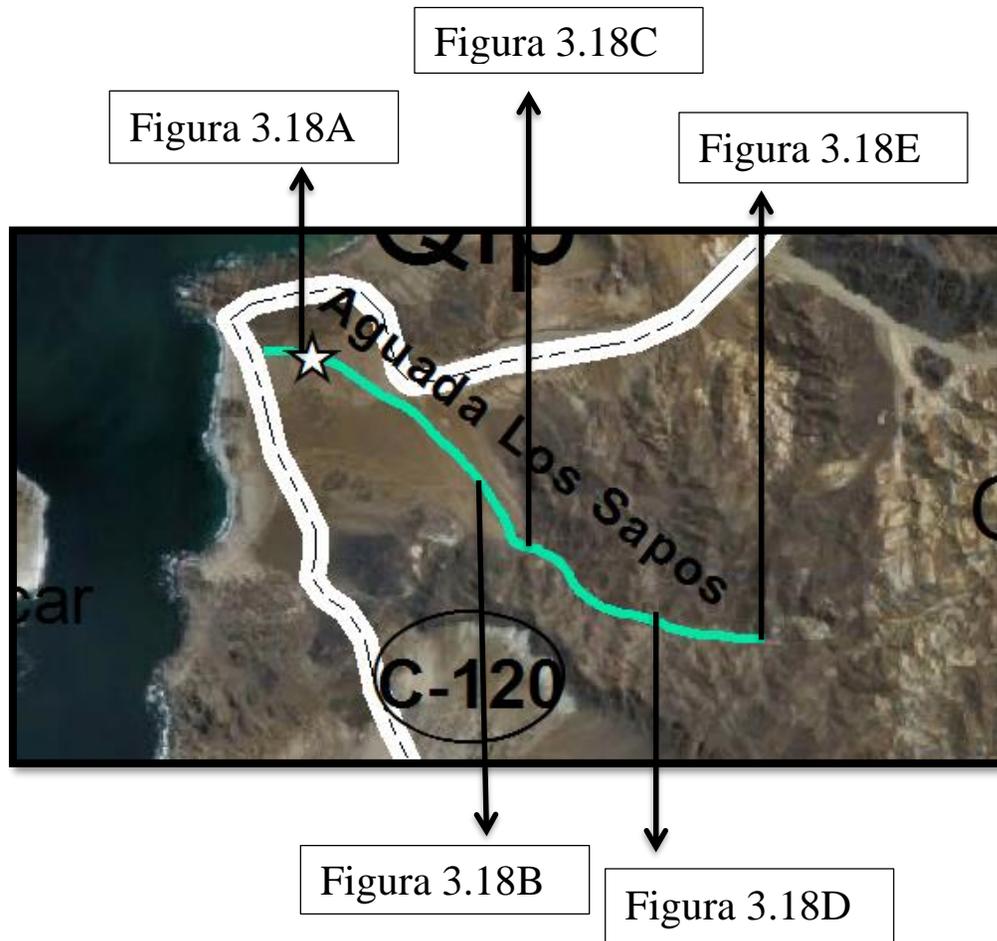


Figura 3.19: Quebrada Aguada Los Sapos. Imagen satelital, Google Earth Pro. Sendero Quebrada Aguada Los Sapos (Elaboración propia).

En el sendero Aguada Los Sapos, se enfocará en explicar cómo actúa la tectónica de placas, específicamente en la exhumación del Complejo Epimetamórfico de Chañaral. A través de distintos esquemas se explica, como una secuencia turbidítica distal caóticamente deformada, se encuentra en el continente.

Con la información geológica recopilada, la unidad que se aprecia en la ruta Aguada Los Sapos, se identifica como el Complejo Epimetamórfico de Chañaral (Figura 3.20).



Figura 3.20: Aguada Los Sapos. Fragmento de Mapa Geológico del Parque Nacional Pan de Azúcar. A. Depósitos coluviales y aluviales modernos. B. Complejo Epimetamórfico de Chañaral (Elaboración propia).

Corresponde a una unidad que se distribuye en tres franjas principales; La primera aproximadamente N-S, en el margen occidental del Parque, que bordea el acantilado costero (Figura 3.1A), la segunda en el oriente, alineada NW-SE, de mayor extensión (Figura 3.1B), y la tercera en el SW-NE del área de estudio, distribuido paralelamente a la línea de costa (Figura 3.1C). El sendero Aguada Los Sapos, se encuentra en la tercera franja principal en el SW-NE del parque (Ver capítulo 3.1).

El complejo Epimetamórfico Chañaral se formó a partir de sedimentos turbidíticos de origen marino, los cuales se depositaron en una cuenca abisal plana (Godoy y Lara, 1998) en el Devónico – Carbonífero (Contreras *et al.*, 2013).

El protolito sedimentario del Complejo Epimetamórfico de Chañaral se habría depositado en forma de corrientes de turbidez en un ambiente de abanico submarino de facies medias a distales (Welkner *et al.*, 2006).

Las turbiditas fueron concebidas como depósitos marinos-profundos, originados por el colapso gravitacional de materiales clásticos acumulados cerca del talud (Figura 3.21A). El mecanismo contempla una acumulación primaria en zonas costeras y de plataforma, posteriormente serían periódicamente removidos y resedimentados en zonas más profundas (Figura 3.21B) (Arroyo, 2015).

La sedimentación tiene lugar cuando el flujo o la corriente desaceleran, y los granos no pueden seguir en el proceso de transporte. Sucesivos depósitos turbidíticos constituyen abanicos submarinos que suelen orientarse perpendicularmente a la orientación de la cuenca y constan de una parte interna por donde se alimenta el abanico, una parte media donde predominan los sedimentos arenosos y una parte distal donde se depositan los sedimentos más finos (Figura 3.22) (Arroyo, 2015).

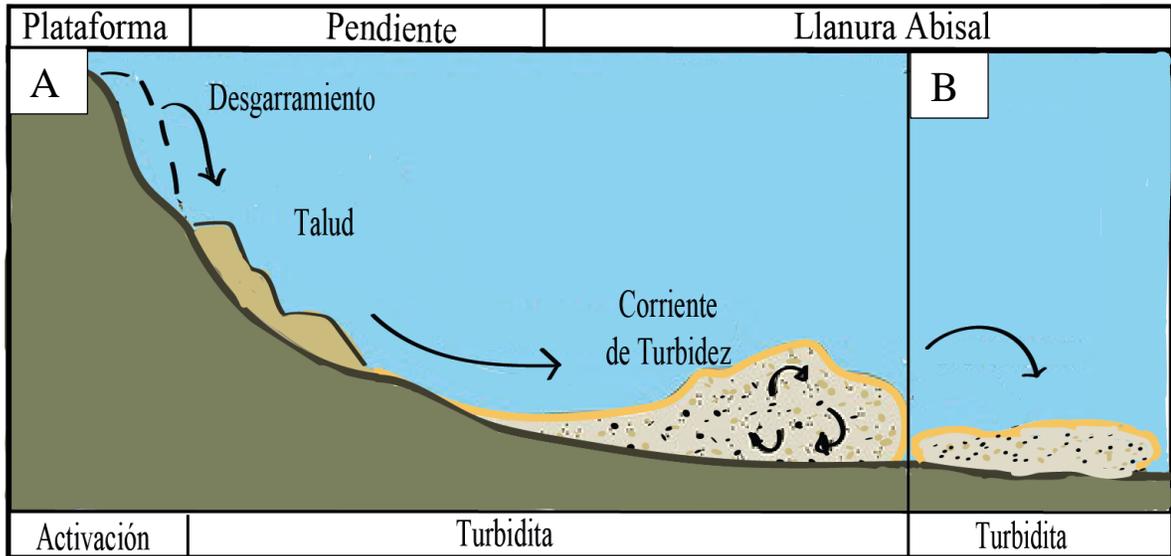


Figura 3.21: Corrientes de Turbidez. A. Flujos turbidíticos abisales. B. Depósitos turbidítico (Elaboración propia).

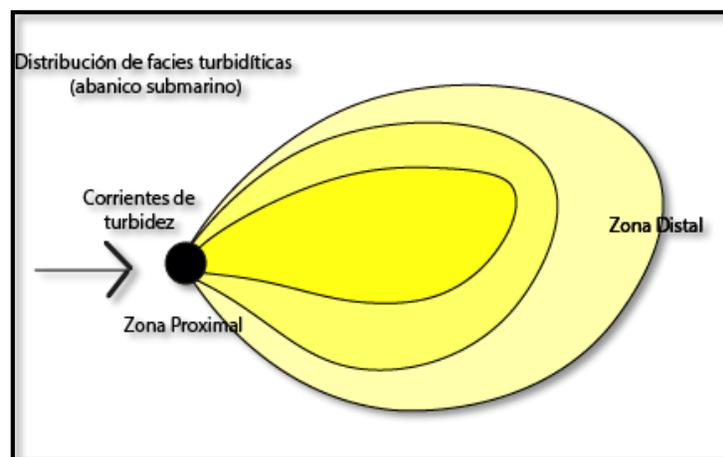


Figura 3.22: Distribución de facies turbidíticas (Abanico submarino) (Elaboración propia).

Carreño (2012), describió con mayor detalle el basamento del área, relacionando la subducción existente entre la placa protopacífica y el margen occidental activo de Gondwana, desarrollando un prisma de acreción Paleozoico que originó el Complejo Epimetamórfico Chañaral de edad Devónico-Carbonífero.

El Complejo Epimetamórfico de Chañaral es un prisma de acreción asociado a un ambiente de plataforma abisal y talud continental con potentes depósitos de secuencias turbidíticas, provocadas por el deslizamiento de sedimentos submarinos a través del talud (Mpodozis y Kay, 1992).

En los prismas de acreción el transporte de sedimentos provenientes desde el continente es controlado por deslizamientos submarinos, flujos de detritos y corrientes de turbidez (Underwood y Moore, 1995).

Un prisma de acreción (también conocido como prisma acrecionario, cuña acrecionaria o complejo acrecionario) (Figura 3.23), es una estructura tridimensional en forma de cuña, constituida por material deformado acumulado mediante fallas inversas imbricadas en el borde de la placa superior cabalgante (Cloos y Shreve, 1988; Underwood y Moore, 1995). Durante este proceso, donde los sedimentos son arrancados de la corteza oceánica en subducción, los sedimentos arrastrados sufren una serie de cambios convirtiéndose en estructuras complejas y acrecionados al bloque de corteza continental, estos pueden llegar a transformarse en rocas metamórficas de alta presión y bajas temperaturas. (Las rocas metamórficas, se forman a partir de otras rocas que se transforman cuando aumenta la presión y la temperatura). Los procesos anteriormente descritos son los que dan origen al Complejo Epimetamórfico de Chañaral.

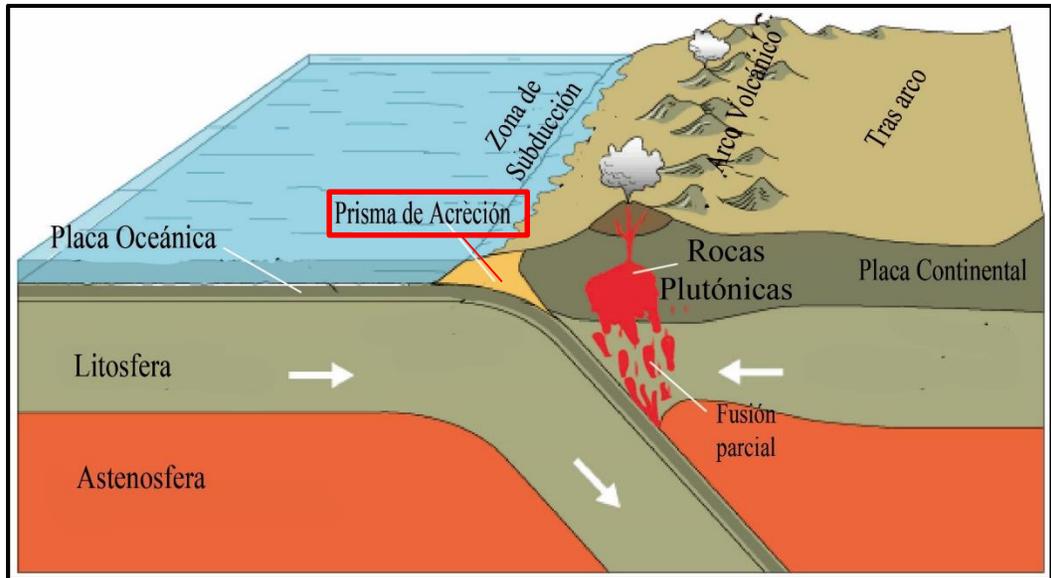


Figura 3.23: Prisma de acreción, el cual se originan en la zona de subducción.

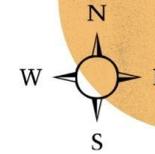
Estructuralmente, los prismas de acreción son esencialmente fajas plegadas y corridas compresionales, donde estas fallas y pliegues, en general, presentan una vergencia hacia la placa oceánica subductante (Underwood y Moore, 1995).

La subducción prolongada, en las regiones donde los sedimentos abundan, puede engrosar el prisma de acreción bastante como para que sobresalga por encima del nivel del mar (Cloos y Shreve, 1988). La estructura única de los prismas de acreción ha ayudado enormemente a los geólogos en su intento de reconstruir los acontecimientos que han generado nuestros continentes actuales.

Con la información obtenida de la ruta Aguada Los Sapos, se realizó un afiche informativo (Figura 3.24).

## PARQUE NACIONAL PAN DE AZÚCAR

# Aguada Los Sapos



Con la información geológica recopilada, la unidad que aflora en la ruta Aguada Los Sapos se identifica como el Complejo Epimetamórfico de Chañaral.

El complejo Epimetamórfico Chañaral se formó a partir de sedimentos turbidíticos de origen marico, los cuales se depositaron en una cuenca abisal plana (Godoy y Lara, 1998) en el Devónico - Carbonífero (Contreras et al., 2013).

Las turbiditas fueron concebidas como depósitos marinos-profundos, originados por el colapso gravitacional (desgarramiento) de materiales clásticos acumulados cerca del talud (Figura 1A). El mecanismo contempla una acumulación primaria en zonas costeras y de plataforma, posteriormente serían periódicamente removidos y re sedimentados en zonas más profundas (Figura 1B) (Arroyo, 2015).

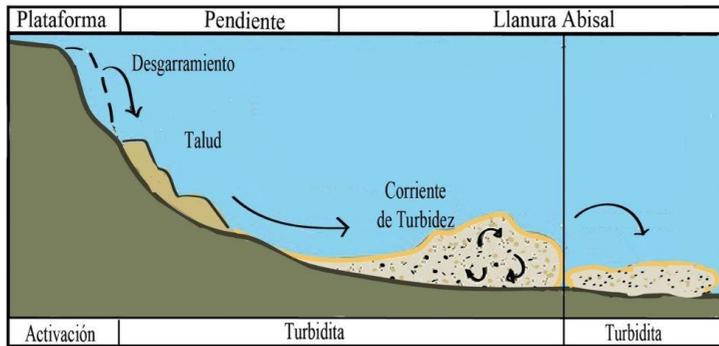


Figura 1: A: Las turbiditas son sedimentos transportados y depositados por una corriente marina generada por la inestabilidad en la distribución de sedimentos. B: Depositos Turbidíticos.

Posteriormente los depósitos de turbidita suelen ser acrecionados y sometidos a una deformación intensa, generando un prisma de acreción (Figura 3). Un prisma de acreción es una estructura tridimensional en forma de cuña, constituida por material deformado acumulado mediante fallas (Cloos y Shreve, 1988; Underwood y Moore, 1995).

### Referencias bibliográficas

Arroyo, L. (2015). Trabajo final cátedra de sedimentología especial.  
 Cloos, M. ; Shreve, R.L. 1988. Modelo de canal de subducción de acreción de prismas, formación de mezcla, subducción de sedimentos y erosión por subducción en los márgenes de las placas convergentes: 1. Antecedentes y descripción. *Pure and Applied Geophysics* 12B: 455-500.  
 Contreras, J.P., Espinoza, M., De la Cruz, R., Jorquera, R., Kraus, S., Ramírez, C., Naranjo, J.A., Escobedo, J., Martínez, P. 2013. Carta Cifuncho, Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 161. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.  
 Godoy, E., Lara, L. (1998). Cartas Chañaral y Diego de Almagro, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos 5-6. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

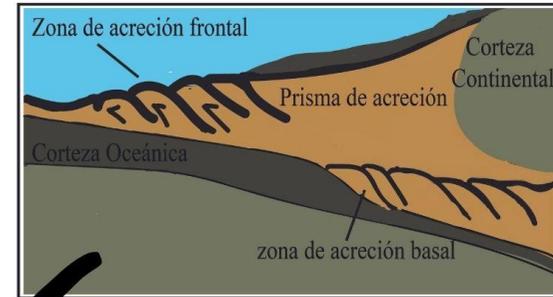


Figura 3: Prisma de acreción, el cual se originan en la zona de subducción.

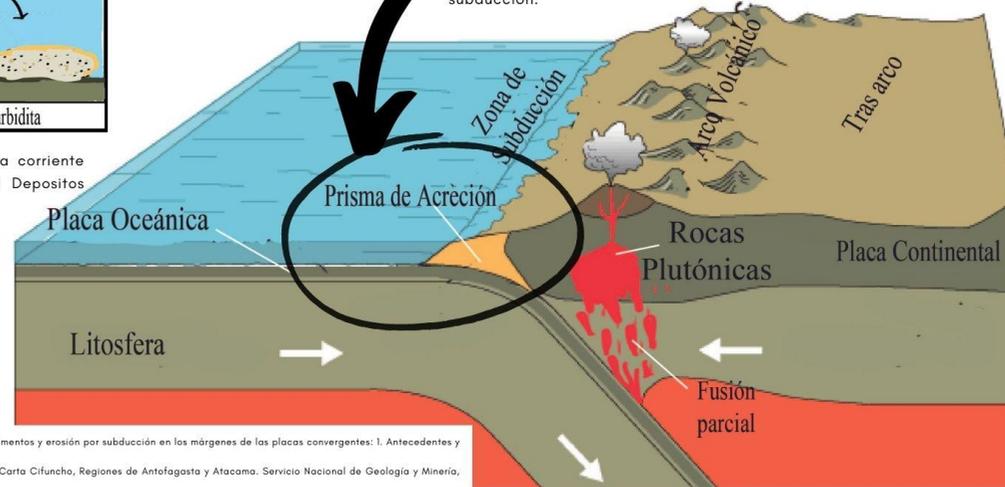


Figura 3.24: Afiche informativo Aguada Los Sapos.

### 3.5.3 Ruta sector Las Lomitas

Para acceder al sendero Las Lomitas, desde el Centro de Información Ambiental CONAF, se debe avanzar por la ruta C-110 hacia el NE, llegara a una bifurcación donde debe tomar el camino de la izquierda y seguir hasta toparse con una barrera que, no permite continuar en vehículo (Figura 3.25A). Se continúa caminando por la huella ascendiendo lentamente en dirección NW. Luego el sendero se comienza a ondular (Figura 3.25B) hasta llegar al primer descanso (Figura 3.25C). Desde el camino se abren pequeñas quebradas hacia el N y S que resguardan una inmensa variedad de flora nativa (Figura 3.25D). Aproximándose a la costa aparecen algunos atrapanieblas. En los últimos minutos de caminata el camino descende hasta un mirador sobre el farellón de 800 m s.n.m. (Figura 3.25E), desde el cual se tiene una vista panorámica hacia el océano (Figura 3.25F).



Figura 3.25: Las Lomitas. A. Barrera que no permite continuar en vehículo. B. El sendero se comienza a ondular. C. Primer descanso con sombra. D. Variedad de flora nativa. E. Mirador sobre el farellón de 800 m s.n.m. Vista panorámica, desde el farellón. (Imágenes tomadas y modificadas de Arias, 2015)

El Acantilado costero, es sin duda el lugar mas visitado por los turistas. El paisaje es protagonizado por el farellón costero o acantilado que llega a una altura promedio de 800 m s.n.m. Los acantilados costeros son elementos geomorfológicos que han sido, generalmente, el resultado de la erosión marina, la que se encuentra condicionada por factores climáticos y tectónicos, y la paleogeografía. (Arróspide, 2019).

El acantilado costero conforma un elemento geomorfológico sobresaliente e imponente de la zona de estudio y la región, correspondiendo a un rasgo morfoestructural del Parque Nacional Pan de Azúcar (Allmendinger y González, 2010).

Un acantilado es una geofoma que se origina por el alza de un promontorio rocoso que, al elevarse sobre el nivel del mar, cerca de la línea de costa, comienza la erosión litoral del macizo (Figura 3.26A). El mar es uno de los agentes erosivos más potentes y su acción erosiva es muy fuerte. Las olas van erosionando la roca por baja hasta producir derrumbes (Figura 3.26B). Presenta unas paredes verticales y escarpadas originadas por el oleaje y las corrientes marinas. El destino de todos los acantilados es a ir desapareciendo debido a la constante acción del agua, el continuo choque de las olas con las paredes crea una zona de abrasión que irá destruyendo la base que sostiene la pared. Está terminará destruyéndose y formará una plataforma de abrasión (Figura 3.26C).

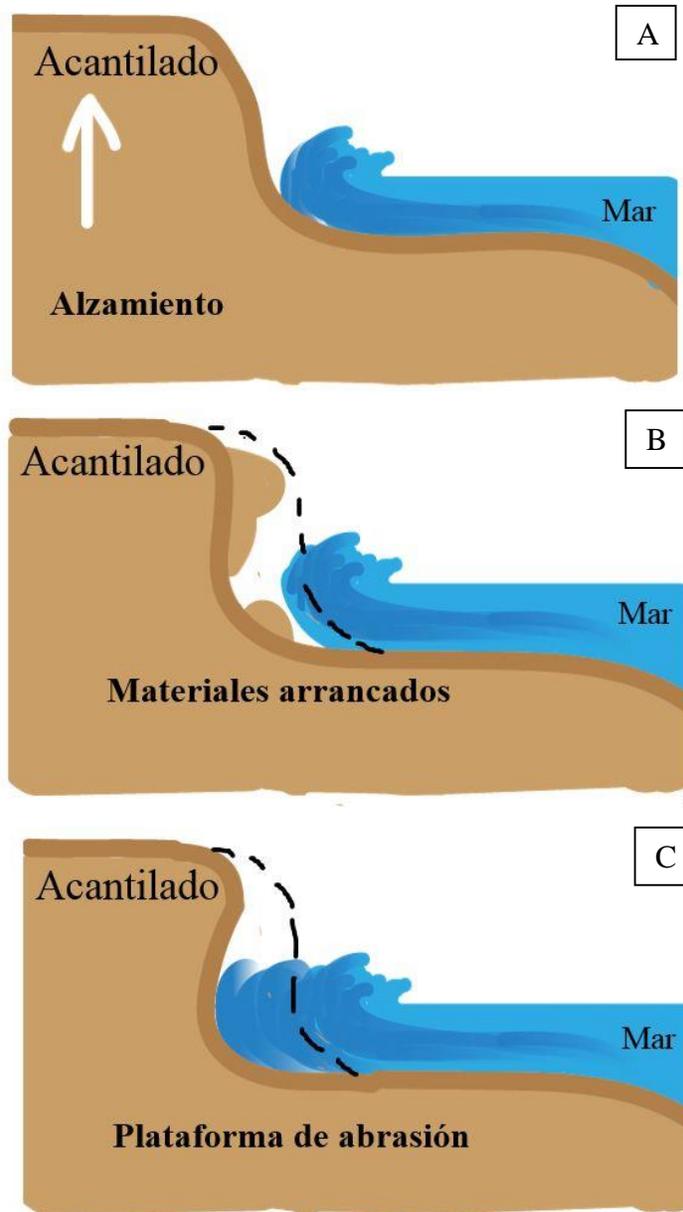


Figura 3.26: Farellón costero. A: Alzamiento de un promontorio rocoso que, al elevarse sobre el nivel del mar, cerca de la línea de costa, comienza la erosión litoral del macizo. B. Las olas van erosionando la roca por baja hasta producir derrumbes. C. Choque de las olas con las paredes, creando una zona de abrasión que irá destruyendo la base que sostiene la pared. Está terminará destruyéndose y formará una plataforma de abrasión. Línea segmentada, indica la posición anterior de la roca (Elaboración propia).

La erosión marina posee un rol protagónico dentro del proceso de formación del acantilado costero presente en la margen litoral del norte de Chile.

La presencia de camanchaca en estos sectores produce hábitats muy particulares, permitiendo el desarrollo de una vegetación característica y en gran parte ajena a los efectos de las lluvias esporádicas (Grau y Zizka, 1992). Esto explica que en el acantilado costero abundante vegetación, siendo favorecido por la alta presencia de neblinas mojadoras o camanchaca originada en el mar. La abundante vegetación se ve favorecida directamente por la geología, como se puede observar en el sendero de Las Lomitas.

Con la información recopilada de la ruta Las Lomitas, se realizó un afiche informativo, con el objetivo de entregar información geológica, a los visitantes del parque, y de esta manera puedan entender la formación del acantilado costero del parque Nacional Pan de Azúcar (Figura 3.27).

## PARQUE NACIONAL PAN DE AZÚCAR

# Las Lomitas

El acantilado costero conforma un elemento geomorfológico sobresaliente e imponente de la región, correspondiendo a un rasgo morfoestructural del Parque Nacional Pan de Azúcar con altitudes promedio de 800 m s.n.m. (Allmendinger y González, 2010; González et al., 2003).



A) Un farallón es una geoforma que se origina por el alza de un promontorio rocoso que, al elevarse sobre el nivel del mar, cerca de la línea de costa, comienza la erosión litoral del macizo (Figura. 1).

Figura. 1: Alzamiento de un promontorio rocoso.



B) El mar es uno de los agentes erosivos más potentes y su acción erosiva es muy fuerte. Las olas van erosionando la roca por baja hasta producir derrumbes (Figura. 2). Presenta unas paredes verticales y escarpadas originadas por el oleaje y las corrientes marinas. El destino de todos los acantilados es a ir desapareciendo debido a la constante acción del agua.

Figura. 2: Las olas van erosionando la roca por baja hasta producir derrumbes.



C) El continuo choque de las olas con las paredes crea una zona de abrasión que irá destruyendo la base que sostiene la pared. Está terminará destruyéndose y formará una plataforma de abrasión (Figura. 3).

Los acantilados costeros son elementos geomorfológicos que han sido, generalmente, el resultado de la erosión marina, la que se encuentra condicionada por factores climáticos y tectónicos, y la paleogeografía. (Arráspide, 2019).

Figura. 3: Choque de las olas con las paredes, creando una zona de abrasión que irá destruyendo la base que sostiene la pared.

El Farellón Costero presenta abundante vegetación, esto es favorecido por la alta presencia de neblinas mojadoras o camanchaca originada en el mar. La abundante vegetación se ve favorecida directamente por la geología, como se puede observar en el sendero de Las Lomitas (Figura. 4).



Figura. 4: Las Lomitas. Vista panorámica, desde el farellon. (Imágenes tomadas y modificadas de Arias, 2015).

#### Referencias bibliográficas

- Allmendinger, R. W. y González, G. (2010). Artículo de revisión invitado: Tectónica neógena a cuaternaria de la Cordillera costera, norte de Chile. *Tectonofísica*, 495 (1-2), 93-110.
- Arráspide Vásquez, C. A. (2019). Origen y evolución del gran acantilado costero en el Parque Nacional Pan de Azúcar, Norte de Chile (26° S): reconstrucción del relieve pretérito y modelamiento de la erosión marina.
- Mario Arias. (2015). PARQUE NACIONAL PAN DE AZÚCAR. Noviembre 2021, de Andeshandbook Sitio web: <https://www.andeshandbook.org>.

Figura 3.27: Afiche informativo Las Lomitas

## CAPÍTULO 4: DISCUSIONES

Mercado (1978), describe la geología del parque, en varias unidades litológicas, entre ellas se encuentra el basamento metasedimentario de edad Paleozoica, conformada por unidades de cuarcitas, filitas con intercalaciones de metacaliza y filitas-cuarcitas que abarca gran parte del parque. Contrastando esta información, con la obtenida en este trabajo se identificó que el basamento del parque está asociado a una unidad metamórfica relacionada a flujos turbidíticos de una plataforma abisal, los que posteriormente son acrecionados por la placa protopacífica que se subducta en el margen continental de Gondwana. La unidad, en el área de estudio se reconoce como el Complejo Epimetamórfico de Chañaral. Es una sucesión rítmica y monótona de filitas y cuarcitas, también en algunos sectores es posible reconocer meta-arenicas cuarcíferas de grano fino a medio y metapelitas, las últimas de grano fino con abundantes laminación e incipientes micro-plegamientos. Se pudo identificar en sectores adyacentes a los cuerpos intrusivos esquistos asociados a aureola de contacto, se relaciona los esquistos a un metamorfismo de contacto, cabe destacar que, al contrastar la información obtenida, con los estudios de Mercado (1978), se obtuvo un mayor detalle en la descripción del Complejo Epimetamórfico de Chañaral.

Dentro del área de estudio se han distinguido grandes cuerpos ignios, entre el Permiano-Triásico, identificando los plutones, Cifuncho, Quebrada del Castillo, Pan de Azúcar y Cerro del Vetado, correspondientes a intrusiones monzo-sienograníticas. Siendo el Plutón Pan de Azúcar uno de los cuerpos más característicos del parque, el emplazamiento de estos cuerpos plutónicos se relaciona con los estudios de Charrier *et al.*, (2007), el cual explica que durante el Pérmico superior y Jurásico inferior (ciclo pre-andrino), se generó la interrupción total o una extrema lentitud en la subducción, estas condiciones favorecieron a la acumulación de calor en el manto superior, formando enormes volúmenes de magma a lo largo de la costa de Chile.

En el área, se identifica una unidad intrusiva, en la cual se observa una textura de roca metamórfica con protolito ígneo. Es correlacionado con el Plutón Bufadero, descrito por (Godoy y Lata, 1998). Por otro lado, se pudo corroborar la información obtenida en terreno con la descripción de Contreras *et al.*, (2013), el cual define el plutón, como una unidad

principalmente, dioritas gnéissicas de piroxeno moderadamente foliadas, que presentan porfiroclastos de plagioclasa de grano medio y porfiroblastos de cuarzo policristalino de grano fino.

Uno de los principales factores geológicos que actúa sobre el área de estudio es la tectónica, esta juega un rol fundamental en la distribución de las distintas unidades presentes en el Parque Nacional Pan de Azúcar. (Amand y Allen, 1960 en Naranjo y Puig, 1984), describe que todas las unidades presentes en el norte de Chile (20° y 29°), se encuentran afectadas por el Sistema de Falla de Atacama, el cual posee una componente transcurrenente sinistral. Lo descrito por (Amand y Allen, 1960 en Naranjo y Puig, 1984), tiene total relación con lo observado en el área de estudio.

Luego de realizar el mapa geológico actualizado, se confeccionaron tres afiches informativos con enfoques geológicos. Uno de los afiches es el de Las Lomitas en esta ruta nos enfocamos en la formación del acantilado costero, el cual presenta abundante vegetación, esto es favorecido por la alta presencia de neblinas o camanchaca originada en el mar. La abundante vegetación se ve favorecida directamente por la geología, como se puede observar en el sendero de Las Lomitas, se observó que cuando el sendero se comienza a ondular, podemos ver que la vegetación aumenta, pudiendo así relacionarlo con la gran humedad que se conserva, gracias a la morfología del sector. Los resultados de este trabajo tienen bastante coherencia con la propuesto por Thompson *et al.* (2003), indica que las condiciones climáticas, principalmente la presencia de densas nieblas (camanchacas), han permitido condiciones bióticas favorables para el desarrollo de la flora (base de la cadena alimenticia del guanaco), manteniendo así una biodiversidad importante en una zona desértica. Sin embargo, Thompson *et al.* (2003), no relaciono las geoformas como un pilar fundamental para la conservación de la humedad en el sector.

Solís *et al.*, (2013), realizó un trabajo de evaluación multicriterio de la potencialidad turística de un territorio, el caso de estudio fue el “Parque Nacional Pan de Azúcar”. Los resultados advierten un escaso aprovechamiento de las unidades territoriales, entre las cuales destaca; el farellón costero de 850 m s.n.m, presencia de especies endémicas, formaciones geológicas y rico pasado histórico, resultan suficientes para la creación de productos turísticos sustentables valorados por segmentos del mercado nacional e internacional de interés en el ecoturismo y turismo científico con atención en la conservación ambiental de

estos paisajes. El trabajo de Solís *et al.*, (2013), guarda directa relación con los ideales de esta investigación, en base a toda la información recopilada, estamos completamente de acuerdo que el parque tiene un escaso aprovechamiento de los recursos, y que tiene un alto potencial turístico. Sin embargo, el trabajo de Solís *et al.*, (2013), tiene escasa efectividad de evaluación, ya que no considera parámetros geológicos dentro de su evaluación, siendo la geología el pilar fundamental para el potencial turístico de un territorio.

Con la información recopilada en esta investigación se propone que es de gran interés poder realizar una ruta arqueológica en el Parque Nacional Pan de Azúcar. Tomando el enfoque arqueológico, se propone realizar una ruta del auge de la minería del cobre, donde gracias a los descubrimientos de la mina Carrizalillo al interior de Pan de Azúcar, se da inicio a una actividad industrial portuaria (CONAF, 2018).

Destacando que el principio fundamental del Parque Nacional Pan de Azúcar es la protección de la flora y fauna, se propone que sería de gran ayuda realizar estudios geológicos focalizados en distintas áreas para tener mayor información y poder cuidar el ecosistema de una manera completa. A partir del estudio realizado, se plantea específicamente hacer un estudio mineralógico en profundidad, para poder relacionar la flora con la composición mineral del terreno en que se desarrolla y como esta se distribuye en el sector.

## **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES**

En el trabajo realizado se identificaron y definieron un total de dieciséis unidades geológicas que van desde el Devónico al Cuaternario, además se definieron distintas estructuras, identificando las deformaciones frágiles y las deformaciones dúctiles del área, recopilando toda esta información se pudo determinar la evolución geológica del Parque Nacional Pan de Azúcar, permitiéndonos entender los procesos geológicos que actuaron para la formación y distribución de las distintas unidades geológicas, al comprender estos procesos, se pudo desarrollar de manera simplificada afiches informativos para la comunidad, con la finalidad de contribuir en conocimientos a los visitantes del parque .

A partir de la información recopilada en este trabajo, se puede identificar el Parque Nacional Pan de Azúcar, con un importante potencial turístico, sin embargo, se cree que existe una falta de investigaciones con enfoques geológicos e integrados con otras disciplinas.

Cuando se investigó la geología del parque, se propuso que esta era de suma importancia para la preservación de la flora y la fauna. Con los resultados obtenidos en esta investigación se pudo concluir que la geología es fundamental para la conservación de la flora y la fauna, pudiéndose observar directamente en la ruta Las Lomitas, donde predomina el acantilado costero. La geomorfología del sector Las Lomitas, permite la penetración de la camanchaca hacia el interior, ayudando de esta forma a la diversidad de la flora en el área.

El Parque Nacional Pan de Azúcar, es el parque costero más visitado en el país, es por esto que es un área silvestre protegida. Al ser uno de los parques más visitados, es apropiado tener una mayor información del sitio, debido a esto se realizaron distintos afiches de manera didáctica con la finalidad de que los visitantes puedan entender y contextualizar los distintos paisajes que el área ofrece. El enfoque principal es educar a la comunidad y divulgar información geológica del Parque Nacional Pan de Azúcar.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la hipótesis propuesta, es validada, sin embargo, sería óptimo tener mayor información del área para validar la hipótesis en su totalidad.

## REFERENCIAS

- Allmendinger, R. W. y González, G. (2010). Artículo de revisión invitado: Tectónica neógena a cuaternaria de la Cordillera costera, norte de Chile. *Tectonofísica*, 495 (1-2), 93-110.
- Amand, P. y Allen, CR (1960). Fallas de rumbo en el norte de Chile. *Boletín de la Sociedad Geológica de América*, 71(12), 1965.
- Arabasz Jr, W. J. (1971). Estudios geológicos y geofísicos de la zona de falla de Atacama en el norte de Chile (Tesis de Doctorado, Instituto Tecnológico de California).
- Arróspide Vásquez, C. A. (2019). Origen y evolución del gran acantilado costero en el Parque Nacional Pan de Azúcar, Norte de Chile (~ 26° S): reconstrucción del relieve pretérito y modelamiento de la erosión marina.
- Arróspide, C. (2019). Origen y evolución del gran acantilado costero en el Parque Nacional Pan de Azúcar, Norte de Chile (~ 26° S): reconstrucción del relieve pretérito y modelamiento de la erosión marina.
- Arroyo, L. (2015). Trabajo final cátedra de sedimentología especial. Facultad de ciencias naturales y museo. Universidad Nacional de La Plata.
- Bahlburg H., Vervoort J.D., Du Frane S.A., Bock B., Augustsson C., y Reimann C. (2009). Momento de la formación de la corteza y el reciclaje en los orógeno de acreción: conocimientos adquiridos en el margen occidental de América del Sur. *Reseñas de Ciencias de la Tierra* 97: 227-253.
- Bell, C. (1982). El basamento metasedimentario del Paleozoico inferior de las cordilleras costeras de Chile entre 25°30' y 27°S. *Revista Geológica de Chile*, N°17, p.21-29.
- Bell, C. (1984). Deformación producida por la subducción de una secuencia de turbiditas del Paleozoico en el norte de Chile. *Revista de la Sociedad Geológica de Londres* 141: 339-347.
- Berg, K. y Baumann, A. (1985). Rocas plutónicas y metasedimentarias de la Cordillera de la Costa del norte de Chile: sistemática isotópica Rb-Sr y U-Pb. *Cartas de ciencia planetaria y terrestre*, 75 (2-3), 101-115.

Berg, K. y Breitzkreutz, C. (1983). Plutones mesozoicos en la Cordillera de la Costa Norte de Chile: petrogénesis, geocronología, geoquímica y magmatitas geodinámicas estresadas en el manto. *Estudios Geotectónicos* 66:107

Berg, K., Breitzkreutz, C., Damm, K.W., Pichowiak, S. y Zeil, W. (1983). La Cordillera de la Costa Norte de Chile un ejemplo para el desarrollo de un margen continental activo. *Geologische Rundschau*, 72(2), 715-731.

Calandra, R. (2002). La percepción del paisaje agrario como elemento de atracción turística. *Actas del XI Coloquio de Geografía Rural*.

Carreño, C. (2012). Ambiente deposicional de la Formación Bahía Inglesa (Neógeno) en la cuenca de Caldera, III Región, Chile. Tesis para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 90p.

Charrier, R. (1979). El Triásico en Chile y regiones adyacentes de Argentina. Universidad de Chile, Departamento de Geología, Comunicaciones, Vol. 26, p. 1-37, Santiago.

Charrier, R., Pinto, L., y Rodríguez, MP. (2007). Evolución tectonoestratigráfica del orógeno andino en Chile. En *La geología de Chile* (págs. 21-114).

Chong, D., Mendoza, M., García, J., Pueyo, J.J., y Turner, P.(1999). Evolución y firmas geoquímicas en una cuenca evaporítica de antearco del Neógeno: el Salar Grande (Central Andes de Chile). *Paleogeografía, Paleoclimatología, Paleoecología*, 151(1-3).

Cloos, M., y Shreve, R.L. (1988). Modelo de canal de subducción de acreción de prismas, formación de mezcla, subducción de sedimentos y erosión por subducción en los márgenes de las placas convergentes: 1. Antecedentes y descripción, geófila pura y aplicada 128: 455-500.

Coira, B., Davidson, J., Mpodozis, C., y Ramos, V. (1982). Evolución tectónica y magmática de los Andes del norte de Argentina y Chile. *Earth-Science Reviews*, 18(3-4), 303-332.

CONAF. (2002). Plan de Manejo del Parque Nacional Pan de Azúcar. Documento de Trabajo N°373. Corporación Nacional Forestal, Gobierno de Chile.

CONAF. (2018). Plan de Manejo Parque Nacional Pan de Azúcar. Unidad de Gestión Patrimonio Silvestre, CONAF Región de Atacama, Copiapó, Chile.

Contreras, J.P., Espinoza, M., De la Cruz, R., Jorquera, R., Kraus, S., Ramírez, C., Naranjo, J.A., Escribano, J., y Martínez, P. (2013). Carta Cifuncho, Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 161, 1 mapa escala 1:100.000, Santiago.

Covacevich, V. (1982). Informe paleontológico interno N°31. Serv. Nac. Geol. Min. Inédito. p.13.

Dos Santos, P. (2011). Marco Teórico Metodológico de los Estudios del Paisaje. Perspectivas de aplicación en la planificación del turismo. Estudios y Perspectivas en Turismo.

Emery, K., y Kuhn, G. (1982). Acantilados marinos: sus procesos, perfiles y clasificación. Boletín de la Sociedad Geológica de América, 93(7), 644-654.

Espinoza, M., Contreras, J.P., Jorquera, R., De La Cruz, R., Kraus, S., Ramirez, C., y Naranjo, J. (2014). Carta Cerro del Pingo, Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geológica Básica 169, 1 mapa escala 1:100.000, Santiago.

Espinoza, M., Oliveros, V., Vásquez, P., y Bechis, F. (2015). Estudio tectonoestratigráfico de cuencas del Triásico Tardío-Jurásico Temprano en el norte de Chile (24,5 o-26oS): análisis preliminar geocronológico y cinemático de U-Pb. Actas XVI Congreso Geológico Chileno. La Serena, Chile.

Farrar, E., Clark, A., Haynes, J., Quirt, G., Conn, H., y Zentilli, M. (1970). Evidencia de K-Ar para la migración pospaleozoica de focos de intrusión granítica en los Andes del norte de Chile. Cartas de la ciencia planetaria y de la tierra 10: 60-66.

García F. (1967). Geología del Norte Grande de Chile. En Simposio Geosinclinal Andino, Sociedad Geológica de Chile 3: 138 p.

GoChile. (2011). Pan de Azúcar: Naturaleza. 2018, de GoChile Sitio web: <https://www.gochile.cl/parques-nacionales/pan>.

Godoy, E., y Lara, L. (1998). Cartas Chañaral y Diego de Almagro, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos 5-6. 1 mapa escala 1:100.000, Santiago.

Grau, J., y Zizka, G. (1992). Flora silvestre de Chile (Vol. 19). Ciudad de Fráncfort del Meno.

Hartley, A., y Chong, G. (2002). Edad del Plioceno tardío para el Desierto de Atacama: Implicaciones para la desertificación del oeste de América del Sur. *Geología* 30(1):43-46.

Izquierdo, T., Carrasco, G., Vidal, J. R., Ruiz, F., y Abad, M. (2020). Geomorfología y evolución geológica reciente del litoral del Parque Nacional Pan de Azúcar (norte de Chile). *Geogaceta*, 67, 111-114.

Jaillard, E., Soler, P., Carlier, G., y Mourier, T. (1990). Evolución geodinámica del norte y centro Andes durante el mesozoico temprano a medio: A Tethyan modelo. *Geological Society of London, Journal*, Vol. 147, p. 1009-1022.

Jeffe, B. (2011). Metodología para la evaluación del potencial ecoturístico de la Reserva Forestal José Celestino Mutis de Mariquita (Tolima).

Kay, S.M., Aamos, V.A., Mpodozis, C., y Sruoga, P. (1989). Magmatismo silíceo del Paleozoico tardío al Jurásico en el margen de Gondwana: ¿analogía con el Proterozoico Medio en América del Norte? *Geología*, vol. 17, pág. 324328.

Lara-Lara, J. R., Arreola-Lizárraga, J. A., Calderón-Aguilera, L. E., Camacho-Ibar, V. F., de la Lanza-Espino, G., Escofet-Giansone, A., y Zertuche-González, J. A. (2008). Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. *Capital natural de México*, 1, 109-134.

López, G., Juanca, M., y Gómez, M. (2012). La formación de las rocas ígneas. Un audiovisual didáctico para su aprendizaje. In *Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología* (pp. 405-411). Universidad de Huelva.

Mario Arias. (2015). Parque Nacional Pan de Azúcar, noviembre 2021, de *Andeshandbook* Sitio web: <https://www.andeshandbook.org>.

Mercado, M. (1978). Geología de la Cordillera de la Costa entre Chañaral y Caldera (región de Atacama): carta geológica de Chile escala 1: 100.000. Instituto de Investigaciones Geológicas.

Mercado, M. (1980). Área Pan de Azúcar. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Pan de Azúcar.

Monroy, O., Serazzi, G., Herrera A., y Serazzi, P. (2000). Chañaral, una historia en el desierto: 1833 – 2000. Editorial Universidad de Atacama. Copiapó. Chile. 160 p.

Mortimer, C., (1973). La historia cenozoica del sur del desierto de Atacama, Chile. *Diario de la Sociedad Geológica (Londres)* 129(5), 505-526.

Mpodozis, C., y Ramos, V.A. (1989). Los Andes de Chile y Argentina; en: Ericksen, G.E., Cañas, M.T. y Reinemund, J. A. (Editores) Geología de los Andes y su relación con los recursos de hidrocarburos y energía; Consejo Circum-Pacífico de Energía y Recursos Hidrotermales, Asociación Estadounidense del Petróleo Geólogos, Serie de Ciencias de la Tierra, Houston, Texas, Vol. 11, p. 59-90

Mpodozis, C., y Kay, S. (1992). Evolución del Paleozoico tardío al Triásico del margen de Gondwana del Pacífico: evidencia de batolitos cordilleranos frontales chilenos. Boletín 104 de la Sociedad Geológica de América, 999-1014.

Naranjo, J. A., y Paskoff, R. (1980). Evolución geomorfológica del desierto de Atacama entre los 26 grados y 33 grados latitud sur: revisión cronológica.

Naranjo, J., y Puig, A. (1984). Hojas Taltal y Chañaral. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile 62-63, 1 mapa escala 1:250.000.

Naranjo, J.A., Puig, A., y Suárez, M. (1986). Una nota sobre el magmatismo del Jurásico Inferior en la Costa. Cordillera de Atacama, Chile. Geol. Revista 123 (6): 699-702.

Oliveros, V., Vásquez, P., Creixell, C., Lucassen, F., Ducea, M. N., Ciocca, I., y Kasemann, S. A. (2020). Evolución litosférica del margen convergente Preandino y Temprano, Chile. Investigación de Gondwana, 80, 202-227.

Pankhurst, R.J., Hole, M.J., y Brook, M. (1988). Evidencia isotópica del origen de los granitos andinos. Transacciones de la Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences, vol. 79 pág. 123-133.

Pardo, M., Monfret, T., Vera, E., Eisenberg, A., Gaffet, S., Lorca, E., y Pérez, A. (2002). Zona de subducción de losa plana en Chile central-Argentina: tomografía sismotectónica y de ondas de cuerpo a partir de datos locales. V Simposio Internacional de Geodinámica Andina, ISAG, Toulouse, Francia, Ext. Abdominales. 469-472.

Paskoff, R. P., (1978). Sobre la evolución geomorfológica del gran escarpe costero del desierto chileno. Geog. Phys. Quatern. 32, 351-360.

Praus, S., Palma, M., y Domínguez, R. (2011). La Situación Jurídica de las Actuales Áreas Protegidas de Chile. Proyecto GEF-PNUD-MMA “Creación de un Sistema Nacional Integral de Áreas Protegidas para Chile”.

Ramírez, C., Naranjo, J. A., Suárez, M., Villa, V., Varas, L., y Contreras, J. P. (2015). Estratigrafía y litofacies de las formaciones Pan de Azúcar, Posada de los Hidalgo y

La Negra, al sur de Taltal. En XIV Congreso Geológico Chileno, La Serena, Chile. Libro de actas (ST4), 797-800.

Rodríguez, N., Díaz-Alvarado, J., Fernández, C., Fuentes, P., Breitkreuz, C., y Tassinari, C. C. G. (2018). El significado de las edades U-Pb de circón en plutones zonales: el caso del Plutón Flamenco, batolito de la Cordillera de la Costa, norte de Chile. *Fronteras de la geociencia*. 1-27.

Rubilar, A. (2012). Fósiles del Jurásico Inferior, provenientes del sur de Quebrada Cifuncho, sur de Taltal. Informe Paleontológico (Inédito) 2012-04. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Chile.

Rundel, P. W., Dillon, M. O., y Palma, B. (1996). Flora y vegetación del Parque Nacional Pan de Azúcar en el desierto de Atacama. *Gayana Bot*, 53(2), 295-315.

Solís, M. J., Errazuriz, M. J., Caradeuc, C., y Seabra, G. (2013). Evaluación multicriterio de la potencialidad turística de un territorio. Caso de estudio parque nacional pan de azúcar, región de Atacama. Chile, 1-12.

Squeo, F.A., Arancio, G., y Gutiérrez, J.R. (2008). Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Atacama. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena. Chile 466 pp.

Squeo, F.A., Cavieres, L.A., Arancio, G., Novoa, J.E., Matthei, O., Marticorena, C., Rodríguez, R., Arroyo, M.T.K., y Muñoz, M. (1998). Biodiversidad de la flora vascular en la Región de Antofagasta, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 71: 571- 591.

Suarez, M., Naranjo, J. A., y Puig, A. (2010). Estratigrafía de la cordillera de la costa, al sur de Taltal, Chile: Etapas iniciales de la evolución andina. *Geología Andina*, (24).

Thompson, M. V., Palma, B., Knowles, J. T., y Holbrook, N. M. (2003). Clima multianual en el Parque Nacional Pan de Azúcar, Desierto de Atacama, Chile. *Revista chilena de historia natural*, 76(2), 235-254.

Ulriksen, C. (1979). Geología regional, geocronología y metalogenia de la Cordillera de la Costa de Chile entre los 25°30 'y 26°00' sur. M.Sc. Tesis (inédita), Universidad de Dalhousie: 221 p. Halifax, Canadá.

Underwood, M., y Moore, G. (1995). Trincheras y cuencas de taludes de trincheras. En: *Tectónica de cuencas sedimentarias* (Busby, C.; Ingersoll, R.; eds.): 179-219. Ciencia Blackwell.

Veloso, A., y Nuñez, H. (1998). Inventario de especies de fauna de la Región de Antofagasta Chile y recursos metodológicos para almacenar y analizar información de biodiversidad. *Revista Chilena de Historia Natural* 71: 555-569.

Welkner, D., Arévalo, C., y Godoy, E. (2006). Carta Freirina El Morado, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geológica Básica 100: 82 p. 1 mapa escala 1:100.000.

## ANEXOS

### **Anexo A. Metodología evaluación multicriterio de la potencialidad turística de un territorio.**

Tabla 2.1: Tabla de ponderación de criterios, resultados de la 1ra etapa de la metodología, destaca la importancia de los criterios de particularidad y calidad del paisaje para definir el potencial turístico. (Tomada de Solís *et al.*, 2013).

<b>Criterios de Evaluación</b>	<b>Valor ponderación</b>
Particularidad	0,23
Estado de conservación	0,16
Accesibilidad	0,13
Concentración	0,12
Diversidad	0,17
Calidad visual del paisaje	0,19
Total Ponderación	1,00

Tabla 2.2: Recursos y atractivos turísticos Parque Nacional Pan de Azúcar. Levantamiento de información por recurso turístico, completada con información secundaria y la recopilada en terreno (Tomada de Solís *et al.*, 2013).

<b>Nombre del recurso</b>	<b>Tipo del recurso</b>	<b>Sub tipo</b>	<b>Uso turístico</b>
Cerro Colores	Lugar de interés geológico	Lugar de interés geológico	Potencial
Aguada Quinchihue	Lugares históricos	Lugares históricos	Actual
Antiguo Puerto de Pan de Azúcar	Lugares históricos	Lugares históricos	Potencial
Bosque de cactáceas	Lugares de observación de flora y fauna	Lugares de observación de Flora	Potencial
Cactario	Museo	Museo	Actual
Caleta Pan de Azúcar	Costas	Playas	Actual
Playa Blanca	Costas	Playas	Actual
Isla Pan de Azúcar	Costas	Islote	Actual
Sitio Geológico Las Chilcas	Lugar de interés geológico o paleontológico	Lugar de interés geológico	Actual
Campo de Copiapoas	Lugares de observación de flora y fauna	Lugares de observación de Flora	Potencial
Cerro El Chango	Montaña	Cerro	Potencial
Cuevas Changas	Ruinas y lugares arqueológicos	Ruinas y lugares Arqueológicos	Potencial
El Mirador	Lugar de Observación Paisaje	Lugar de Observación Paisaje	Actual
Farellón Costero	Costas	Acantilado	Potencial
Mirador Chico	Lugar de Observación Paisaje	Lugar de Observación Paisaje	Potencial
Las Lomitas	Lugar de Observación Paisaje	Lugar de Observación Paisaje	Actual
Quebrada Agua Salada	Lugares de observación de flora y fauna	Lugares de observación de flora y fauna	Potencial
Quebrada Castillo	Lugares de observación de flora y fauna	Lugares de observación de flora y fauna	Actual
Aguada Los Sapos	Lugares de observación de flora y fauna	Lugares de observación deflora y fauna	Actual
Playa Piqueros	Costas	Playas	Actual
Playa Soldado	Costas	Playas	Actual
Playa Pan de Azúcar	Costas	Playas	Actual
Aguada Esmeralda	Lugares de observación de flora y fauna	Lugares de observación de flora y fauna	Potencial
Quebrada Peralillo	Lugares de observación de flora y fauna	Lugares de observación de flora y fauna	Potencial

Tabla 2.3: A: Matriz de evaluación múltiples criterios por unidad territorial de análisis. B: Resultado Índice de potencialidad turística por unidad territorial de análisis (Tomada y modificado de Solís *et al.*, 2013).

CRITERIOS	UTA 11	UTA 13	UTA 16	UTA 17	UTA 18	UTA 19	UTA 20
	Promedio						
Particularidad	4	4	3	4	2	2	3
Estado de Conservación	3	4	3	4	3	3	4
Accesibilidad	2	3	4	3	3	4	4
Calidad del Paisaje	4	3	3	3	3	3	3
Concentración de recursos	1	2	2	1	3	2	1
Diversidad	1	4	1	1	3	4	1

B	Unidad Territorial	Fórmula Índice de potencialidad turística (IPT)	Resultado
	UTA 16	$IPT = (0,23*4)+(0,16*3)+(0,13*2)+(0,19*4)+(0,12*1)+(0,17*1)$	<b>2,49</b>
	UTA 20	$IPT = (0,23*3)+(0,16*4)+(0,13*4)+(0,19*3)+(0,12*1)+(0,17*1)$	<b>2,70</b>
	UTA 11	$IPT = (0,23*4)+(0,16*3)+(0,13*2)+(0,19*4)+(0,12*1)+(0,17*1)$	<b>2,71</b>
	UTA 17	$IPT = (0,23*4)+(0,16*4)+(0,13*3)+(0,19*3)+(0,12*1)+(0,17*1)$	<b>2,80</b>
	UTA 19	$IPT = (0,23*2)+(0,16*3)+(0,13*4)+(0,19*3)+(0,12*2)+(0,17*4)$	<b>2,83</b>
	UTA 18	$IPT = (0,23*2)+(0,16*3)+(0,13*3)+(0,19*3)+(0,12*3)+(0,17*3)$	<b>2,97</b>
	UTA 13	$IPT = (0,23*4)+(0,16*4)+(0,13*3)+(0,19*3)+(0,12*2)+(0,17*1)$	<b>3,44</b>